

LA ROUTE FACE AU PROBLEME DE L'ENERGIE

INFLUENCE DU PROBLEME DE L'ENERGIE SUR LES COÛTS DE CONSTRUCTION D'ENTRETIEN ET DE CIRCULATION

PAR MM : TAHOUR, BENMOUSSA

INTRODUCTION

Aujourd'hui l'état et les enjeux de l'économie mondiale sont tels que les considérations de réduction des coûts, d'économie d'énergie et de protection de l'environnement sont devenues des composantes importantes d'une politique nationale. La route par rapport à cette situation occupe une place privilégiée puisque directement touchée par ces 3 considérations. De plus en plus, il s'avère nécessaire de maîtriser les quantités d'énergie consommées par les différents postes du secteur routier.

Cet exposé a pour objectif, de sensibiliser les responsables (aussi bien l'administration que l'entreprise) de l'importance de cette fonction consommation d'énergie, afin de mieux en cerner l'impact sur les techniques utilisées, et de favoriser la mise en place de programmes de recherche pour des solutions de substitution s'adaptant à la situation de crise de l'énergie telle que nous la subissons actuellement.

Pour cela il s'attache à préciser les conséquences de la crise de l'énergie au niveau national et particulièrement dans le domaine routier. L'impact des hausses successives des prix des produits pétroliers sur la construction et l'entretien des routes ainsi que sur la circulation routière est évalué. Enfin une analyse comparative du contenu énergétique des chaussées types construites au Maroc est présentée et permet d'entamer une réflexion sur les économies d'énergie à réaliser au niveau des infrastructures et les axes de recherche permettant de mieux les circonscrire.

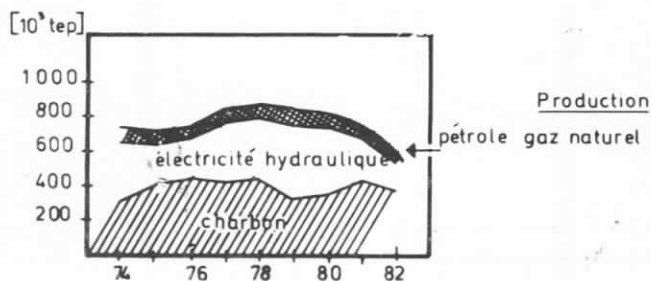
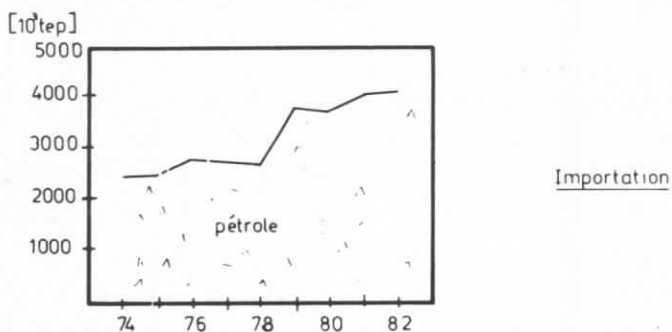
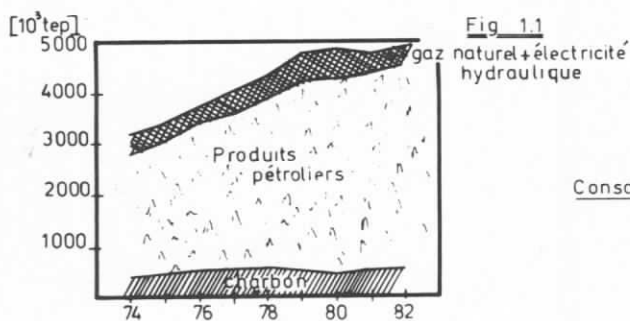
I/ L'ENERGIE DANS L'ECONOMIE NATIONALE

I.1/ BALANCE ENERGETIQUE : (voir tableau annexe N° I.1.)

La consommation de produits énergétiques est passé de 3,1 M tep en 1974 à 4,7 M tep en 1982 (voir figure I.1). Cette consommation

a progressé de 8 % entre 1974 et 1979, ceci est dû à l'industrialisation du pays. Cette tendance s'est renversée à partir de 1979 suite au ralentissement économique, au réajustement des prix et aux économies d'énergie. C'est ainsi que le taux de progression n'a pas dépassé 1 % ces dernières années et aurait pu être encore inférieure en 1982 si la production hydroélectrique, gênée par la sécheresse, n'avait pas été compensée par l'utilisation massive du fuel dans les centrales thermiques (750 000 T en 1981 et 900 000 T en 1982). La consommation actuelle est inférieure de plus de 2 M tep par rapport à celle qui aurait été observée si les tendances antérieures s'étaient maintenues. Il semble intéressant de signaler que la consommation d'énergie est un indicateur précis de la richesse matérielle d'une collectivité (elle est en corrélation étroite avec le standard de vie exprimé par le produit national brut par habitant). La consommation par tête d'habitant reste faible au Maroc : 0,226 tep/an en comparaison aux 1,7 tep/an dans les P.V.D., aux 4 tep/an en Europe et aux 9 tep/an aux U.S.A. Dans la structure de la consommation énergétique, la part des produits pétroliers est allée en croissant : 76 % en 1974 pour atteindre 87 % en 1982. L'importation de près de 98 % de ces produits pétroliers montre la grande dépendance énergétique du Maroc vis-à-vis des pays exportateurs de pétrole.

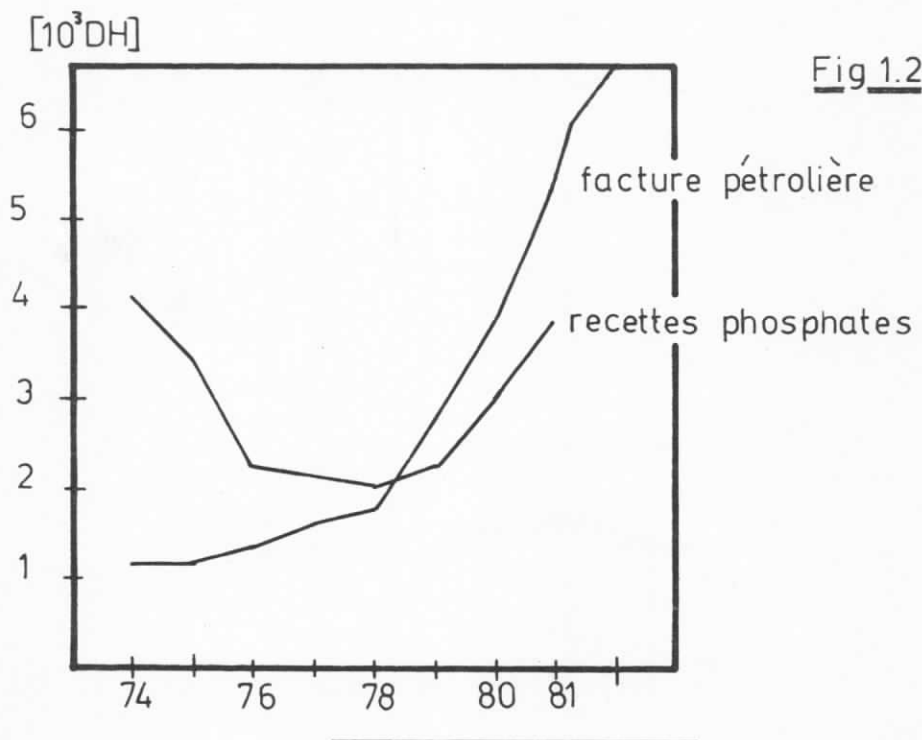
La production nationale chiffrée à 0,619 M tep en 1982 a accusé un recul de 19 % de sorte qu'elle ne satisfait plus que 13 % de la demande. Son fléchissement s'explique par la chute de 43 % de la production d'électricité hydraulique consécutive à l'insuffisance des réserves des barrages.



1.2/ LA FACTURE PETROLIERE :

Elle a atteint en 1982, 7 millions de DH contre 6,1 millions en 1981. Les tonnages d'hydrocarbures importés étant restés sensiblement équivalents à ceux de l'an dernier, alors que la facture énergétique s'est accrue de 17,2 % sous l'effet principalement de la hausse du dollar. La majoration du coût des importations du pétrole a amené les pouvoirs publics à relever les prix intérieurs (essence ordinaire, super, gaz-oil, fuel de l'ordre de 6 %).

La facture pétrolière a représenté en 1982 un peu plus du quart des importations totales. Elle a nécessité l'équivalent de près de 53 % des recettes d'exportation et dépassé celle du secteur minier de 70 %. La comparaison entre les recettes des phosphates depuis 1974 et la facture pétrolière (voir figure 1.2) montre bien la fin de la compensation depuis 1978 (stabilisation des prix des phosphates).



1.3/ LA CRISE DE L'ENERGIE ET SON IMPACT :

L'économie mondiale traverse une période de **déséquilibre** conséquence de la surexpansion de la décennie précédente et d'un système monétaire instable. La brusque et forte augmentation des prix des produits pétroliers en automne 1973, suivi d'un second choc pétrolier en 1979 lui ont en outre fait subir un rude coup, mais ont aussi provoqué une large prise de conscience des rôles nombreux et importants joués par l'énergie dans l'économie nationale. Le Maroc dans la situation de pays en voie de développement importateur de pétrole a ressenti très durement ces deux chocs qui ont en quelques sorte freiné l'élan de relance économique amorcé, et entraîné des restrictions budgétaires à tous les niveaux. La route et les transports en particulier étant des gros consommateurs d'énergie (27 % de la consommation), ont été, comme on le verra au chap 2, très fortement touchés par cette crise.

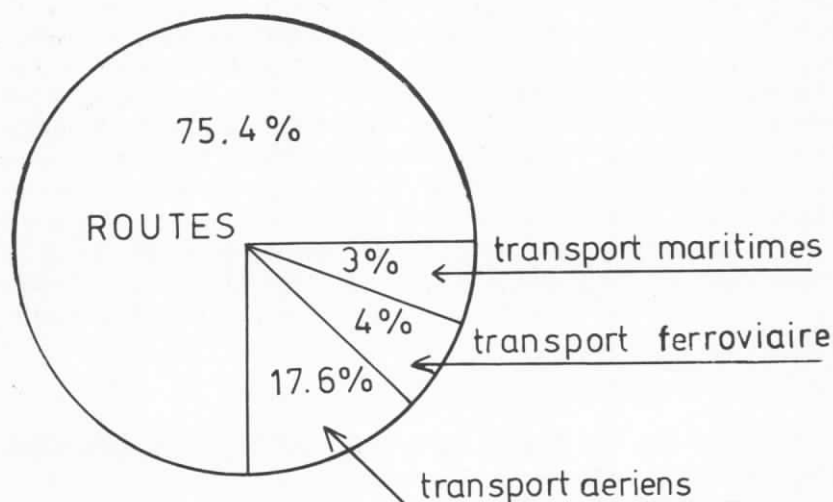
2 — IMPACT DE LA CRISE DE L'ENERGIE SUR LE SECTEUR ROUTIER

2.1. La route et la consommation de produits pétroliers

Les Transports constituent l'un des secteurs où la consommation d'énergie et en particulier de produits pétroliers est la plus importante. En 1981 plus de 27 % (1,28 M.T.E.P.) de la consommation nationale d'énergie a été absorbée par ce secteur (non inclus la consommation de charbon de bois ou de biomasse). Ce chiffre devra être majoré de 10 points si l'on tient compte des consommations indirectes d'énergie nécessaires à la fabrication et l'entretien des véhicules et des infrastructures de transport.

Avec plus de 0,96 MTEP, la route à elle seule représente près de 75,4 % de l'énergie directement consommée par ce secteur et dépasse de loin ce qui est consommé par les transports ferroviaires (4 %) aériens (17,6 %) ou maritimes (3 %) (Voir Annexe 2.1.).

Figure 2I = Repartition de la consommation d'énergie par mode de transport.



Le volume du trafic en 1981 est estimé à $6,310^9$ Véhicule X km, ce qui a induit une consommation totale de carburant de l'ordre de 1,1 million m^3 . Les voitures particulières en représentent 26 %, les camions 63 % et les transports en commun 8 % (voir Annexe 2.2.). La part des voitures particulières dans la consommation totale de carburant est relativement faible comparée à celle des pays industrialisés. C'est les camions qui représentent la plus large part de la consommation. Il est à remarquer que le parc de camions de transport est largement dominé par les véhicules de faible tonnage. Ces petits camions sont souvent utilisés sur les longs trajets et entraînent une surconsommation de carburant à la tonne kilométrique par rapport aux gros camions.

Outre les carburants nécessaires à la circulation et au transport la route consomme d'autres produits pétroliers :

— Les liants hydrocarbonnés utilisés pour la construction et l'entretien des couches de base et couche de roulement. En 1981 la consommation a été de 56 400 tonnes de bitume routier dont 40 % sous forme de Cut-Back et 60 % sous forme de bitume pur.

— Le fuel et le gasoil utilisés pour la fabrication des matériaux et leur mise en œuvre : Les stations de concassage, les centrales d'enrobage, les ateliers d'extraction de matériaux ou de mise en œuvre consomment des carburants mais l'absence de statistique n'a pas permis d'en évaluer l'importance au niveau national.

La consommation de produits pétroliers dans le domaine routier n'a pas été stable durant la période 73-81. La hausse vertigineuse des prix a eu d'importantes répercussions sur le coût des travaux et le volume annuel de construction et d'entretien des routes ainsi que sur le coût de circulation et la croissance du trafic.

2.2. Evolution des prix des produits pétroliers :

Entre 1973 et 1981 les prix courants du pétrole brut ont plus que décuplé. Il s'en est suivi une augmentation sensible des coûts des produits pétroliers consommés dans le domaine routier. Ainsi durant la même période, le prix de l'essence a été multiplié par 4,0, le prix du gasoil par 5,5 et le prix du bitume par 7,4.

La figure 2.2 illustre cette évolution. Elle montre que globalement les prix des produits dérivés du pétrole ont suivi ceux du pétrole brut. Les prix des bitumes et des carburants ont subi une première forte augmentation en 1974 suivie par une légère progression jusqu'en 1979 avant de s'envoler début 1980. Le gasoil n'a pas été touché par la première crise pétrolière grâce à la politique de subvention des prix menés par l'Etat, mais dès 1976 et particulièrement depuis 1979 les hausses successives du prix du gasoil se sont accélérées et un rattrapage s'est effectué.

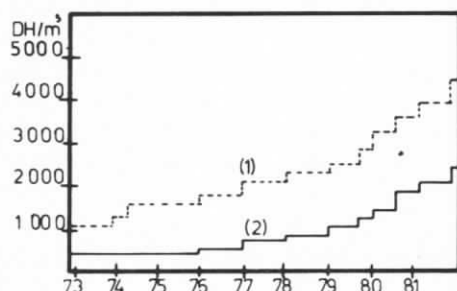


Figure 2.2.a Evolution des prix des carburants

(1) Super ---
(2) Gasoil —

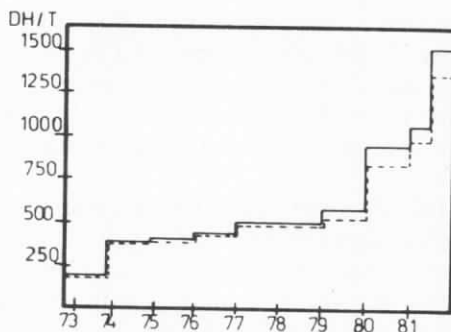


Figure 2.2.b. Evolution des prix des bitumes

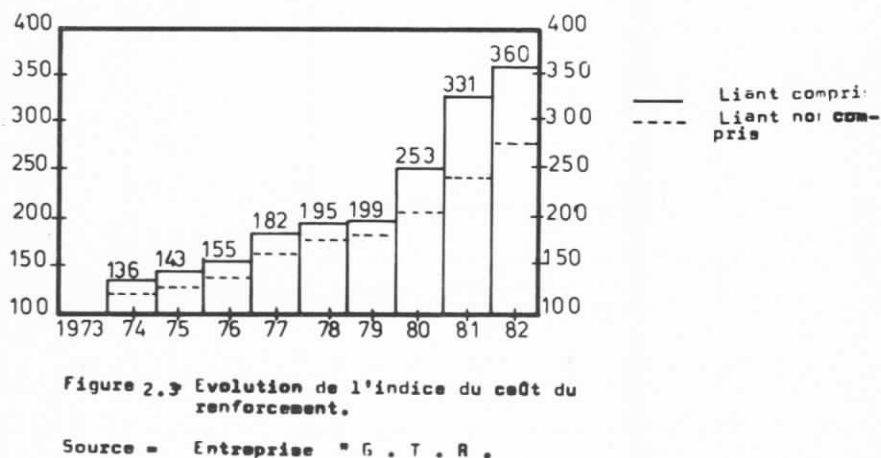
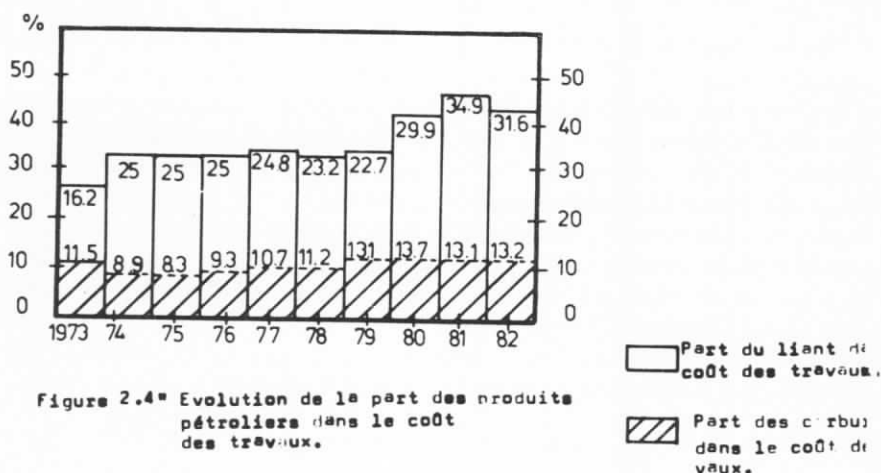
(1) Cut Back ———
(2) Bitume pur - - - -

Source = "Activités du secteur pétrolier" 1973-81
Direction de l'énergie.

2.3 - Impact sur le développement et l'entretien du réseau routier

L'évolution des prix des produits pétroliers a eu une incidence directe sur les coûts des travaux de construction et d'entretien et par conséquent sur le volume des travaux effectués.

L'augmentation des coûts des travaux de construction et d'entretien n'est pas similaire suivant qu'il s'agisse du renforcement d'un chemin tertiaire en grave non traitée avec enduit superficiel ou du renforcement d'une route principale en grave bitume et enrobé. Elle est largement plus importante dans le second cas en raison de la forte consommation de produits pétroliers. A titre d'exemple l'évolution du coût des travaux est donnée pour un chantier type P.G.R. à la figure 2.3 : Renforcement de la RP. 2 dans la Subdivision de Souk El Arba (la structure de renforcement est 12 cm de grave bitume et 6 cm d'enrobé). L'indice 100 étant attribué à l'année 1973, le coût des travaux en 1982 est évalué à 360. L'évolution des coûts est parallèle à celle des produits pétroliers = Forte augmentation en 1974 suivie d'une légère progression jusqu'en 1979, date à partir de laquelle il y a eu une accélération de la hausse. Le second choc pétrolier et la hausse de la valeur du Dollar ont entraîné une augmentation des coûts de plus de 80 %. Cette évolution des coûts des travaux s'est accompagnée d'une augmentation de la part du carburant et du liant dans la constitution du prix de vente = 28 % en 1973, cette part est passée à près de 45 % en 1982 (Voir Figure 2.4).



Afin d'évaluer l'impact sur le volume des travaux d'entretien et de construction des routes, nous représentons figure 2.5, l'évolution du budget d'équipement routier depuis 1973. Ce budget a progressé entre 1973 et 1977 de plus de 156 %. Sa croissance durant cette période a été supérieure à celle des coûts des travaux qui n'ont augmenté que de 82 %. Il y a donc eu une augmentation nette du volume des travaux au cours de ce quinquennat. Le plan triennal suivant 1978-1980 a, au contraire, correspondu a une période de régression des investissements routiers pendant lequel

le volume des travaux routiers s'est fortement contracté (en 1980 le budget d'équipement routier était de 249 millions). Cette tendance s'est inversée durant l'année 1981 au cours de laquelle le budget de l'équipement routier a atteint près de 636 millions de Dirhams : Lancement du 3ème projet routier. Une grande partie de cet accroissement des investissements routiers a été absorbée par les fortes hausses des coûts des travaux de sorte que le volume des travaux n'a augmenté que légèrement et se situerait approximativement au niveau qu'il avait en 1975. Cette conclusion est confirmée par l'allure de la courbe de consommation totale de bitume routier (figure 2.6) qui est fortement corrélée à l'évolution du volume des travaux de construction et d'entretien.

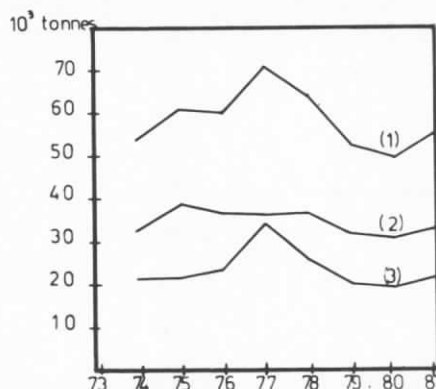


Figure 2.6 Consommation de liants hydrocarbonés

- (1) Bitume routier (2)+(3)
- (2) Bitume pur.
- (3) Cut Back.

Source : "Activité du secteur pétrolier" 1973, 1977
Direction de l'énergie.

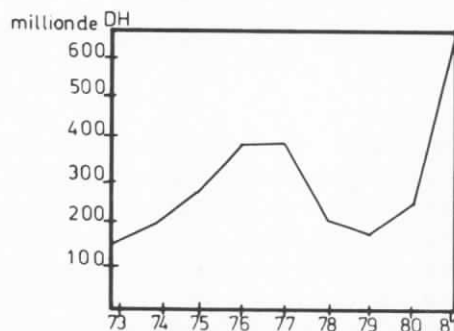


Figure 2.5 Budget de l'équipement routier.

2.4. Impact sur la circulation routière :

La hausse des prix des carburants a entraîné une forte augmentation du coût d'exploitation des véhicules. En 1981 le coût d'exploitation moyen d'un véhicule sur une route principale était de l'ordre de 1,84 DH/Km (Cas d'une route principale légèrement vallonnée de sinuosité et rugosité moyennes, avec un trafic de 35 % poids lourds). La consommation de carburant à elle seule représente près de 32 % de ce coût. Ainsi toute variation de 10 centimes de coût du carburant augmente directement le coût d'exploitation des véhicules de près de 3 centimes.

Avec un volume de trafic de 6,310⁹ véhicule X Km, c'est donc 190 millions de Dirhams supplémentaires que devront déboursier les usagers de la route en un an.

Avec un tel impact sur le coût d'exploitation des véhicules, il n'est pas étonnant de constater que l'effet immédiat du premier et second choc pétrolier a été une contraction de la consommation de carburant. (Voir figure 2.7). Ce phénomène est visible pour la consommation d'essence en 1974, 1980 et 1981. Plusieurs facteurs ont dû **contribuer** à cette réduction de la consommation :

- Réduction de la mobilité sous l'effet des chocs pétroliers.
- Augmentation de la part du diesel dans le parc automobile.
- Sensibilisation des usagers de la route aux problèmes d'économie d'énergie.
- Diminution du nombre de véhicule immatriculés chaque année (Voir figure 2.8). Le nombre de véhicules immatriculés en 1981 (25.155 véhicules) est inférieur à celui de 1973 (30.881 véhicules).

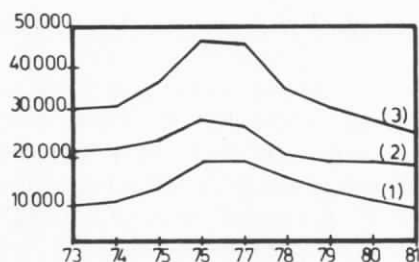


Figure 2.6 Nouvelles immatriculations

Source : "Par Automobile" Direction
le statistique.

- (1) Vehicule Utilitaires
- (2) Vehicule de Tourisme
- (3) TOTAL.

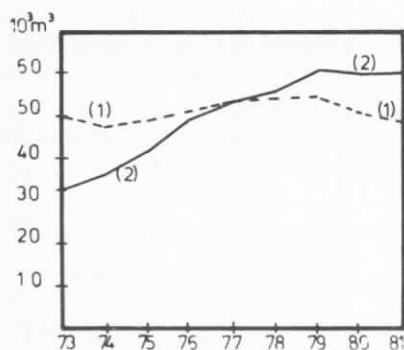


Figure 2.7 Consommation de carburant

- (1) essence
- (2) Gasoil.

Source : (1) "Activité du secteur pétrolier" 1973-1981
Direction de l'énergie.
(2) Estimé à 46% de la consommation de gasoil
cette estimation valable pour l'année 1981
semble être plus hypothétique pour le début
des années 1970.

3— CONSTRUCTION ET ENTRETIEN = BILAN ENERGETIQUE

Après avoir présenté dans le chapitre précédent quel a été l'impact de la crise de l'énergie sur le secteur routier au niveau national, il est apparu que les hausses successives du coût des travaux n'ont pas permis d'augmenter le volume des travaux de construction et d'entretien des routes malgré la forte croissance du budget de l'Equipement Routier. Il devient donc nécessaire de remédier à cette situation en cherchant à réaliser des économies d'énergie notamment en choisissant des structures de chaussée et des techniques adaptées. Afin de progresser dans cette direction, ce chapitre établit et compare le bilan énergétique d'un certain nombre de chaussées types.

3.1 Bilan de l'énergie incorporée aux matériaux de chaussée.

Le bilan de l'énergie incorporée aux matériaux de chaussée en place doit prendre en compte l'énergie potentielle des matériaux ainsi que les énergies consommées lors de la fabrication, le transport et la mise en œuvre de ces matériaux. L'analyse de ces consommations énergétiques révèle une forte dispersion des résultats suivant l'agressivité du climat, la taille du chantier, la distance de transport... Chaque chantier est en lui-même un cas d'espèce et les consommations d'énergie pour la construction de 2 routes ayant la même structure peuvent varier du simple au double. Les valeurs avancées ci-dessous reposent d'une part sur un certain nombre de données recueillies chez les entreprises de travaux routiers et d'autre part sur des hypothèses et des estimations. C'est des valeurs «moyennes» qu'il faut manipuler avec précaution.

A — ENERGIE POTENTIELLE DES MATERIAUX.

La prise en compte de l'énergie potentielle du bitume dans le bilan énergétique de la construction d'une route est un sujet assez controversé

Le bitume est extrait du pétrole brut, il est par conséquent pris en compte dans la consommation nationale d'énergie et contribue à allourdir le déficit de la balance énergétique. Une large part de son énergie potentielle interne peut-être récupérée en l'incorporant au fuel lourd. Ces arguments justifient qu'il soit considéré comme produit énergétique.

Les adversaires de cette thèse considèrent que le bitume est un déchet de pétrole qui peut difficilement être transformé en éléments plus légers dans l'état actuel des techniques. Par ailleurs son incorporation au fuel lourd n'est pas recommandé en raison de problèmes d'environnement et de corrosion de brûleurs.

Pour notre part, nous ferons le bilan énergétique de la construction de chaussées en tenant compte de l'énergie interne du bitume (9500 th/t) mais nous fournirons à titre indicatif les consommations d'énergie bitume non inclus.

B — FABRICATION DES PRODUITS ELEMENTAIRES.

Les matériaux élémentaires intervenant dans la construction routière consomment de l'énergie pour leur extraction, élaboration, mis en dépôt et chargement des camions de transport. Ces consommations sont récapitulées ci-après :

— Matériaux sélectionnés. Grave naturelle non concassée :

• Extraction	0,95 l/m ³
• Chargement des camions :	<u>0,31 l/m³</u>
Total :	1.26 l/m ³ (gasoil) /m ³ = 10,6 th/m ³ (l)

En tenant compte d'une masse volumique de matériau foisonné de 1.5t/m³ on obtient 7,1 th/t

— Matériaux concassés (calcaire de dureté moyenne) (2)

• Extraction (D9 CAT avec Ripper) :	0,95 l/m ³
• Groupe électrogène 210 K V A :	0,45 l/m ³
• Chargeur pour mise ne dépôt :	0,82 l/m ³
• Chargement des camions :	<u>0,31 l/m³</u>

Total : 2,53 l/m³ = 21,3 th/m³

En tenant compte d'une masse volumique de matériau foisonné de 1,5 th/m³ on obtient 14,2 th/t. Cette valeur sera retenue pour tous les matériaux concassés : gravettes, sable, tout venant.

(1) Contenu énergétique du gasoil ($d = 0,83$) = 10150 th/t ou 8420 th m³ = 35300 MJ/m

(2) Les valeurs retenues correspondent à une station de concassage mobile de capacité : 7500 t/j

- Bitume pur
 - Energie potentielle interne : 9500 th/t
 - Fabrication 160 th/t
 - Total : 9660 th/t (160 th/t)

- Cut Back 0/1 (53 % bitume + 47 % pétrole lampant)
 - Energie potentielle interne du bitume : 5035
 - Energie potentielle du pétrole : 4400
 - Fabrication : 200
 - Total : 9935 th/t (4600 th/t)

- Cut Back 400/600 (88 % bitume + 12 % pétrole lampant)
 - Energie potentielle interne de bitume 8360
 - Energie potentielle interne du pétrole : 1200
 - Fabrication : 200
 - Total : 9760 th/t (1400 th/t)

- Emulsion 65 % (55 % de bitume + 10 % cut Back 0/1 + 35 % eau)
 - Energie potentielle interne de bitume : 5728
 - Energie potentielle interne du pétrole. 470
 - Fabrication : 200
 - Total : 6398 th/t (670 th/t)

- Ciment CPA à 96 % de Matériaux et fabrication : 1088 th/t

C - TRANSPORT :

- Les hypothèses sur les distances de transport sont résumées ci-dessous :

Produits	Distance de transports
— Granulats : — Matériaux sélectionnés : — Matériaux élaborés : — Bitume pur, cut back : — Emulsion :	25 km 5 km 10 km 250 km - Bitume sur 250 km, eau 50 km

Le transport des matériaux et du ciment est supposé être réalisé par camions de type GLR 200. La consommation de gasoil est de 40 l/100 Km pour une charge de 13 tonnes soit 0,031 l/tXKm. Etant donné que le fuel retour est rarement assuré nous retiendrons la valeur de 0,062 l/tXKm ou 0,52 th/t X Km. Cette même valeur sera appliquée au transport des liants.

D — ELABORATION DES MATERIAUX ROUTIERS ET MISE EN OEUVRE :

Les dépenses énergétiques pour la fabrication d'enrobés à chaud (centrale 100 t/h) :

— Bruleur : 6,9 kg de fuel/tonne soit en équivalent gasoil :	7,87
— Réchauffage liant :	1,16
— Chargeur pour alimentation de la centrale :	0,28
— Groupe électrogène :	<u>0,46</u>
— Total :	9,771/t = 82 th/t

Les dépenses d'énergie lors de la mise en œuvre des matériaux sont récapitulés ci-dessous :

— Mise en œuvre de grave non traitée (atelier de 430 m ³ /j) :	
— 1 niveleuse :	0,28
— 1 arroseuse :	0,16
— 1 compacteur :	<u>0,16</u>
Total :	0,601/m ³ en place = 0,5 th/m ²

— Le bicouche à l'émulsion ne nécessite pas de réchauffage, la consommation d'énergie pour sa mise en œuvre est donc de 0,3 th/m².

— Mise en œuvre d'enrobé à chaud (Atelier de 425 t/J)

1 finisher	0,16
1 Compacteur à Jante lisse	0,14
1 Compacteur à pneus	<u>0,14</u>
Total :	0,44 l/t = 3,7 th/t

— La fabrication et la mise en œuvre de la grave ciment et grave ciment et grave émulsion : La consommation d'énergie pour la fabrication de grave ciment ou grave émulsion a été estimée à 2,5 th/t. Celle pour la mise en œuvre a été estimée à 3 th/t.

E — ENERGIE CONTENUE DANS LES MATERIAUX DE CHAUSSEE.

A partir des résultats présentés précédemment, il est possible d'évaluer les dépenses énergétiques pour chaque matériau utilisé pour la construction d'une chaussée.

MATERIAUX NON TRAITES

	MATERIAUX ELEMENTAI- RES	TRANSPORT	MISE en ŒUVRE	th/t	TOTAL th/m ³
- Grève naturelle non concassée	7,1	13,1	2,5	22,7	45
- Matériaux sélectionnés	7,1	2,6	2,5	12,2	25
- Grève naturelle concassée	14,2	13,1	2,5	29,8	60

MATERIAUX ELABORES

	GRANULATS	LIANTS	FABRI- CATION	TRANSPORT	MISE en ŒUVRE	th/t	TOTAL Th/m ³
- Béton bitumineux (d=2,3) (6% de bitume)	28,0	587,4 (17,4)	82,0	5,3	3,7	706	1625 (314)
- Grève bitume (d=2,25) (4% de bitume)	28,6	391,6 (11,6)	80,0	5,3	3,5	505	1145 (290)
- Grève émulsion (d=2,25) 6% émulsion 65%	28,0	395,0 (51,4)	2,5	5,3	3,0	434	976 (203)
- Grève ciment (d=2,3) (4% ciment + 70 kg d'eau)	26,5	44,5	2,5	5,3	3,0	82	189

	DOSAGE (kg/m ²)		CONSOMMATION ENERGETIQUE th/m ²			
			Granulats	liants	Mise en Ouvre	Total
- Imprégnation (cut Back 0/1)	-	1,2	-	12,1 (6,1)	-	12,1 (6,1)
- Couche d'accrochage (émulsion 65 %)	-	0,5	-	3,3 (0,4)	-	3,3 (0,4)
- Bicouche à l'émulsion 65%	40	2,6	1,2	17,1 (2,2)	0,3	18,6 (3,7)
- Bicouche au Cut-Back 400/100	40	2,2	1,2	21,7 (3,3)	0,5	23,4 (5,0)

Ces tableaux appellent un certain nombre de commentaires :

— Si on compare les dépenses énergétiques des matériaux de chaussée telles qu'elles ont été déterminées ci-dessus avec celles avancées lors du colloque sur «la Route et l'énergie» (Paris, 1981) il apparaît que ces dernières sont systématiquement inférieures de 2 à 16 % par rapport aux premières. il en résulte que la construction d'une route au Maroc consomme en «moyenne» plus d'énergie que la même route construite en France. Cette différence résulte de plusieurs facteurs = le rendement des centrales de concassage et d'enrobage ainsi que celui des ateliers de mise en œuvre, est souvent plus faible, le transport des matériaux consomme plus d'énergie à la tonne kilométrique en raison du plus faible tonnage des camions utilisés, le dosage en liant est en général légèrement plus élevé :

— Le classement des matériaux élaborés par ordre décroissant de consommation d'énergie donne = béton bitumineux, grave bitume, grave émulsion, grave ciment. Si on prend en compte l'énergie potentielle du bitume l'écart entre les matériaux traités aux liants hydrocarbonés et ceux traités aux liants hydrauliques est assez large. Dans le cas inverse, le classement des matériaux se conserve mais l'écart entre la grave émulsion et la grave ciment devient non significatif.

— La comparaison des consommations d'énergie nécessaire à l'utilisation du bicouche à l'émulsion (18,6 th/m²) et au cut back (23,4 th/m²) montre que la technique utilisant l'émulsion 65 % permet d'économiser près de 20 % d'énergie par rapport à celle utilisant le cut back 400/600.

3-2 Choix de structure de chaussée type :

A partir du contenu énergétique des matériaux de chaussée, il est possible d'établir le bilan énergétique d'un certain nombre de chaussées types qui sont soit couramment construites soit construites à titre expérimentales. Nous nous limiterons à des chaussées sur sol S 2 (selon la classification du catalogue de structure type de chaussée) en zone non aride et supportant un trafic TI (2500 4000 véhicules/J) ou T2 (750 - 2500 véhicules/J). Le bilan énergétique pour d'autres types de chaussées peut-être évalué de manière très similaire. Dans ce qui suit les profils en travers type et les structures de chaussées sont définis.

Les profils en travers considérés sont récapitulés dans le tableau suivant :

TRAFFIC	LARGEUR CHAUSSEE	LARGEUR ACCOTEMENT
T _I	7 m	2 X 2,50 m
T ₂	6 m	2 X 2 m

Pour chaque classe de trafic 3 types de chaussées «équivalentes» sont étudiés :

	CB I	CC I	CE I
T _I	5 BB 10 GB 20 GNB 20 GNF	5 BB 20 GC 25 GNE	5 BB 18 GE 25 GNF
	CB 2	CC 2	CE 2
T ₂	R S 20 GNA 20 GNF	RS 15 GC 20 GNF	RS 15 GE 20 GNF

- * BB = Béton bitumineux, GB = Grave bitume, GC = grave ciment, GE = Grave émulsion, GNB,GNF = grave naturelle pour couche de base ou Couche de fondation, GNR = Grave naturelle concassée, RS = revêtement superficiel bicouche.

3-3 Bilan énergétique pour la construction et l'entretien des chaussées types.

La consommation d'énergie pour la construction des chaussées types a été évaluée à partir des consommations unitaires et des quantités de matériaux telles qu'elles ont été définies plus haut. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-joint.

La consommation d'énergie pour l'entretien des chaussées sur une période de 20 ans a été estimé à 50 % de l'énergie consommée durant la construction (si on ne tient pas compte de l'énergie potentielle du bitume ce taux serait de l'ordre de 35 %) cette estimation nécessite d'être améliorée par la suite en tenant compte de schéma de dégradation et d'entretien type pour chaque catégorie de chaussée.

L'analyse du tableau de consommation d'énergie pour la construction et l'entretien de chaussées types fait ressortir quelques conclusions.

— La comparaison énergétique de «chaussées équivalentes» supportant un trafic T1 montre que dans l'ordre de consommation d'énergie croissante nous avons CCI, CBI puis CE I (Cet ordre se modifie si l'on ne tient pas compte de l'énergie potentielle interne du bitume : CBI, CEI, CCI). Les chaussées à la grave ciment paraissent être plus économes que les chaussées à la grave bitume ou la grave émulsion. Pour la classe de trafic T2, ce sont les chaussées en grave non traitée de type CB 2 qui sont les moins consommatrices d'énergie. Ces conclusions ne sont bien sûr qu'indicatives, elles restent à vérifier pour chaque cas particulier et à introduire le facteur économique dans le choix final du type de structure à retenir.

— Une évaluation du coût de revient des chaussées CB I et CB 2 a respectivement donné 1000 DH/ml et 430 DH/ml et celui de la thermie bitume à 0,15 DH, la part de l'énergie dans le prix de revient d'une chaussée de type CB I est de 31 % (l'énergie consommée en supplément du bitume pur représente 15 % du prix de revient).

Par contre pour une chaussée de type CB 2 cette part est de l'ordre de 21 % (17 % du prix de revient correspond à l'énergie consommée bitume non inclus).

- Une chaussée de type CB 1 nécessite pour sa construction et son entretien sur 20 ans près de $2,4 \cdot 10^6$ th/Km soit l'équivalent de 283 m³ d'essence. A raison de 3 000 veh/j la consommation totale de carburant sur ce tronçon sera de 2120 m³ sur la même période. La construction et l'entretien d'une chaussée représenterait donc près de 13 % de la consommation d'énergie due à la circulation. Pour les routes régionales de type CB 2 ayant un trafic de 1000 veh/j ce taux passe à 10 %. Les dépenses d'énergie dans l'infrastructure représente une part relativement faible des dépenses énergétiques du secteur routier mais il ne faudrait pas pour autant les négliger car d'importantes économies d'énergie peuvent y être réalisées.

— Il est à noter que le bilan énergétique présenté dans ce paragraphe constitue une analyse des consommations d'énergie pour la construction et l'entretien de chaussées type, terrassement non inclus. Les travaux de terrassement n'interviennent pas dans la comparaison des chaussées en grave bitume, grave émulsion et grave ciment mais il faudra en tenir compte dans le cas de la construction d'une route neuve. La consommation d'énergie par les terrassements est très sensible au profil du terrain (courbature, déblais, remblais) à la nature du sol, au climat, aux distances de transport... A titre purement indicatif nous donnons une estimation du gazoil consommé pour la réalisation de la plateforme d'un mètre linéaire de route, dans le cas où les terrassements représentent 10 m³ où le sol est meuble et la distance de mise en dépôt où de réutilisation est de l'ordre de 5 Km = 23 l/ml. Cette consommation représente près de 12 % de l'énergie consommée pour la construction d'une chaussée en grave bitume supportant un trafic T I.

**CONSUMATION D'ENERGIE PAR TYPE DE CHAUSSEE
ET PAR METRE LINEAIRE**

	Consommation Energetique Unitaire th	Quantite	Consom- mation d'Ense- mblage	CE1		CE2		CE3		CE4		CE5		CE6		CE7		CE8		CE9		CE10		CE11		CE12		CE13		CE14		CE15		CE16		CE17		CE18		CE19		CE20		CE21		CE22		CE23		CE24		CE25		CE26		CE27		CE28		CE29		CE30		CE31		CE32		CE33		CE34		CE35		CE36		CE37		CE38		CE39		CE40		CE41		CE42		CE43		CE44		CE45		CE46		CE47		CE48		CE49		CE50		CE51		CE52		CE53		CE54		CE55		CE56		CE57		CE58		CE59		CE60		CE61		CE62		CE63		CE64		CE65		CE66		CE67		CE68		CE69		CE70		CE71		CE72		CE73		CE74		CE75		CE76		CE77		CE78		CE79		CE80		CE81		CE82		CE83		CE84		CE85		CE86		CE87		CE88		CE89		CE90		CE91		CE92		CE93		CE94		CE95		CE96		CE97		CE98		CE99		CE100		CE101		CE102		CE103		CE104		CE105		CE106		CE107		CE108		CE109		CE110		CE111		CE112		CE113		CE114		CE115		CE116		CE117		CE118		CE119		CE120		CE121		CE122		CE123		CE124		CE125		CE126		CE127		CE128		CE129		CE130		CE131		CE132		CE133		CE134		CE135		CE136		CE137		CE138		CE139		CE140		CE141		CE142		CE143		CE144		CE145		CE146		CE147		CE148		CE149		CE150		CE151		CE152		CE153		CE154		CE155		CE156		CE157		CE158		CE159		CE160		CE161		CE162		CE163		CE164		CE165		CE166		CE167		CE168		CE169		CE170		CE171		CE172		CE173		CE174		CE175		CE176		CE177		CE178		CE179		CE180		CE181		CE182		CE183		CE184		CE185		CE186		CE187		CE188		CE189		CE190		CE191		CE192		CE193		CE194		CE195		CE196		CE197		CE198		CE199		CE200		CE201		CE202		CE203		CE204		CE205		CE206		CE207		CE208		CE209		CE210		CE211		CE212		CE213		CE214		CE215		CE216		CE217		CE218		CE219		CE220		CE221		CE222		CE223		CE224		CE225		CE226		CE227		CE228		CE229		CE230		CE231		CE232		CE233		CE234		CE235		CE236		CE237		CE238		CE239		CE240		CE241		CE242		CE243		CE244		CE245		CE246		CE247		CE248		CE249		CE250		CE251		CE252		CE253		CE254		CE255		CE256		CE257		CE258		CE259		CE260		CE261		CE262		CE263		CE264		CE265		CE266		CE267		CE268		CE269		CE270		CE271		CE272		CE273		CE274		CE275		CE276		CE277		CE278		CE279		CE280		CE281		CE282		CE283		CE284		CE285		CE286		CE287		CE288		CE289		CE290		CE291		CE292		CE293		CE294		CE295		CE296		CE297		CE298		CE299		CE300		CE301		CE302		CE303		CE304		CE305		CE306		CE307		CE308		CE309		CE310		CE311		CE312		CE313		CE314		CE315		CE316		CE317		CE318		CE319		CE320		CE321		CE322		CE323		CE324		CE325		CE326		CE327		CE328		CE329		CE330		CE331		CE332		CE333		CE334		CE335		CE336		CE337		CE338		CE339		CE340		CE341		CE342		CE343		CE344		CE345		CE346		CE347		CE348		CE349		CE350		CE351		CE352		CE353		CE354		CE355		CE356		CE357		CE358		CE359		CE360		CE361		CE362		CE363		CE364		CE365		CE366		CE367		CE368		CE369		CE370		CE371		CE372		CE373		CE374		CE375		CE376		CE377		CE378		CE379		CE380		CE381		CE382		CE383		CE384		CE385		CE386		CE387		CE388		CE389		CE390		CE391		CE392		CE393		CE394		CE395		CE396		CE397		CE398		CE399		CE400		CE401		CE402		CE403		CE404		CE405		CE406		CE407		CE408		CE409		CE410		CE411		CE412		CE413		CE414		CE415		CE416		CE417		CE418		CE419		CE420		CE421		CE422		CE423		CE424		CE425		CE426		CE427		CE428		CE429		CE430		CE431		CE432		CE433		CE434		CE435		CE436		CE437		CE438		CE439		CE440		CE441		CE442		CE443		CE444		CE445		CE446		CE447		CE448		CE449		CE450		CE451		CE452		CE453		CE454		CE455		CE456		CE457		CE458		CE459		CE460		CE461		CE462		CE463		CE464		CE465		CE466		CE467		CE468		CE469		CE470		CE471		CE472		CE473		CE474		CE475		CE476		CE477		CE478		CE479		CE480		CE481		CE482		CE483		CE484		CE485		CE486		CE487		CE488		CE489		CE490		CE491		CE492		CE493		CE494		CE495		CE496		CE497		CE498		CE499		CE500		CE501		CE502		CE503		CE504		CE505		CE506		CE507		CE508		CE509		CE510		CE511		CE512		CE513		CE514		CE515		CE516		CE517		CE518		CE519		CE520		CE521		CE522		CE523		CE524		CE525		CE526		CE527		CE528		CE529		CE530		CE531		CE532		CE533		CE534		CE535		CE536		CE537		CE538		CE539		CE540		CE541		CE542		CE543		CE544		CE545		CE546		CE547		CE548		CE549		CE550		CE551		CE552		CE553		CE554		CE555		CE556		CE557		CE558		CE559		CE560		CE561		CE562		CE563		CE564		CE565		CE566		CE567		CE568		CE569		CE570		CE571		CE572		CE573		CE574		CE575		CE576		CE577		CE578		CE579		CE580		CE581		CE582		CE583		CE584		CE585		CE586		CE587		CE588		CE589		CE590		CE591		CE592		CE593		CE594		CE595		CE596		CE597		CE598		CE599		CE600		CE601		CE602		CE603		CE604		CE605		CE606		CE607		CE608		CE609		CE610		CE611		CE612		CE613		CE614		CE615		CE616		CE617		CE618		CE619		CE620		CE621		CE622		CE623		CE624		CE625		CE626		CE627		CE628		CE629		CE630		CE631		CE632		CE633		CE634		CE635		CE636		CE637		CE638		CE639		CE640		CE641		CE642		CE643		CE644		CE645		CE646		CE647		CE648		CE649		CE650		CE651		CE652		CE653		CE654		CE655		CE656		CE657		CE658		CE659		CE660		CE661		CE662		CE663		CE664		CE665		CE666		CE667		CE668		CE669		CE670		CE671		CE672		CE673		CE674		CE675		CE676		CE677		CE678		CE679		CE680		CE681		CE682		CE683		CE684		CE685		CE686		CE687		CE688		CE689		CE690		CE691		CE692		CE693		CE694		CE695		CE696		CE697		CE698		CE699		CE700		CE701		CE702		CE703		CE704		CE705		CE706		CE707		CE708		CE709		CE710		CE711		CE712		CE713		CE714		CE715		CE716		CE717		CE718		CE719		CE720		CE721		CE722		CE723		CE724		CE725		CE726		CE727		CE728		CE729		CE730		CE731		CE732		CE733		CE734		CE735		CE736		CE737		CE738		CE739		CE740		CE741		CE742		CE743		CE744		CE745		CE746		CE747		CE748		CE749		CE750		CE751		CE752		CE753		CE754		CE755		CE756		CE757		CE758		CE759		CE760		CE761		CE762		CE763		CE764		CE765		CE766		CE767		CE768		CE769		CE770		CE771		CE772		CE773		CE774		CE775		CE776		CE777		CE778		CE779		CE780		CE781		CE782		CE783		CE784		CE785		CE786		CE787		CE788		CE789		CE790		CE791		CE792		CE793		CE794		CE795		CE796		CE797		CE798		CE799		CE800		CE801		CE802		CE803		CE804		CE805		CE806		CE807		CE808		CE809		CE810		CE811		CE812		CE813		CE814		CE815		CE816		CE817		CE818		CE819		CE820		CE821		CE822		CE823		CE824		CE825		CE826		CE827		CE828		CE829		CE830		CE831		CE832		CE833		CE834		CE835		CE836		CE837		CE838		CE839		CE840		CE841		CE842		CE843		CE844		CE845		CE846		CE847		CE848		CE849		CE850		CE851		CE852		CE853		CE854		CE855		CE856		CE857		CE858		CE859		CE860		CE861		CE862		CE863		CE864		CE865		CE866		CE867		CE868		CE869		CE870		CE871		CE872		CE873		CE874		CE875		CE876		CE877		CE878		CE879		CE880		CE881		CE882		CE883		CE884		CE885		CE886		CE887		CE888		CE889		CE890		CE891		CE892		CE893		CE894		CE895		CE896		CE897		CE898		CE899		CE900		CE901		CE902		CE903		CE904		CE905		CE906		CE907		CE908		CE909		CE910		CE911		CE912		CE913		CE914		CE915		CE916		CE917		CE918		CE919		CE920		CE921		CE922		CE923		CE924		CE925		CE926		CE927		CE928		CE929		CE930		CE931		CE932		CE933		CE934		CE935		CE936		CE937		CE938		CE939		CE940		CE941		CE942		CE943		CE944		CE945		CE946		CE947		CE948		CE949		CE950		CE951		CE952		CE953		CE954		CE955		CE956		CE957		CE958		CE959		CE960		CE961		CE962		CE963		CE964		CE965		CE966		CE967		CE968		CE969		CE970		CE971		CE972		CE973		CE974		CE975		CE976		CE977		CE978		CE979		CE980		CE981		CE982		CE983		CE984		CE985		CE986		CE987		CE988		CE989		CE990		CE991		CE992		CE993		CE994		CE995		CE996		CE997		CE998		CE999		CE1000		CE1001		CE1002		CE1003		CE1004		CE1005		CE1006		CE1007		CE1008		CE1009		CE1010		CE1011		CE1012		CE1013		CE1014		CE1015		CE1016		CE1017		CE1018		CE1019		CE1020		CE1021		CE1022		CE1023		CE1024		CE1025		CE1026		CE1027		CE1028		CE1029		CE1030		CE1031		CE1032		CE1033	
--	--	----------	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--

4/ CONCLUSION ET AXES DE RECHERCHES

Dans la mesure où, dans cet exposé nous avons mis le poids plutôt sur la partie consommation d'énergie pour la construction de chaussées types, on ne peut prétendre aboutir à des recommandations pour une politique globale d'économie d'énergie dans le domaine routier. On est conscient que la liste des paramètres intervenant dans cette politique est loin d'être exhaustive. C'est pourquoi nous avons tenu à rappeler dans un dernier paragraphe les points qui à notre sens mériteraient d'être étudiés.

Peu de pays ont procédé à une évaluation complète de la consommation énergétique des travaux routiers et de l'exploitation routière. Mais on peut noter (sur la base des estimations faites au Chapitre 3) que la route consomme peu d'énergie par rapport à la circulation routière (10 à 15 % de la consommation totale du secteur routier). Aussi il faut veiller à ne pas faire sur les travaux routiers, des économies qui risquent d'entraîner une augmentation de la consommation des véhicules en circulation et se rendre compte que la part importante des économies d'énergie proviendra des actions liés directement au moyen de transport :

- Modification des véhicules pour les rendre plus économes en carburant (amélioration des performances du moteur et politique d'entretien du véhicule) ou pour les amener à consommer des carburants non pétroliers.

- Politique nouvelle d'urbanisation permettant des économies sensibles sur les transports (utilisation des plans de circulation, politique en faveur des transports en commun...)

- Bien que les économies de produits pétroliers dans la construction et l'entretien des routes peuvent paraître faibles par rapport à celles possibles dans le domaine de la circulation et du transport routier, nous devons les promouvoir. Afin de mieux encerner l'impact nous devons également promouvoir l'étude des stratégies construction - entretien, et des interactions construction - circulation.

4-1/ Stratégies construction - entretien

On sait que 2 stratégies fondamentales s'opposent :

- stratégie construction définitive.
- stratégie construction progressive.

Au Maroc, c'est la première stratégie qui est utilisée systématiquement. Il serait souhaitable qu'elle fasse l'objet d'une évaluation approfondie afin de la comparer à la seconde stratégie sur la base de critères tels que :

- Consommation d'énergie.
- Réduction du coût actualisé.
- Etat structurel à long terme.
- Les contraintes de mise en œuvre.

Il ressort d'études faites en France, qu'il y a en général contradiction entre la recherche du coût actualisé construction - entretien le plus bas, et la recherche de la moindre consommation d'énergie.

Le choix définitif de la stratégie de construction et d'entretien des routes devrait reposer sur une combinaison des deux éléments.

4.2/ Interaction construction - circulation :

Aménager les routes de manière à diminuer les consommations des véhicules qui les parcourent, est un objectif qui ne peut être atteint qu'en tenant compte d'un certain nombre de paramètres tels que :

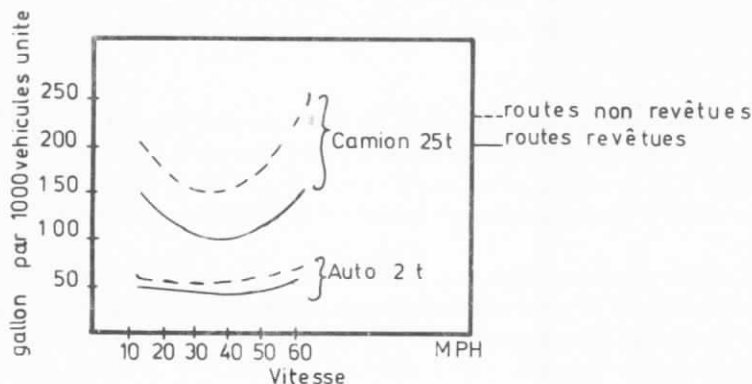
- Débit et composition du trafic.
- Vitesse.
- Géométrie.
- Etat de la route.

Si les 2 premiers paramètres sont des données de base à tout projet routier, par contre les 2 autres sont variables dans l'espace et le temps.

4.2.1./ INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES ROUTES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE :

On devrait tenir compte de la contrainte énergétique dès le stade de la conception des variantes. Et pour cela il faudrait être en

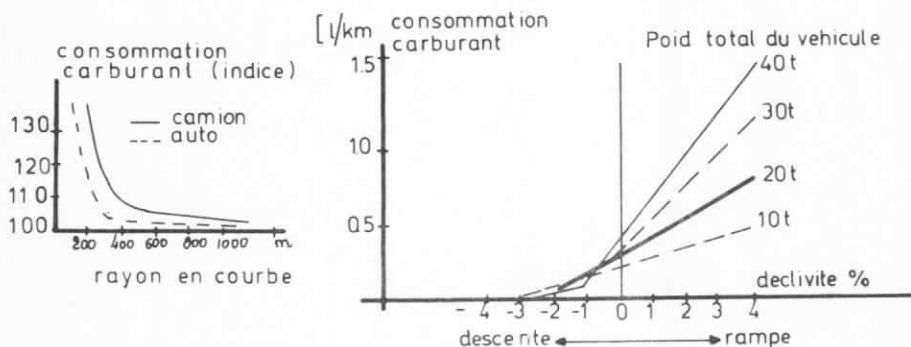
mesure de déterminer l'influence du tracé en plan (influence des courbes et des alignements), mais aussi du profil en long (influence des rampes et des pentes) sur la consommation de carburant des véhicules. En guise d'illustration de l'influence de ces paramètres, nous reproduisons les tableaux obtenus par une étude Française.



4.2.2/ INFLUENCE DE L'ETAT DE SURFACE DES ROUTES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE :

L'intérêt d'études sur les phénomènes de déperdition d'énergie liés au mauvais uni de chaussée où au mauvais état de la route, est d'autant plus important que ce paramètre semble être plus influent que le précédent.

La figure suivante provient d'une recherche de Wnifray et montre la consommation sur différentes couches de roulement.



4-3- Bilan énergétique : critère de décision :

Lorsque l'on planifie et que l'on conçoit des routes et des réseaux routiers, le critère réduction de la consommation d'énergie doit être un objectif à atteindre. Il a d'autant plus de poids qu'il intervient à tous les niveaux du secteur routier (construction, entretien, exploitation et circulation), mais aussi parce que la conjoncture actuelle (crise de l'énergie) lui confère une place importante.

Il est clair que dans l'état actuel des choses ce critère ne peut-être quantifié avec précision, tant que l'on n'aura pas fait les études nécessaires pour tester l'influence de tous les paramètres intervenant dans la consommation énergétique du secteur routier.

Mais on peut dès maintenant prévoir que l'introduction des contraintes d'économies d'énergie dans les calculs de rentabilité des investissements routiers, deviendra de plus en plus pertinente. Le problème restant dans la manière de l'incorporer parmi les autres contraintes.

BIBLIOGRAPHIE

- " Memoremundum sur le secteur des Transpots", Banque Mondiale, 1981
 - " Rapport d'économie générale" cellule de planification des transports, Ministère des Transports 1979.
 - " Rapport Général" cellule de planification des Transports, Ministère des Transports 1979.
 - " Activités du secteur pétrolier" Direction de l'Energie 1973-1981.
 - " Le Parc Automobile" Direction de la Statistique 1980.
 - " Annuaire du Maroc" Direction de la Statistique, 1973 - 1981.
 - " Economies dans le secteur routier" Ministère des Travaux. Publics, Belgique 1981.
 - " Colloque sur la route et l'énergie" Paris 1981.
 - " L'énergie dans les pays en développement" Banque Mondiale, 1980
 - " Catalogue de structure type de chaussée" D.R.C.R.
 - " Rapport d'activité" Banque du Maroc 1982.
 - " 9ème Congrès Mondial" IRF, STOCKHOLM, juin 1981.
 - " Comparaison économique entre l'utilisation du bitume fluidifié et celle de l'émulsion de bitume en enduits superficiels "Rapport final, D.R.C.R., Mai 1981.
 - " Evaluation économique du 4ème Projet Routier" DRRCR, 1982.
-
- (1) — La consommation de gasoil dans le domaine routier a été estimé à 46 % de la consommation de gasoil du marché intérieur.
 - (2) — Les transports ferroviaires ont consommé 108,6 GWH en 1981. En considérant que 1 GWH = 290 T de fuel on obtient une consommation équivalente de 31 494 de fuel.
 - (3) — Dans ce calcul nous avons considéré que 1 tonne de produit raffiné = 1 tonne d'équivalent pétrole.

- (1) - (3) Source : "Parc Automobile 1980" Direction de la Statistique.
- (2) — Source : Shéma Directeur Routier National - Rapport définitif de l'étude.
(SOGELERG - SOMET, Avril 1977).
- (1) (2) Source : cellule de planification des transports "Rapport d'économie générale" le transport Routier Aout 79 BCEOM
- (3) La consommation totale pour l'année 1981 est de 478 331 m³ d'essence et 1.326 512 m³ de gasoil (Marché intérieur).

	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
CHARBON	339 (10,7%)	424 (12,7%)	463 (12,5%)	434 (10,7%)	452 (10,5%)	360 (8%)	371 (8%)	445 (10%)	349 (9%)
PRODUITS PETROLIERS	2414 (76,1%)	2581 (77,6%)	2927 (79,2%)	3162 (78,6%)	3405 (79,3%)	3823 (82%)	3866 (83%)	3897 (83%)	4095 (87%)
GAZ-NATU- REL	61 (2%)	54 (1,6%)	60 (1,6%)	65 (1,6%)	64 (1,5%)	57 (1%)	52 (1%)	65 (1%)	60 (1%)
ELECTRI- CITE HYDRO-ULI	359 (11,3%)	268 (8%)	246 (6,6%)	359 (8,9%)	370 (8,6%)	416 (9%)	397 (8%)	266 (6%)	149 (3%)
TOTAL	3173	3327	3696	4020	4291	4655	4686	4673	4743

PRODUCTION en 10³ tep

	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
AUTON- CITE CHARBON	321 (42%)	407 (54%)	443 (59%)	414 (48%)	431 (49%)	337 (41%)	352 (43%)	416 (54%)	396 (64%)
PETROLE BRUT	24 (3%)	19 (2%)	7 (1%)	21 (2%)	22 (2%)	17 (20%)	13 (1,5%)	17 (2%)	14 (2%)
GAZ-NATU- REL	61 (8%)	54 (7%)	60 (8%)	65 (7%)	64 (7%)	57 (7%)	52 (5,5%)	65 (8,5%)	60 (9,5%)
ELECTRI- CITE HYDRO-ULI	359 (47%)	268 (36%)	246 (33%)	359 (42%)	370 (42%)	416 (50%)	397 (49%)	266 (35%)	149 (24,9%)
TOTAL	755 (24%)	740 (22,5%)	750 (10,5%)	859 (21%)	887 (20,7%)	827 (17,1%)	814 (17,4%)	764 (16,4%)	619 (13%)

IMPORTATION : en 10³ tep

	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
CHARBON	17	17	20	20	21	22	19	41	44
PETROLE BRUT	2455	2430	2751	2700	2610	4380	3709	4032	4099
GAZ-NATU- REL									
ELECTRI- CITE									
TOTAL	2473 (76%)	2453 (77,5%)	2801 (79,5%)	2720 (79%)	2639 (79,3%)	4410 (81,2%)	3728 (82,6%)	4073 (83,6%)	4143 (87%)

CONSOMMATION DE PRODUITS ENERGETIQUES
DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS ANNEE 81

TYPE DE TRANSPORT						Tonnes	
	ESSENCE	GASOIL	FUEL	CARBURANT	ESSENCES SPECIALS	ESSENCES	TOTAL
- Routier	358 149	610 200 ⁽¹⁾	-	-	-	-	968.349
- Ferroviaire	-	19 943	31 494 ⁽²⁾	-	-	-	51 437
- Maritime	-	21 094	18 134	-	-	-	39.228
- Aérien	-	-	-	221 595	4 170	-	225.765
- T O T A L	358 149	651 237	49 628	221 595	4 170	-	1 284.779
- % de la Consommation Total	100 %	49 %	-	100 %	100 %	-	27,5 %

(1) - La consommation de gasoil dans le domaine routier a été estimée à 46 % de la consommation de gasoil du marché intérieur.

(2) - Les transports ferroviaires ont consommé 106,5 GWH en 1981. En considérant que 1 GWH = 290 T de fuel on obtient une consommation équivalente de 31 494 de fuel.

(3) - Dans ce calcul nous avons considéré que 1 tonne de produit raffiné = 1 tonne d'équivalent pétrole.

PARC AUTOMOBILE EN JANVIER 1981

TYPE DE VEHICULE	PARC THEORIQUE (1)	PARC REEL EN % DU PARC THEORI- QUE (2)	PARC REEL	POURCENTAGE VEHICULES DIESEL (3)
- Voitures de Tourisme	429.606	61 %	262.060	4 %
- Vehicules utilitaires C.U. < 2t	113 911	54 %	61 550	45 %
- Camionnettes	104 204	54 %		40 %
- Tracteurs Routiers	9 777	47 %		96 %
- Vehicules utilitaires C.U. > 2-4,0t	47 064	54 %	23 050	73 %
- Camions légers	42 130	54 %		72 %
- Tracteurs routiers	554	47 %		96 %
- Camions moyens C.U. > 4-6,0t	16 057	52 %	8 000	83 %
- Camions moyens	11 117	54 %		80 %
- Tracteurs routiers	2 010	47 %		96 %
- Camions lourds C.U. > 10 t	19 111	49 %	9 410	95 %
- Camions lourds	3 875	54 %		95 %
- Citernes	549	47 %		63 %
- Tracteurs routiers	14 787	47 %		96 %
- Bus et Autocars	7 273	47 %	3 420	84 %
- Total Vehicules utilitaires	200 096	53,2 %	106 420	

(1) - (3) Source : "Parc Automobile 1980" Direction de la Statistique.

(2) - Source : Schéma Directeur Routier National - Rapport définitif de l'étude.
(SOGELERG - SOMET, Avril 1977).

ANNEXE 2.2.B.

CONSOMMATION DE CARBURANT DANS LE
DOMAINE ROUTIER EN 1981

TYPE DE VEHICULE	NOMBRE	KILOMETRAGE AN- NUEL MOYEN (1)	CONSOMMATION MOYENNE L/100 km (2)	CONSOMMATION AN- NUELLE (3)	
				ESSENCE	GASOIL
-VOITURE DE TOURISME	262 060	12 000	10	301 900	12 580
- Véh. utili- taire C.U. < 2 t	61 550	20 000	15	101 560	83 090
- Véh Utili- taire. C.U. 2-4,9t	23 050	30 000	25	46 680	126 200
- Camions moyens C.U. 5-9,9 t	8 980	40 000	30	18 320	89 440
- Camions lou- rds C.U. > 10t	9 410	65 000	40	12 230	232 430
- Bus et Auto cars	3 420	70 000	35	11 730	70 300
- T O T A L	368 480			492 420	511 120
% de la cons- ommation tot- ale de car- burant				100 % (3)	46 % (3)

(1) , (2) Source : cellule de planification des transports
" Rapport d'économie générale " " Rapport
annuel 1981 " le " rapport routier " du 20
JANVIER

(3) La consommation totale pour l'année 1981 est de
478 331 m3 d'essence et 1.320 512 m3 de gasoil
(Marché intérieur).

MATERIAUX	P.U.	QUANTITE	COUT CBI	QUANTITE	COUT CB 2
- GNF (m3)	76	1,4	106,4	1,4	106,4
- GNB (m3)	86	1,4	120,4		
- GNA (m3)	106			1,4	148,4
- GB (m3)	520	0,7	364,0		
- BB (m3)	714	0,35	249,9		
- MS (m3)	54	2,75	148,5	1,6	86,4
- RS (m2)	12			6,0	72,0
- Asrechage (m2)	1,5	7,0	10,5		
- Imprégnation (m2)	2,2			6,0	13,2
TOTAL			999,7		426,4