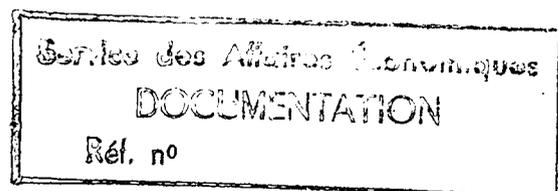


CONSOMMATION d'ENERGIE et
RECHERCHES d'ECONOMIES d'ENERGIE
dans le TRANSPORT FLUVIAL



MAI 1981

ECOLE NATIONALE des PONTS et CHAUSSEES

PROMOTION 1981

TRAVAIL de FIN d'ÉTUDES

Sujet : CONSOMMATION d'ÉNERGIE et RECHERCHES d'ÉCONOMIES d'ÉNERGIE
dans le TRANSPORT FLUVIAL

Auteur : Jean-Pierre NÈGRE, Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat
Ingénieur Elève des Ponts et Chaussées

Ce travail a été effectué à l'OFFICE NATIONAL de la NAVIGATION

Qu'il me soit permis de remercier ici toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude :

MM. AILLERET,	Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées au Service de Navigation de Strasbourg, Directeur Commercial du Port Autonome de Strasbourg
BENOIT,	Ingénieur à la Direction des Transports Terrestres du Ministère des Transports
BERG,	Directeur des Services Techniques de la Compagnie Française de Navigation Rhénane
CHAVANET,	Chef du Service Marine à la Compagnie des Sablières de la Seine
Mme de LE COEUILLE,RIE,	Attachée auprès du P.D.G. de la Société Calberson
MM. COUDOUX,	Directeur de l'Union Batelière de l'Île de France
DAVID,	Président du Directoire de la Compagnie Française de Navigation Rhénane
DELPYERRE,	Ingénieur T.P.E. au Service d'Analyse Economique du Ministère des Transports
DESCOMBES,	Ingénieur Divisionnaire des T.P.E. - Service de la Navigation de Strasbourg
DOBIAS,	Directeur Adjoint des Transports Terrestres au Ministère des Transports
DOLBEC,	Ingénieur T.P.E., chef de Service à l'Office National de la Navigation
DONNAREL,	Ingénieur T.P.E., chef du Bureau d'Etudes du Service de Navigation Midi-Garonne
DUPLAN,	Directeur des Chantiers du Confluent
FABRY,	Ingénieur Divisionnaire des T.P.E., Secrétaire général du Service de Navigation Midi-Garonne,
FRANÇOIS,	Responsable des Chantiers de la Haute-Seine
FRYBOURG,	Ingénieur des Ponts et Chaussées à la Direction des Transports Terrestres au Ministère des Transports
GONDARD,	Ingénieur en Chef à la Compagnie de Constructions Mécaniques SULZER
GUERRIN,	Ingénieur à la Société PENVEN (moteurs DETROIT-DIESEL-ALLISON)
de GUISE,	Attaché de Presse à la Société Renault-Véhicules Industriels

MM. GUBERT,	Responsable des Transports à la Société des Sablières et Entreprises MORILLON-CORVOL
HOUEL,	Directeur Technique de la Compagnie Générale de Poussage sur les Voies Navigables
KLEIN,	Ingénieur au Port Autonome de Strasbourg
MAC AFOOS,	PEAVY Company, ALTON, ILLINOIS, U.S.A.
MATTELLIN,	Ingénieur à la Société PENVEN (Moteurs DETROIT-DIESEL-ALLISON)
MERRIEN,	Ingénieur T.P.E. au Service Central Technique des Ports Maritimes et Voies Navigables
PAVIE,	Directeur des Relations Extérieures de Renault-Véhicules Industriels
PECH,	Chargé de Mission à l'Office National de la Navigation
PERRIN,	Directeur de la SOGESTRAN
PETITJEAN,	Ingénieur des Ponts et Chaussées au Service Central Technique des Ports Maritimes et Voies Navigables
SEGONDS,	Ingénieur des T.P.E. à l'Office National de la Navigation
STEMTZ,	Ingénieur des T.P.E. au Service de la Navigation de Strasbourg, Expert auprès de la Commission Centrale pour la Navigation du Rhin
TERRAIN,	Ingénieur à la SOGESTRAN
TRIEBEL,	Ingénieur des Ponts et Chaussées au Service d'Analyse Economique du Ministère des Transports

Je remercie tout particulièrement Monsieur PIERRON, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur Adjoint de l'Office National de la Navigation, qui m'a guidé et conseillé dans mon travail.

Mes remerciements vont enfin à MMes LE BOUFFO et BUCHET qui se sont chargées de la dactylographie de cette étude.

°
° °

..//..

CONSOMMATION D'ENERGIE ET RECHERCHES D'ECONOMIES

D'ENERGIE DANS LE TRANSPORT FLUVIAL



RESUMÉ

NOTE DE SYNTHESE



RESUMÉ

La crise pétrolière a imposé à tous les secteurs économiques la recherche d'économies d'énergie. Le transport fluvial n'y échappe pas. Bien que peu importante dans l'ensemble du secteur des transports, la consommation d'énergie du transport fluvial, composée exclusivement de produits pétroliers, constitue cependant un élément déterminant de la structure du coût de transport.

La recherche d'économies d'énergie a été effectuée en analysant d'abord les données disponibles sur le sujet, puis en passant en revue systématiquement l'ensemble des domaines où cette action peut s'exercer, et en distinguant ce qui peut être entrepris à court terme ou à plus long terme.

A la suite de cette analyse, diverses actions précises sont évoquées: préconisations techniques ou mise en oeuvre d'études destinées à approfondir des connaissances insuffisantes. L'analyse concerne plus spécialement la flotte fluviale, mais les problèmes d'infrastructure y sont abordés succinctement.

L'intérêt de s'attaquer à la formation du personnel a démontré la nécessité d'entreprendre une étude précise et immédiate de recherche de corrélation entre la consommation et les caractéristiques de la navigation effectuée.

Mots clés : Analyse, Consommation, Energie, Navigation, Produits pétroliers (hydrocarbures), Transport fluvial

NOTE DE SYNTHÈSE

La crise pétrolière a fait apparaître de manière aiguë la nécessité de se préoccuper d'économiser l'énergie dans tous les domaines. La France est en effet un pays très dépendant en matière énergétique. Cette dépendance est de 75 % environ pour l'énergie d'origine primaire, mais de 98 % en matière de produits pétroliers.

La consommation énergétique du secteur des transports et du transport fluvial

Alors que la consommation française de produits pétroliers accuse une tendance à la stabilisation, voire à la régression, la demande de ces mêmes produits pétroliers pour les transports poursuit une forte ascension, entraînant une augmentation de la part des transports dans la consommation nationale d'énergie.

Le transport fluvial intervient lui même pour une part très modeste (126 000 T en 1979) dans la consommation des produits pétroliers du secteur des transports (34 millions de T). L'examen des structures de coût de transport indique pourtant que c'est dans le transport fluvial que le coût de l'énergie est le plus important en pourcentage. La compétitivité du transport fluvial passe donc par une réduction de la part de l'énergie dans le coût du transport. C'est le domaine des économies d'énergie que l'Office National de la Navigation recherche à promouvoir dans cette optique.

La recherche des économies d'énergie

Cette recherche s'est effectuée de façon qualitative par analyse des données actuelles en la matière, puis par un passage en revue des diverses possibilités d'économie au niveau de la flotte, compte tenu des connaissances techniques et économiques.

La formation du personnel dans le domaine étudié a une importance capitale : une étude particulière y est analysée, qui décrit la méthode devant aboutir à la diffusion d'un manuel de conduite auprès des utilisateurs.

Hypothèses de travail

La recherche d'économies d'énergie se situe sur deux plans différents

1 - Réduction des consommations dans le cas d'une disponibilité toujours suffisante de produits pétroliers, la réduction des coûts de transports étant l'objectif à atteindre,

2 - Pénurie de produits pétroliers : dans ce cas, les carburants de substitution doivent être pris en considération.

Données actuelles

Les connaissances sur les consommations de produits pétroliers dans le transport fluvial proviennent de sources variées :

- gouvernementales (étude du Ministère des transports sur les consommations unitaires d'énergie dans les transports),
- étrangères (études et recherches appliquées effectuées principalement en Allemagne dans des domaines tant techniques qu'économiques),
- à l'initiative des sociétés ou groupements de navigation (dans le cadre de leur gestion d'entreprise, les sociétés de transports recueillent les éléments techniques et économiques de fonctionnement de leur flotte et établissent des indicateurs de rendement suivant les différents éléments de leur parc fluvial).

Ces connaissances, parfois très précises, ne sont pas orientées ou mises à profit pour une recherche des possibilités d'économies. Notamment aucune liaison entre les consommations relevées sur la flotte et les conditions de fonctionnement ou de navigation n'est établie, la connaissance de ces conditions ne dépassant pas le stade intuitif.

Possibilités d'économies au niveau de la flotte

L'étude s'est efforcée de distinguer les actions à court terme, et les actions à long terme qui sont conditionnées par un développement des connaissances techniques, par une évolution des conditions économiques, ou par des délais de réalisation effective.

Parmi les actions à court terme, faciles à mettre en oeuvre, figurent la recherche d'une vitesse économique et d'un régime de fonctionnement de moteur optimum, permettant d'obtenir le meilleur rapport rapidité-coût.

Les actions à moyen et long terme semblent plus variées ; ont été examinées :

- les questions liées à la puissance des moteurs,
- les formes des bateaux, le mode de chargement,
- l'amélioration de la propulsion,
- le mode de formation des convois, et les dispositifs d'accouplement,
- la récupération de l'énergie résiduelle des moteurs,
- les carburant de substitution.

Quelques propositions ont pu être faites de manière pragmatique, ou en vue de poursuivre les études dans certains domaines insuffisamment explorés :

- utilisation de 3 moteurs sur les pousseurs, en vue d un fonctionnement partiel sur 1 ou 2 moteurs lorsque les conditions de navigation le permettent,
- utilisation de moteurs suralimentés, lorsque l'exploitation du bateau y est compatible,
- poursuite des études sur les tuyères, sur la récupération des gaz d'échappement,
- préconisation de dispositifs d'accouplement des automoteurs de 38,50 m, pour leur permettre de bénéficier de l'intérêt de leur jumelage sur les voies à grand gabarit sur lesquelles ils effectuent la majorité de leur navigation.

Les carburants de substitution, utilisables en cas de rupture d'approvisionnement pétroliers ont été étudiés. Seul le gazogène est à l'heure actuelle susceptible de développement.

Économies d'énergie au niveau de l'infrastructure

Cette question a été traitée, rappelons-le, très succinctement, et a porté sur les barrages et écluses, le pompage de bief à bief, le plan incliné d'ARZWILLER et la pente d'eau de MONTECH.

En ce qui concerne ces éléments, de simples constats ont été effectués et aucune proposition n'a été faite si ce n'est l'intérêt de l'électrification du mécanisme moteur de déplacement du bouclier de la pente d'eau.

Formation du personnel

La nécessité de porter à la connaissance des dirigeants de sociétés de transports et du personnel de conduite, des recommandations en matière d'économies d'énergie dans le transport fluvial a entraîné l'obligation de disposer d'indications précises sur le plan quantitatif.

La recherche de relations entre différents paramètres de navigation (hauteur d'eau, sens et vitesse du courant, largeur du bief, vitesse et direction du vent) et la consommation de carburant fait l'objet d'une étude engagée en avril 1981, sur différents éléments du parc fluvial.

Le recueil de données, en cours d'acquisition, doit faire l'objet d'un suivi et d'une exploitation des résultats que la présente étude a devancés, mais qui devraient fournir la matière à un manuel pratique d'économies d'énergie.

o
o . o

..//..

SOMMAIRE

Introduction	p.	1
1 - Problématique de la consommation d'énergie dans le transport fluvial	p.	3
1.1. Consommation d'énergie nationale et consommation du secteur des transports	p.	3
1.2. Consommation d'énergie du transport fluvial et consommation du secteur des transports	p.	6
1.3. Part du coût de l'énergie dans le coût du transport	p.	8
1.3.1. Enquêtes prix de revient de l'O.N.N.	p.	9
1.3.1.1. Résultats des enquêtes de 1978 et 1979	p.	11
1.3.1.2. Etude de 1980 sur les prix de revient	p.	12
1.3.1.3. Interprétation des résultats	p.	16
1.3.2. Enquête S.A.E.	p.	17
1.4. Possibilité d'assimilation avec le transport maritime	p.	18
1.5. Intérêt de la recherche d'économies d'énergie dans le transport fluvial	p.	19
2 - Recherche qualitative des économies possibles dans les transports en navigation intérieure	p.	20
2.1. Hypothèses d'études	p.	20
2.2. Données existantes	p.	21
2.2.1. Analyse du parc et des consommations par type de bateau	p.	21
2.2.2. Etude sur les consommations unitaires	p.	22
2.2.3. Etudes effectuées par le "Versuchanstalt für Binnenschiffbau" de Duisbourg	p.	23

2.2.3.1. Au niveau de l'exploitation	p. 23
2.2.3.2. Au niveau de l'hydrodynamique	p. 23
2.2.3.3. Résumé des propositions	p. 24
2.2.4. Utilisation des relevés d'exploitation	p. 27
2.2.4.1. Union Batelière de l'Ile de France	p. 27
2.2.4.2. Compagnie des Sablières de la Seine	p. 29
2.2.4.3. Compagnie des Sablières et Entreprises Morillon-Corvol	p. 30
2.2.4.4. Autres renseignements recueillis	p. 31
2.3. Analyse des diverses possibilités d'économie dans l'état actuel des connaissances, au niveau de la flotte	p. 32
2.3.1. A court terme	p. 32
2.3.1.1. Régime des moteurs	p. 32
2.3.1.2. Vitesse du bateau	p. 39
2.3.1.3. Réduction des déplacements à vide par organisation de l'exploitation	p. 41
2.3.2. Actions à moyen et long terme	p. 42
2.3.2.1. Puissance du moteur	p. 42
2.3.2.2. Forme des bateaux	p. 47
2.3.2.3. Appareil propulseur	p. 48
2.3.2.4. Mode de chargement	p. 51
2.3.2.5. Dispositifs d'accouplement	p. 52
2.3.2.6. Mode de formation des convois	p. 52
2.3.2.7. Récupération d'énergie résiduelle	p. 52
2.3.2.8. Carburants de substitution	p. 53

1°) le fuel lourd	p. 53
2°) émulsion eau-fuel oil	p. 55
3°) alcool	p. 56
4°) gazogène	p. 57
5°) le charbon	p. 59
2.4. Possibilités d'économie d'énergie au niveau de l'infrastructure	p. 59
2.4.1. Les barrages et écluses	p. 60
2.4.2. Les plans inclinés	p. 63
2.4.3. La pente d'eau	p. 64
2.5. Formation du personnel	p. 65
2.5.1. Objectifs	p. 66
2.5.2. Méthodologie	p. 66
2.5.3. Flotte étudiée	p. 67
2.5.4. Intervention	p. 68
2.5.4.1. Adaptation du matériel	p. 68
2.5.4.2. Recueil et analyse des données sur un échantillon de bateaux	p. 68
Conclusion	p. 70
Bibliographie	p. 72
Annexes n°s 1 à 16	p. 78 à 99

Les perspectives énergétiques ont donné lieu, depuis la première crise pétrolière de 1973-1974 à de nombreuses études qui concluent toutes, avec des nuances entre elles, dans le même sens : l'approvisionnement en énergie pose, à l'horizon 1990, des problèmes préoccupants, contrastant avec la facilité d'accès à l'énergie qui a caractérisé la première partie du vingtième siècle, spécialement d'ailleurs la période 1950-1970.

La France, de son côté, s'est préoccupée très précocement de cette question en raison de sa très forte dépendance énergétique vis-à-vis des sources d'approvisionnement étrangères.

Les consommations d'énergie primaire corrigées pour tenir compte des incidences climatiques, et exprimées en Millions de tonne d'équivalent pétrole (Mtep) étaient les suivantes, en regard de la production :

	Consommations corrigées	Production	Taux de dépendance
1972 (1)	163	45,4	72 %
1973 (1)	174,8	42,2	76 %
1974 (1)	175,7	42,5	76 %
1975 (1)	164,4	43,8	73 %
1976 (1)	174,5	40,3	77 %
1977 (1)	178,4	46,9	74 %
1978 (2)	184,5		
1979 (2)	189,5		

(1) Source : Commissariat au Plan et Ministère de l'Industrie

(2) Source : S.A.E. (Service d'Analyse Economique - Ministère des Transports)

Si l'on compare les mêmes données concernant cette fois, non plus les consommations d'énergie primaire, mais les consommations de produits pétroliers, le taux de dépendance du pays se situe de manière remarquablement constante pour la décennie 1970-1980 à 98 %.

	Consommations corrigées		Production		Taux de dépendance
	(M. tep)	(1) (2)	(M. tep)	(3)	
1972	106,4		2,1		98 %
1973	116,9		2,1		98 %
1974	113,3		1,9		98 %
1975	102,5		1,8		98 %
1976	109,6		1,9		98 %
1977	106,4		1,8		98 %
1978	108,8				
1979	108,2				

(1) Source : S.A.E.

(2) en 1960 la consommation française de produits pétroliers a été de 26,8 Mtep

(3) Source : Commissariat Général au Plan et Ministère de l'Industrie

Cette situation de dépendance, que l'on retrouve de manière moins marquée chez nos voisins septentrionaux de l'Europe Occidentale, a conduit tous les secteurs de la vie économique du pays à effectuer une recherche d'économie d'énergie qui est conduite avec l'aide de l'Agence pour les Economies d'Energie, dont la mise en place a été décidée à cet effet par le Gouvernement.

Cette recherche d'économie a été reprise dans la première des six options du VIII^{ème} Plan intitulée "Réduire notre dépendance en énergie et en matières premières".

L'Office National de la Navigation s'est préoccupé, dans le cadre du transport fluvial qui le concerne, de participer à cette priorité nationale.

Un programme d'études pluriannuel a été engagé par cet organisme sur les économies d'énergie possibles dans les transports en navigation intérieure.

Les principaux thèmes retenus sont les suivants :

- 1981 - Campagne de mesures statistiques destinées à l'élaboration d'un "Dossier de recommandations" à diffuser aux transporteurs
- 1982 - Etude pour la conception et la réalisation d'un moteur à gazogène pour la navigation fluviale,
 - Etude spécifique quant aux formes et aux systèmes de propulsion comportant notamment des essais en bassin de carènes.

La présente étude a pour origine la première partie de ce programme qui est né de la méconnaissance à peu près complète des données de base qui régissent la consommation en carburant des bateaux de navigation intérieure.

1 - PROBLEMATIQUE de la CONSOMMATION d'ENERGIE dans le TRANSPORT FLUVIAL

1.1. Consommation d'énergie nationale et consommation du secteur des transports

La consommation d'énergie du secteur des transports n'a cessé de croître depuis 1970, à l'exception d'un recul de 2,4 % en 1974 comme l'indiquent les tableaux ci-dessous, réalisés par le S.A.E. avec des éléments chiffrés fournis par le Comité Professionnel du Pétrole.

TABLEAU 1

Consommation du secteur des transports : (Millions de t.e.p.)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Transports	24,45	26,10	28,93	31,76	30,99	31,46	33,60	34,43	35,27	36,32
		+ 6,7 %	+ 10,5 %	+ 9,8 %	- 2,4 %	+ 1,5 %	+ 6,8 %	+ 2,5 %	+ 2,4 %	+ 3,0 %
dont produits pétroliers	23,16	24,80	27,58	30,34	29,57	30,10	32,16	33,00	33,78	34,81
		+ 7,1 %	+ 11,2 %	+ 10,0 %	- 2,5 %	+ 1,8 %	+ 6,8 %	+ 2,6 %	+ 2,4 %	+ 3,0 %

TABLEAU 2

Consommation des transports intérieurs : (Millions de t.e.p.)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Transports intérieurs (1)	18,55	19,99	21,91	23,96	23,59	24,32	25,87	26,57	27,87	28,52
		+ 7,8 %	+ 9,6 %	+ 9,4 %	- 1,5 %	+ 3,1 %	+ 6,4 %	+ 2,7 %	+ 4,9 %	+ 2,3 %
dont produits pétroliers	17,25	18,69	20,55	22,54	22,17	22,96	24,43	25,13	26,38	27,01
		+ 8,3 %	+ 10 %	+ 9,7 %	- 1,6 %	+ 3,6 %	+ 6,4 %	+ 2,9 %	+ 5,0 %	+ 2,4 %

(1) Voir annexe 1

Cette croissance est à comparer avec celle de la consommation nationale d'énergie.

TABLEAU 3

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Consommation primaire (1)	148,50	152,82	162,97	175,38	176,53	165,16	175,27	179,58	184,47	189,50
		+ 3,0%	+ 6,6%	+ 7,6%	+ 0,7%	- 6,4%	+ 6,1%	+ 2,5%	+ 2,7%	+ 2,7%
Total combustible	134,73	140,41	150,44	162,41	160,90	147,48	160,78	157,95	162,01	165,30
		+ 4,2%	+ 7,1%	+ 8,0%	- 0,9%	- 8,3%	+ 9,0%	- 1,8%	+ 2,6%	- 2,0%
Produits pétroliers	87,34	94,62	106,40	116,97	113,30	102,52	109,63	106,43	108,80	108,20
		+ 8,3%	+12,4%	+ 9,9%	- 3,1%	- 9,5%	+ 6,9%	- 2,9%	+ 2,2%	- 0,6%

En terme de produits pétroliers, l'augmentation de consommation a été continue - mise à part l'année 1974 - pour le secteur des transports entre 1970 et 1979. La consommation de ces produits a cru de 23,16 M.t.e.p. en 1970 à 34,81 M. t.e.p. en 1979, la part revenant aux transports intérieurs s'élevant pendant la même période de 17,25 M. t.e.p. à 27,01 M.t.e.p.

Quant à la consommation nationale de produits pétroliers, la croissance a été marquée de 1970 à 1973 (87,34 M.t.e.p. à 116,97 M.t.e.p.), mais depuis 1974 une tendance très nette à la stabilisation, si ce n'est à la régression, s'est faite jour puisque en 1979 la valeur de 108,20 M.t.e.p. a été à hauteur de 93 % de celle de 1973.

.../...

(1) Voir annexe 1; Consommation totale d'énergie primaire

On assiste donc à une augmentation très nette de la part des transports dans la consommation nationale d'énergie, comme l'indique la progression suivante (1) :

TABLEAU 4

	1958	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
(2)		14%	18%	18%	18%	19%	19%	19%	19%	19%
(3)	19,6%		20,6%	21%	20%	21,9%	22,1%	22%		

Cette tendance à la hausse est encore plus marquée si l'on ne retient que la consommation de produits pétroliers, la progression devant la suivante :

TABLEAU 5

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
	26%	26%	26%	26%	29%	29%	31%	31%	32%

C'est à l'évidence le résultat conjugué de la politique d'économies d'énergie dans les autres secteurs de l'activité économique et d'une tendance du secteur des transports à une activité soutenue malgré les effets de la crise économique.

.../...

(1) Voir annexe 1; consommation totale d'énergie primaire

(2) Résultant des tableaux 2 et 3 ci-dessus.

(3) Avis et Rapports du Conseil Economique et Social - Les perspectives énergétiques tableau n° 4 - p. 899.

1.2. - Consommation d'énergie du transport fluvial et consommation du secteur des transports.

L'Office National de la Navigation procède, par enquêtes auprès des sociétés pétrolières, à l'estimation des consommations de la navigation intérieure. Selon les résultats de ces enquêtes qui ont eu lieu en 1978 et 1979, la consommation serait de :

129 000 m³ (1978), 158 000 m³ (1979)

ou : 103 723 T (1978), 126 568 T. (1979) (1)

Ces enquêtes sont effectuées de la façon suivante :

Chacun des fournisseurs de fuel à la batellerie, classé par Direction Régionale de Navigation et repéré par Arrondissement de Navigation est invité annuellement depuis 1978 à déclarer le volume qu'il a délivré à la profession. Les volumes déclarés sont ensuite additionnés. Un contrôle de ces déclarations a été ressenti comme nécessaire. Aussi a-t-on songé à utiliser à cet effet le niveau de trafic, dont les Directions Régionales de la Navigation ont une bonne connaissance. Pour obtenir une consommation de carburant à partir d'un trafic connu en tonnes-kilomètres, il faut avoir une connaissance très précise de la consommation unitaire du transport fluvial à la tonne-kilomètre. Cette consommation unitaire varie fortement suivant le type de bateau utilisé, et son mode de motorisation.

L' Office National de la Navigation a ainsi été conduit à effectuer un second recueil de données. Les dix principaux armements ont été invités à fournir un compte rendu sommaire de leur activité indiquant pour chaque type de matériel utilisé : la puissance, le tonnage kilométrique produit, le coefficient de parcours en charge, la consommation annuelle en litres, en litres pour 100 tonnes-kilomètres. Par ailleurs les Directions Régionales de Navigation ont procédé à la recherche de ce même type de renseignement auprès des artisans-bateliers. Les renseignements qui ont été obtenus, qui s'échelonnent de 6,5 g/T. km (automoteurs de rivière non citernes) à 16,3 g/Tkm (automoteurs de canal citernes) ont été rapprochés des tonnages-kilomètres.

.../...

(1) Densité 0,81 à 0,89 (voir annexe 3)

transportés (1) par chacun des types de bateaux segmentés.

Les résultats de ces contrôles, qui ont servi d'ailleurs à effectuer rétroactivement les estimations des consommations depuis 1970 sont les suivants :

- TABLEAU 6 -

	1970	1971	1972	1973	1974	
Trafic total en 10 ⁹ T.Km	14,18	13,77	14,16	13,79	13,74	
Consommation en millions de t.e.p.	0,154	0,150	0,154	0,148	0,146	
	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Trafic total en 10 ⁹ T.Km	11,91	12,16	11,27	11,59	11,90	12,15
Consommation en millions de T.e.p.	0,125	0,127	0,117	0,112	0,124	0,126
Consommation d'après les déclarations des fournisseurs de fuel				0,104	0,127	

(1) L'hypothèse a été faite que les T.km produites à l'étranger avec du carburant acheté en France sont égales aux T.Km produites en France avec du carburant acheté à l'étranger.

.../...

Quoi qu'il en soit, on mesure à l'examen de ces chiffres, combien réduite est en valeur absolue la consommation du transport fluvial en produits pétroliers vis-à-vis des transports routiers (26,184 M.t.e.p. en 1979), du transport ferroviaire (0,664 M.t.e.p.), du transport aérien (2,500 M.t.e.p.) et même du transport maritime (4,851 M.t.e.p.).

Cette faible consommation du transport fluvial, minime pourrait-on avancer, lorsqu'on la compare aux 34,80 Millions de tonnes de produits pétroliers consommés dans l'ensemble des transports et a fortiori aux 189,50 Millions de t.e.p. d'énergie primaire consommée par la nation, pourrait, dans une première approche faire douter de l'intérêt et de l'efficacité d'une recherche d'économie d'énergie dans ce domaine particulier (1).

1.3. Part du coût de l'énergie dans le coût du transport

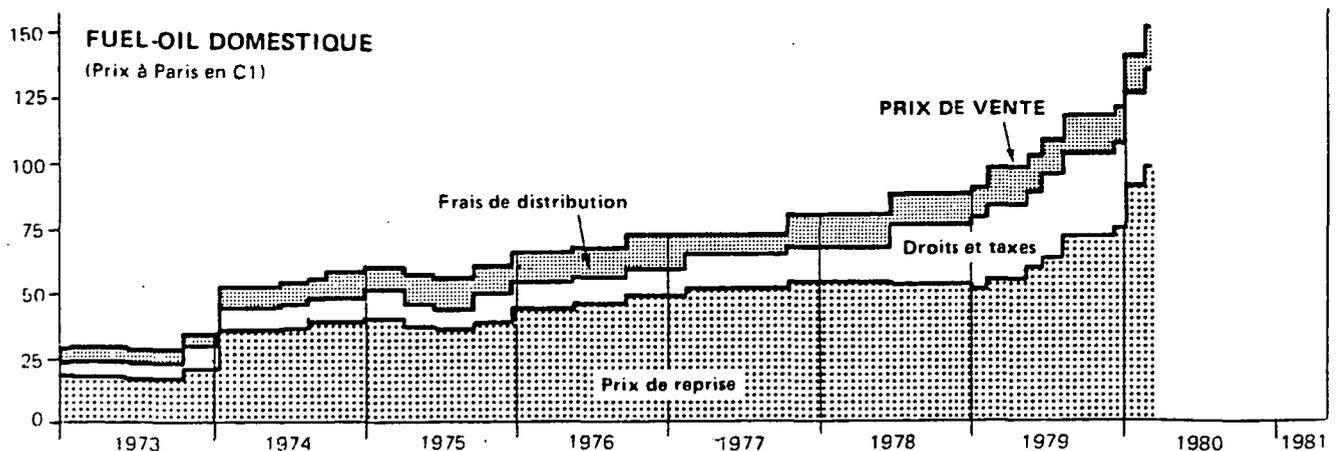
Nous essaierons d'analyser dans ce paragraphe dans quelle proportion intervient l'énergie dans le coût du transport, dans la mesure où celui-ci peut être déterminé ou divulgué par des entreprises soucieuses de conserver leurs facultés concurrentielles.

Le transport fluvial consomme exclusivement le fuel oil domestique.

Le prix de ce combustible a évolué de 24,10 F. T.T.C. au 1er mai 1970 à 158,80 F.T.T.C. au 22 février 1980, soit une augmentation de 533 % en pratiquement dix ans.

Cette augmentation s'est faite avec deux paliers fortement ascendants en 1973-1974 et en 1979 à la suite des deux chocs pétroliers correspondants.

La courbe ci-dessous montre le détail de cette évolution sur les dix dernières années. Elle résume le détail de l'évolution des prix qui figure en annexes 2 et 3.



..//..

(1) En République Fédérale Allemande, entre 1969 et 1978, le trafic est passé pour la voie d'eau de 47,7 à 51,5 10^9 /T.Km (multiplicateur 1,08) et la consommation énergétique de 1,14 à 1,30 10^9 tonnes équivalent charbon, soit 0,76 à 0,87 10^9 t.e.p. (multiplicateur 1,14).

Source : Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstrassen - Nov. 1979.

Cette évolution s'est naturellement répercutée sur la structure des coûts de transports.

Ceux-ci ont été analysés :

- par l'Office National de la Navigation dans le cadre d'études de prix de revient des transports par eau effectuées systématiquement année par année, mais avec des modalités qui peuvent différer d'un an sur l'autre,
- par le Service d'Analyse Economique du Ministère des Transports dans le cadre de la préparation du XVIIème rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation. (1)

1.3.1. Enquêtes prix de revient de l'O.N.N.

Ces enquêtes concernaient jusqu'en 1978 des échantillons :

- d'automoteurs de 38,50 m. (2)
- de petits convois poussés (3)
- de bateaux de rivière (4),

la représentativité de chaque échantillon étant vérifiée.

L'objectif est d'obtenir des renseignements nécessaires à une meilleure connaissance de la répartition et de l'évolution des coûts du transport fluvial, permettant de confronter le niveau des dépenses d'exploitation et le chiffre d'affaires annuel moyen.

Les dépenses d'exploitation qui ont été prises en compte sont les suivantes : elles sont réparties en charges fixes et charges variables.

../..

-
- (1) Les Transports en France en 1979, publié par l'I.N.S.E.E. dans les collections de l'I.N.S.E.E.
 - (2) Les dimensions de cet automoteur lui permet de circuler sur la quasi-totalité du réseau (en France, Canal du Midi, Canaux Bretons, Canal du Nivernais exclus).
 - (3) Un "petit convoi poussé" est constitué d'un automoteur de 38,50 m. et d'une barge poussée de mêmes dimensions. Il peut circuler sur les fleuves et rivières canalisées à grand gabarit, et sur la liaison Seine-Nord dont les écluses sont adaptées à ses dimensions.
 - (4) Automoteurs de tous tonnages limités à chaque bassin fluvial.

- Salaires et charges
- Assurances
- Carburant et lubrifiant
- Entretien courant et grosses réparations
- Taxes diverses, commissions d'affrètement
- Frais divers.

Nous avons cherché à isoler le poste carburant pour en saisir l'importance.

En 1979, l'enquête annuelle n'a porté que sur les seuls automoteurs de 38,50 m.

Le tableau récapitulatif ci-dessous donne les résultats de ces enquêtes les plus récentes :

1.3.1.1. Résultats des enquêtes de 1978 et 1979

TABIEAU 7

	Dépenses moyennes 1978			Dépenses moyennes 1979		
	Ensemble	Charges fixes	Charges variables	Ensemble	Charges fixes	Charges variables
<u>Automoteurs de 38.50 m.</u>						
Dépenses hors amortissement	98.450	70.798	27.650	134.272	86.498	47.774
(dont carburant)	12.897 (13 %)		12.897 (47 %)	18.925		18.925
Amortissement	36.996	36.996		29.667	29.667	
Total et part du carburant dans ce total	135.446 (10 %)		27.650	163.939 (12 %)	116.165	47.774 (40 %)
<u>Petits convois</u> (<u>Marchandises générales</u>)						
Dépenses hors amortissement	134.322	82.035	52.287	—	—	—
(dont carburant)	18.468 (14 %)	—	18.468 (35 %)			
<u>Petits convois (sabliers)</u>						
L'échantillon de 1978 était composé de 2 convois seulement. La disparité des dépenses d'exploitation ne permet pas d'obtenir des valeurs significatives pour le poste "carburant"				—	—	—
Part carburant en 1977	(11 %)					
<u>Bateaux de rivière de</u> <u>marchandises générales</u>						
Dépenses hors amortissement	158.176			—	—	—
(dont carburant)	21.496 (14 %)					
<u>Bateaux de rivière</u> <u>sabliers</u>						
Dépenses hors amortissement	131.798			—	—	—
(dont carburant)	23.509 (18 %)					

1.3.1.2. Etude de 1980 sur les prix de revient

L'étude de 1980 est basée sur les résultats d'enquêtes des années précédentes.

Elle ne comporte donc pas d'échantillons soumis à questionnaires.

Les types de convois étudiés sont les suivants :

Convoi 5.000 T. (enfoncement 3,50 m.)	exploitation industrielle avec retour à vide systématique
Automoteur 1.350 T.	" " " " "
Automoteur 1.350 T.	exploitation au tour de rôle
Petit convoi 2 x 38,50 m.	exploitation industrielle, retour à vide
Petit convoi 2 x 38,50 m.	exploitation au tour de rôle
Automoteur 38,50 m. allongé à 51m.	exploitation industrielle, retour à vide
Automoteur 38,50 m. allongé à 51 m.	exploitation au tour de rôle
Automoteur 38,50 m.	exploitation industrielle, retour à vide
	a) sur réseau à grand gabarit
	b) sur réseau Freycinet
	c) sur l'ensemble du réseau
Automoteur 38,50 m.	exploitation au tour de rôle
	a) sur réseau à grand gabarit
	b) sur réseau Freycinet
	c) sur l'ensemble du réseau

Le champ d'application a été élargi à des types de convois nouveaux (convoi poussé de 5.000 T.) et à des situations plus variées (transport industriel, par affrètement au tour de rôle, zones de circulation différenciées). Les caractéristiques des bateaux de rivière ont été précisées : l'automoteur de 1.350 T. et l'automoteur de 38,50 m. allongé à 51 m. ont été étudiés.

Les hypothèses de départ de l'étude ont été différenciées suivant les conditions d'exploitation.

. Les consommations de carburant sont estimées au départ, en litres par 100 T/Km :

Exploitation	Convoi poussé	Automoteur 1.350 T.	Petit convoi	51 m.	38,50 m.
industrielle	0,9	1,2	1,5	1,5	2,0
au tour de rôle	—	1,0	1,2	1,2	1,5

- L'exploitation au tour de rôle, qui consiste pour le transporteur à obtenir un contrat de transport après passage en bourse d'affrètement, comporte des délais d'attente de fret (6 jours), des déplacements à vide (2 jours), des délais de mise à quai et de chargement (variables suivant le type de bateau).
- L'exploitation industrielle, qui ne comporte pas l'attribution du fret en bourse d'affrètement mais par entente directe entre le chargeur et le transporteur - si ce n'est la même personne - est caractérisée par un retour à vide systématique, sans délai d'attente d'affrètement. La durée de rotation d'un bateau exploité industriellement est plus rapide qu'au tour de rôle, et le tonnage transporté plus important.
- Lorsque l'exploitation s'effectue sur des réseaux homogènes, les vitesses retenues ont été :

réseau Freycinet :	35 km/j
réseau grand gabarit :	90 km/j

- Enfin le matériel neuf (1) a été distingué du matériel d'occasion, les frais d'amortissement étant appréciés différemment.

Les résultats sont présentés aux tableaux 8 et 9 :

../..

(1) On doit noter à ce sujet que les calculs basés sur du matériel neuf n'ont souvent qu'une valeur théorique; la quasi-totalité des transports par automoteurs s'effectuent avec des matériels déjà amortis, et relèvent donc du calcul de la colonne "occasion".

TABLEAU 8

	Exploitation industrielle		Exploitation au tour de rôle	
	neuf	occasion	neuf	occasion
<u>Automoteur 1.350 T.</u>				
charges fixes	712.450	351.300	712.450	351.300
charges variables	253.622	217.506	157.862	121.743
(dont carburant)	88.452 (35 %)	88.452 (41 %)	39.312 (25 %)	39.312 (32 %)
Dépenses totales d'exploitation	966.000	569.000	473.000	473.000
(et part du carburant)	(9 %)	(16 %)	(5 %)	(8 %)
<u>Petit convoi 2 x 38,50 m.</u>				
charges fixes	349.183	156.342	349.183	156.342
charges variables	160.263	140.979	102.443	83.158
(dont carburant)	67.473 (42 %)	67.473 (48 %)	35.078 (34 %)	35.078 (42 %)
dépenses totales d'exploitation	509.000	297.000	450.000	240.000
(et part du carburant)	(13 %)	(23 %)	(8 %)	(15 %)
<u>Convoi poussé de 5.000 T.</u>				
charges fixes	6.934.800	—		
charges variables	5.229.600	—		néant
(dont carburant)	2.366.000	—		
dépenses totales d'exploitation	12.164.000	—		
(et part carburant)	(19 %)			

TABLEAU 9

	Exploitation industrielle		Exploitation au tour de rôle	
	neuf	occasion	neuf	occasion
<u>Automoteur de 38,50 m. sur réseau à grand gabarit</u>				
charges fixes	209.740	114.826	209.740	114.826
charges variables (dont carburant)	108.107 52.920 (49 %)	98.616 52.920 (54 %)	55.051 19.845 (36 %)	45.559 19.845 (44 %)
Dépenses totales d'exploitation (dont carburant)	318.000 (17 %)	213.000 (25 %)	265.000 (7 %)	160.000 (12 %)
<u>Automoteur de 38,50 m. sur l'ensemble du réseau</u>	neuf	occasion	neuf	occasion
charges fixes			209.740	114.826
charges variables (dont carburant)	non étudiées		54.549 15.930	45.058 15.930
dépenses totales d'exploitation (dont carburant)			264.000 (6 %)	160.000 (10 %)
<u>Automoteur de 38,50 m. sur réseau Freycinet</u>	neuf	occasion	neuf	occasion
charges fixes	208.740	114.826	209.740	114.826
charges variables (dont carburant)	57.593 18.900 (33 %)	48.101 18.900 (39 %)	41.423 10.630 (26 %)	31.930 10.630 (33 %)
dépenses totales d'exploitation (dont carburant)	267.000 (7 %)	163.000 (12 %)	251.000 (4 %)	147.000 (7 %)

1.3.1.3. Interprétation des résultats

L'examen du poste carburant montre des disparités relativement importantes suivant le type de convoi.

En 1978, il se situe en effet entre 10 et 14 % de l'ensemble des dépenses (y compris amortissement) pour les automoteurs, petits convois et bateaux de rivières de marchandises générales, mais passe à 18 % pour les bateaux de rivières sabliers.

Si l'on rapporte les carburants aux dépenses hors amortissement puis aux frais variables seuls, la proportion passe au voisinage de 15 % puis de 35 %, sauf pour les bateaux de rivières sabliers pour lesquels ces valeurs sont encore plus importantes.

L'étude de 1980 fait, quant à elle, apparaître pour les convois poussés de 5.000 T. des dépenses de carburant se situant à 19 % des dépenses totales (amortissement compris) et à 45 % des charges variables.

Pour les autres types de bateaux, on remarque également une différence entre le type d'exploitation industrielle (1) et le type d'exploitation par affrètement au tour de rôle.

Ainsi en 1980 pour un automoteur de 1.350 T., la part du coût du carburant passe de 5 % (bateau neuf) ou 8 % (bateau d'occasion) à 9 % (matériel neuf) ou 16 % (occasion) des dépenses totales amortissement compris suivant que l'on exploite au tour de rôle ou industriellement.

Pour un petit convoi de deux unités de 38,50 m., la part du coût du carburant passe dans les mêmes conditions de 8 % et 15 %, à 13 % et 23 %.

Si l'on se rapporte aux seules charges variables, la part du coût du carburant est de :

automoteur de 1.350 T.	: 25 % (neuf) et 32 % (occasion) au tour de rôle 35 % (neuf) et 41 % (occasion) industrielle- ment
petit convoi	: 34 % (neuf) et 42 % (occasion) au tour de rôle 42 % (neuf) et 48 % (occasion) industrielle- ment

Les taux relevés sont inférieurs dans l'exploitation au tour de rôle en raison de l'absence de retour à vide systématique, et malgré la rotation plus faible du matériel.

On remarque également une différence importante de la part du coût du carburant entre un automoteur de 38,50 m. circulant exclusivement en canal Freycinet (7 % des dépenses totales pour un matériel non récent) et le même automoteur circulant industriellement sur le réseau à grand gabarit (25 % des dépenses totales). Dans ce dernier cas, le coût du carburant est de 54 % des charges variables.

..//..

(1) Par contrats ne nécessitant pas le passage en bourse d'affrètement.

Cette différence est le fruit des hypothèses de départ de l'étude qui, pour l'exploitation industrielle,

- comportent une consommation spécifique à la tonne-kilomètre supérieure de 0,2 (automoteur de 1.350 T.) à 0,5 (automoteur Freycinet) litres, puisque la moitié du trajet se fait en retour à vide,
- prennent en compte la rotation plus importante du matériel, et donc le tonnage transporté plus important,
- distinguent le matériel neuf et le matériel d'occasion : les amortissements du matériel neuf sont plus élevés que ceux du matériel ancien, et la part du carburant est donc plus faible sur un bateau neuf. Le bateau d'occasion étant partiellement amorti, les charges fixes sont réduites d'autant, augmentant l'importance des charges variables, et donc du poste "carburant".

1.3.2. Enquête S.A.E.

Le S.A.E. a effectué en 1980 une étude sur la décomposition du coût économique du transport de marchandises (1). Cette étude, comme celle de l'O.N.N. est basée sur des enquêtes auprès des principaux transporteurs opérant par route, rail, voie d'eau, conduite et transport maritime. Le coût économique, qui n'est fourni qu'en pourcentage, pour des raisons de concurrence commerciale, est réparti sur les postes suivants :

- Amortissement
- Coût du capital
- Frais de personnel
- Energie (hors taxes)
- Entretien du matériel
- Coût d'usage de l'infrastructure

Cette enquête fait apparaître les résultats suivants, pour des conditions d'utilisation très précises indiquées sur le document.

Convoi poussé de 10.000 T. (parcours Rouen - Ivry-sur-Seine)

la part de l'énergie est de 14,5 % des dépenses totales et de 20,1 % des dépenses hors amortissement.

Petit convoi de deux engins de 38,50 m. (parcours Valenciennes-Verberie)

l'énergie représente 14,9 % et 16,8 % des dépenses totales ou hors amortissement.

Automoteur de 38,50 m. (parcours Reims-Rouen)

l'énergie représente 12,9 % et 14,5 % des dépenses totales et hors amortissement.

..//..

(1) Cette étude figure à l'annexe 8 du fascicule "Les Transports en France en 1979", de l'I.N.S.E.E.

L'enquête du S.A.E. corrobore sensiblement les valeurs les plus basses ressortant des résultats de l'enquête O.N.N. Les valeurs les plus fortes de celle-ci ne sont donc pas confirmées. Ceci provient vraisemblablement de la moins bonne représentativité de l'échantillon du S.A.E. qui n'a pas été vérifiée.

Cependant les renseignements qui nous ont été fournis par diverses entreprises de transport fluvial, dans le cadre de cette étude, étayent les forts pourcentages des enquêtes O.N.N. Citons le cas de la Compagnie des Sablières de la Seine pour laquelle, sur l'ensemble de son coût de poussage, l'énergie se situe à 20 %, celle-ci variant d'ailleurs de 17 % pour le pousseur "DAUPHIN" (deux moteurs de 414 chevaux) à 36 % pour le pousseur "DUPELIX" (deux moteurs de 600 chevaux).

L'intérêt de l'enquête du S.A.E. est de permettre une comparaison - qui doit rester grossière en raison des conditions très différentes de fonctionnement - entre les parts du coût de transport revenant à l'énergie dans chaque type modal.

Cette part se situe, en moyenne, dans les fourchettes suivantes :

transport routier longue distance	8-11 % (ensemble articulé de 21 à 33 T. de PTR)
distribution de marchandises	2-10 % (véhicule de 3,5 à 21 T. de PTR)
transport ferroviaire	5-9 % (train complet en wagon isolé)
transport maritime	29-40 % des coûts totaux 9-63 % des coûts hors amortissement
transport par conduite	15-30 % (conduite de 50 cm à 1 m.)

Ainsi, si l'on met à part le transport par conduite, il apparaît que le transport fluvial est le type de transport intérieur où la part relative d'énergie dans le coût de transport se trouve être la plus élevée. L'on aborde donc le domaine des économies d'énergie dans le transport fluvial en remarquant qu'un élément de leur intérêt est lié à la diminution du coût de transport qu'elles peuvent induire ; cette diminution pourrait être plus importante en valeur relative que dans les modes de transports routiers et ferroviaires.

1.4. Possibilité d'assimilation avec le transport maritime

Il était dans notre intention initiale d'effectuer une comparaison des problèmes énergétiques du transport fluvial et du transport maritime, étant donnée la proximité de leur technique.

Le délai imparti pour l'étude ne nous a pas permis de le faire. Aussi nous bornerons-nous, lorsque le sujet s'y prêtera, à présenter les similitudes ou différences sectorielles qui ont été pressenties.

1.5. Intérêt de la recherche d'économies d'énergie dans le transport fluvial

Le transport fluvial est en lui-même un mode de transport économe en carburant, si on le considère d'après les consommations unitaires moyennes indiquées par Monsieur Alain FRYBOURG dans son étude sur les consommations unitaires d'énergie dans les transports.

Il existe pourtant une dispersion importante de ces valeurs suivant le type de bateau, et il y a intérêt à rechercher toutes possibilités d'amélioration.

Enfin, et bien que le transport fluvial ne participe que pour une part minime à la consommation d'énergie dans la vie économique, il n'est guère souhaitable de le laisser en dehors des efforts fournis par l'ensemble des autres agents économiques. Le ferait-il que sa compétitivité en serait réduite.

C'est finalement dans le cadre du maintien même de son activité que les économies d'énergie sont indispensables au transport fluvial.

2 - RECHERCHE QUALITATIVE des ECONOMIES POSSIBLES dans les TRANSPORTS en NAVIGATION INTERIEURE

2.1. Hypothèse d'études

La recherche des économies peut se situer sur des plans différents selon que l'on se place dans le cas d'une disponibilité suffisante en énergie et spécialement en produits pétroliers ou dans le cas d'un scénario de pénurie, tout l'éventail de situations se trouvant entre ces deux extrêmes pouvant d'ailleurs être balayé, suivant l'image des scénarios roses et gris (1) imaginés par le Comité Transports du VIIIème Plan.

Remarquons que plus la disponibilité des produits pétroliers se raréfie, plus le transport fluvial, qui est un des modes de transports les moins consommateurs, sera sollicité pour l'acheminement des marchandises. L'augmentation imaginable en cas de pénurie par rapport aux trafics estimés en 1985 dans le scénario gris, a été évalué de 5 à 15 % par le Comité Transports du VIIIème Plan.

Nous nous placerons généralement dans la situation de disponibilités suffisantes en produits pétroliers. La possibilité de pénurie d'approvisionnement pétrolier sera plus spécialement envisagée dans l'analyse des carburants de substitution.

Enfin nous écarterons délibérément le cas de modifications de l'infrastructure (modification de largeur, rectifications de courbes, réduction du nombre d'écluses) pour rester dans le cadre du réseau existant non remanié.

../..

-
- (1) Scénario rose : P.I.B. : + 3 % par an
Prix du pétrole : + 2 % par an
Scénario gris : P.I.B. : + 2,5 % par an
Prix du pétrole : + 7 % par an

2.2. Données existantes

2.2.1. Analyse du parc et des consommations par type de bateau

Le parc français était constitué en 1979 de 5.328 bateaux porteurs de marchandises et 210 pousseurs, auxquels s'ajoutent 31 remorqueurs.

Les bateaux porteurs de marchandises se répartissent en

4.091 automoteurs
1.107 barges
130 bateaux tractés

3.562 automoteurs, soit 87 % des automoteurs, sont des automoteurs de canal, de dimensions 38,50 m. x 5,05 m. Ceux-ci sont motorisés à 68 % dans la tranche de 100 à 199 chevaux (73 à 146 Kw).

En ce qui concerne les pousseurs, 54 % ont une puissance de plus de 500 chevaux (368 Kw), et 28 % ont plus de 1.000 chevaux (736 Kw).

La consommation de produits pétroliers par type de bateaux était la suivante, en 1978, Rhin et Moselle exclus (1).

! Automoteurs de canal de 38,50 m.	62.200 T.	62 %
! Bateaux de rivière	10.400 T.	11 %
! Convois poussés	27.000 T.	27 %

En 1980, cette consommation était devenue :

! Automoteurs de canal de 38,50 m.	64.400 T.	61 %
! Bateaux de rivière	11.400 T.	11 %
! Convois poussés	29.000 T.	28 %

Les consommations les plus importantes sont le fait des automoteurs de canal. Leur consommation unitaire à la tonne-kilomètre est en moyenne de 12,4g pour les non citernes, et de 16,3g pour les citernes, dont la vidange se fait par des pompes actionnées par le moteur de bord, suivant les estimations de l'O.N.N.

En seconde position se situent les convois poussés dont la consommation unitaire moyenne à la tonne-kilomètre est de 8,5g.

../..

(1) Les renseignements concernant ces voies d'eau n'étaient pas détaillés par type de bateau.

Ces valeurs sont bien entendu des moyennes dont les extrêmes varient suivant les conditions de navigation et la puissance du moteur.

2.2.2. Etude sur les consommations unitaires

Monsieur Alain FRYBOURG, Ingénieur des Ponts et Chaussées au Service d'Analyse Economique a effectué en 1979 une enquête auprès des transporteurs en vue de connaître les consommations unitaires des divers modes de transports. En ce qui concerne le transport fluvial, le nombre de convois enquêtés a varié suivant la catégorie. Les consommations unitaires ont été détaillées entre les tonnes-kilométriques offertes, qui intègrent les parcours non chargés totalement et les tonnes-kilométriques transportées.

Voici les principaux résultats :

Convois poussés

sur la Seine	3,2 g.e.p./tk.o. 7,0 à 9,6 g.e.p./tk.t.
sur le Rhin	5,4 g.e.p./tk.o. 7,6 à 12,0 g.e.p./tk.t.
sur le canal Dunkerque-Valenciennes	2,9 g.e.p./tk.o. 7,4 g.e.p./tk.t.

Bateaux de canal (38,50 m.)

classiques	5,4 g.e.p./tk.o. 11,8 à 13,4 g.e.p./tk.t.
citernes	6,4 g.e.p./tk.o. 13,8 à 22,1 g.e.p./tk.t.

Les autres convois se situent généralement entre ces deux extrêmes.

On s'aperçoit que les consommations des convois poussés sur canal sont inférieures à celles des mêmes convois sur la Seine (fleuve canalisé en partie) qui, elles-mêmes, sont inférieures à celles obtenues sur le Rhin (non canalisé en grande partie). La vitesse du courant intervient semble-t-il fortement.

D'autre part, la consommation d'un bateau citerne peut varier de 128 % à 180 % de celle du même bateau de transport général. Cette augmentation provient :

- du réchauffage des citernes pour le transport du fuel lourd
- des pompes de vidange des citernes

Les convois poussés sont vidangés, eux, par des installations à terre, dont la consommation n'est pas imputée à celle du pousseur.

2.2.3. Etudes effectués par le "Versuchanstalt für Binnenschiffbau" de Duisbourg (V.F.B.)

Cet organisme de recherche allemand, placé sous la direction du Docteur Hans H. Heuser, s'est préoccupé depuis 1974 des moyens de réduction de la consommation d'énergie en navigation intérieure.

Les orientations préconisées sont les suivantes :

2.2.3.1. Au niveau de l'exploitation

La suppression, dans toute la mesure du possible, des déplacements à vide, se traduirait par une augmentation du tonnage transporté. Cette amélioration de l'exploitation suppose des moyens d'organisation de la profession relativement importants, et dépend de toutes façons de la nature des trafics commerciaux.

2.2.3.2. Au niveau de l'hydrodynamique

a) la capacité de chargement peut être améliorée par :

- une longueur, une largeur, un enfoncement accrus,
- un coefficient de finesse plus élevé,
- un déplacement à vide plus faible.

On ressent dans cette approche que le V.F.B. est habitué à travailler sur les fleuves à grand gabarit et courant libre.

Pour notre pays, ces possibilités sont limitées :

- par les dimensions des écluses,
- par l'obligation pour certains bateaux (les automoteurs de 38,50 m.) de conserver la possibilité de circuler sur un réseau à caractéristiques réduites, ce qui implique le maintien de leurs dimensions quand bien même la majorité de leurs parcours est effectuée sur des voies de caractéristiques plus importantes.

b) la vitesse du bateau est liée à la puissance de propulsion nécessaire, par une relation traduisant l'augmentation de puissance en fonction du cube de la vitesse.

Du point de vue économique, la recherche de la vitesse doit donc être déconseillée.

Monsieur HEUSER préconise les limites de vitesse suivantes :

- 65 % de la vitesse critique pour les automoteurs
- 55 % de cette vitesse critique pour les pousseurs.

c) réduction de puissance de propulsion par diminution de la résistance

Le port en lourd, la largeur et la vitesse restant les mêmes, il est possible, moyennant un allongement du bateau, de diminuer la résistance. Monsieur HEUSER préconise donc d'allonger systématiquement les bateaux, dans les limites permises par la voie d'eau, ce qui procure évidemment en même temps un gain de capacité de cale.

d) augmentation du rendement de l'organe de propulsion

Le rendement mécanique de la transmission entre le moteur et l'hélice, déjà considérable (0,95 à 0,97) ne semble pas pouvoir être amélioré.

L'augmentation de la poussée utile d'une hélice obtenue par l'adjonction d'une tuyère, est connue depuis que Monsieur KORT a expérimenté ce système dans les années 1920.

Cette augmentation est due à l'accroissement de la vitesse de l'eau, comprimée entre les pales de l'hélice et la tuyère, qui se répercute favorablement sur l'avancement. Le gain de puissance nécessaire, donc de consommation, peut aller jusqu'à 20 %.

Jusqu'ici, les tuyères n'ont été installées que sur certains pousseurs, et le Versuchsanstalt für Binnenschiffbau étudie diverses possibilités qui permettraient d'en augmenter l'utilisation (tuyères courtes pour automoteurs, systèmes moins sensibles aux détériorations).

2.2.3.3. Résumé des propositions

Il n'a pas été possible de recueillir des documents précis et chiffrés concernant les études effectuées par le V.F.B.

Nous indiquons ci-après un extrait de tableau, remis par le V.F.B., aux entreprises qui sont en relations avec lui. Il s'agit d'une traduction grossière pour laquelle il est demandé l'indulgence du lecteur.

Chacun des points précis est affecté du symbole C, M ou L suivant le délai de mise en oeuvre de la proposition :

C	Court terme (quelques semaines)
M	Moyen terme (moins d'une année)
L	Long terme (plus d'un an).

Propositions d'économie d'énergie
et d'amélioration du rendement de la flotte fluviale

TABIEAU 10

	Construction navale	Moteurs	Exploitation et Transport	Pilotage	Infrastructure
Projets	L : projet de bateaux plus gros L : emplois de formes affinées M : emploi de tuyères	C : installation de compteurs de consommation M : amélioration des bilans de température L : recherches sur le capotage	L : encouragement des pools de transports	M : allongement du temps de pilotage	C : augmentation des tonnages autorisés M : suppression des hauts fonds localisés M : amélioration du tracé des courbes
Organisation		C : remotorisation avec des moteurs de caractéristiques connues	C : circulation de pousseurs avec six barges sur le Rhin inférieur et quatre barges sur le Rhin moyen M : intensification de l'échange des barges	C : autorisation de circulation de plus grosses unités nautiques dans les limites permises par les écluses	
Exploitation du bateau	M : installation de prises de courant à terre	C : marche des moteurs dans le domaine de consommation minimum M : construction de chaudières à gaz d'échappement L : utilisation de chaleur disponible pour l'entraînement d'un générateur	C : ne pas laisser le moteur en marche à l'arrêt C : minimiser le temps de formation du convoi C : circulation cap à l'aval avec deux moteurs sur trois	C : raccourcir le temps d'attente aux écluses	M : création de zones de stationnement

	Construction navale	Moteurs	Exploitation et Transport	Pilotage	Infrastructure
Vitesse	<p>C : suppression des défenses modales non nécessaires</p> <p>M : choix d'hélices appropriées</p>	<p>C : comptes rendus de trajet, avec comptes tonnes</p>	<p>C : naviguer lentement avec bateau léger</p>		
Tirant d'eau	<p>M : allongement des bateaux</p>	<p>L : préférer les moteurs semi-rapides aux moteurs rapides</p>	<p>C : assurer un chargement assurant une flottaison horizontale</p>	<p>C : autorisation d'enfoncements plus importants</p>	<p>M : augmentation de l'enfoncement autorisé</p>
Manoeuvres	<p>C : prévoir des manoeuvres lentes du gouvernail</p> <p>M : installer des gouvernails à haut rendement</p>	<p>M : automatisation des éléments de gouverne</p> <p>M : installer des transmissions de proues efficaces dans toutes les directions</p>			

On voit apparaître là encore, les problèmes spécifiques du réseau allemand (fleuves à courant libre, écluses largement dimensionnées, possibilité d'augmenter les enfoncements) qui ne peuvent être transposés tels quels au réseau français.

Plus spécialement, les dimensions des bateaux ne peuvent être modifiées sans se restreindre au niveau des possibilités de parcours en raison de l'existence de plusieurs bassins de caractéristiques techniques différentes.

2.2.4. Utilisation des relevés d'exploitation

Lors des visites effectuées auprès des différentes compagnies de navigation, nous avons recherché comment était appréhendée la consommation de carburant. Systématiquement, il a été demandé quelles étaient les actions déjà engagées en vue de la réduction des consommations de carburant.

Les renseignements qui nous ont été communiqués émanent :

- de l'Union Batelière de l'Ile de France (regroupement d'artisans)
- de la Compagnie des Sablières de la Seine
- des Sablières et Entreprises Morillon Corvol.

2.2.4.1. Union Batelière de l'Ile de France

La Direction de ce regroupement d'artisans procède depuis de nombreuses années à l'exploitation de compteurs chronotachygraphiques sur une fraction importante de sa flotte. Nous reproduisons en annexe 10 quelques uns des relevés qui ont été effectués.

Y sont notés :

- les heures de fonctionnement du moteur
- le nombre de tours par minute du moteur
- les arrêts

Ils ne permettent pas d'effectuer une corrélation entre la consommation et les caractéristiques de la voie d'eau, ou de la conduite du bateau.

D'autre part chaque bateau fait l'objet d'un relevé sur l'année, du détail de ses marches, faisant apparaître :

- le nombre de voyages
- les dates et itinéraires
- les heures de marche, d'attente aux écluses, à la montée et à la descente,
- la quantité de fuel oil et d'huile consommés.

Un tel relevé permet de connaître :

- le trafic effectué dans l'année (distances x tonnages), approximativement car le tonnage n'est pas relevé avec précision,
- la consommation moyenne de fuel oil, par tonne-kilomètre transportée, ainsi que la consommation moyenne de fuel oil par kilomètre,
- la vitesse moyenne des trajets, y compris les arrêts aux écluses.

Ces renseignements permettent d'établir des indices d'efficacité des différents éléments du parc, dont la variété est grande :

- dimensions des bateaux (automoteurs de 38,50 m., automoteurs de Seine, chalands, pousseurs et barges)
- puissance des moteurs (150 à 680 chevaux)
- enfoncements (2,00 à 3,00)
- formation des convois multiples (convois de trois automoteurs en flèche, convoi d'un automoteur de 38,50 m. poussant un chaland, pousseur et deux barges de 38,50 m., automoteur de Seine seul).

Ces indices d'efficacité sont exprimés par l'U.B.I.F. en t.k/litre.

Ainsi il apparaît que viennent en tête :

- les convois formés d'un automoteur de 38,50 m., motorisé à 275 ou 300 chevaux, et poussant deux barges de même dimension (106 et 123 t.km par litre) ou une seule barge (98 et 111 t.km par litre).
- puis viennent les automoteurs de Seine ou convois comportant des chalands, de 250 à 400 chevaux, et de 680 à 1.800 t. (76 à 96 t.km par litre de fuel).

Les automoteurs de 38,50 m. naviguant seuls ont des prestations très faibles. L'un d'eux (150 chevaux) se situe en dernière position (59,04 t.km/l.).

Il est à remarquer que les pousseurs du groupement (450 ch et 680 ch) ne se situent pas en tête. Avec un convoi de deux barges dissemblables de largeur 5,70 m. en tête et 7,50 m. en deuxième position, les rendements sont de 74,28 t.km/l. (680 ch), et 95,93 (450 ch) avec deux barges de 7,85 m. Ceci indiquerait que les convois d'automoteurs de 38,50 m. sont économiques et que les puissances élevées de moteurs n'ont qu'un intérêt limité sur le plan des consommations et du produit du transport.

Les indications qui nous ont été communiquées à ce sujet figure sur l'annexe n° 11.

2.2.4.2. Compagnie des Sablières de la Seine

Les consommations sont connues par bateau et par an.

Connaissant les tonnages transportés et le nombre d'heures d'utilisation, les consommations sont rapportées :

- à l'heure ou au voyage
- à la tonne poussée.

Les consommations sont également rapportées à la tonne-kilomètre pour les pousseurs en utilisation continue jour et nuit.:

On relève les valeurs suivantes pour 1980, aucune évolution significative ne s'étant produite par rapport aux années antérieures.

TABLEAU 11

Bateaux	Moteur	Consommation	
		l/100tkm	g.e.p./tkm
Pousseur "DUPLÉIX"	2 x 600 = 1.200 ch M.G.O. (SACM)	0,799	6,63
Pousseur "MONTCALM"	2 x 500 = 1.000 ch POYAUD	0,659	5,47
Pousseur "TOURVILLE"	2 x 414 = 828 ch POYAUD	1,098	9,11
Pousseur "DAUPHIN"	800 ch POYAUD	0,683	5,67
Pousseur "SUFFREN"	800 ch POYAUD	0,936	7,77
Automoteur de 38,50 m " "CHARLES"	POYAUD	1,045	8,67
" "YVES"	POYAUD	0,930	7,72
" "FRANCOIS"	POYAUD	0,981	8,14

La consommation des pousseurs intègre pour certains les manoeuvres effectuées au port, ce qui peut expliquer des différences relativement importantes entre des bateaux de puissances identiques ou voisines.

..//..

2.2.4.3. Compagnie des Sablières et Entreprises Morillon-Corvol

Cette compagnie effectue ses contrôles de consommations par types de convois. A ces consommations sont associés les rendements des convoies exprimés en tonnes transportées par unité de puissance de moteur.

On obtient les indications suivantes :

TABLEAU 12

(1)

Convois	Tonnage	Moteurs	Consommation		Rendement t/ch
			l/100 t.km	g.e.p/t.k	
Pousseurs de 24 m.	12 000 t.	3 moteurs G.M. (1.200ch)	1,22	10,13	2,5
Pousseurs de 13 m.	4.320 t.	2 moteurs G.M. (700ch)	1,57	13,03	3,13
54 m. (automoteurs poussant deux barges en long, deux barges de frant)	4 500 t.	G.M. (600ch)	1,85	15,36	2,5
50 m. (automoteurs poussant deux barges en long deux barges de front)	2.600 t.	G.M. (400ch)	2,35	19,51	3,25
Automoteurs de 38,50 m. en petit convoi		G.M. (150ch)	1,52	12,62	1,92
Automoteurs de 80 m. (rhénans)	11.200 t.	MAN (960 ch) et G.M. (1 000ch)	1,23	10,21	2,98

L'examen de ces valeurs et leur comparaison avec ceux de la Compagnie des Sablières de la Seine, montrent qu'elles se situent :

- pour les pousseurs de 1.200 ch en augmentation de 52 %
- pour les pousseurs de 700/800 ch en augmentation de 42 % minimum
- pour les automoteurs de 38,50 m en augmentation de 45 % minimum

Ils se situent nettement au-dessus des chiffres indiqués dans le rapport "Consommations unitaires d'énergie dans les transport".

..//..

(1) Extrait des renseignements figurant à l'annexe n° 12,
fournis par la Société MORILLON CORVOL

Une explication pourrait se situer dans la différence de conception des moteurs, les moteurs Général Motors (G.M.) étant des moteurs deux temps à régime rapide.

Quoi qu'il en soit, les résultats des Compagnies des Sablières de la Seine et Morillon Corvol indiquent les bonnes prestations des pousseurs les plus puissants, ainsi que celles des automoteurs de 38,50 m. en petit convoi, tandis qu'elles soulignent que les consommations des pousseurs moins puissants et des automoteurs divers sont variables. Les automoteurs rhénans de Morillon Corvol ne peuvent être comparés aux autres en raison de leur motorisation différente.

2.2.4.4. Autres renseignements recueillis

Les compagnies de navigation assurant des transports publics ne nous ont pas fourni de renseignements précis sur leurs consommations, qu'elles soient unitaires ou globales, vraisemblablement dans un souci de discrétion professionnelle vis-à-vis de la concurrence.

Une étude a été effectuée à l'Université Washington, de Saint-Louis aux Etats-Unis (1), par MM. Larry ICERMAN, John K. GOHAGAN et David CULLER, indiquant les estimations de consommation dans le transport fluvial, suivant différentes sources américaines (2).

Celles-ci sont exprimées en B.t.u./ton-mile (British thermal unit par tonne américaine et mille terrestre). La conversion de ces valeurs en g.e.p./t.km (1 B.t.u./t.mile = 0,016 g.e.p./t.km) fait apparaître une fourchette allant de 6,40 à 10,38 g.e.p./t.km avec des valeurs extrêmes de 14,05 g.e.p./t.km fournies par la Compagnie de Chemin de Fer Missouri Pacific, que l'on peut considérer comme intéressée à relever des consommations de la voie navigable.

Les valeurs les plus faibles ont comme origine la Compagnie de Navigation PEAVY qui effectue les transports lourds sur le Mississippi.

Compte tenu de ces indications, on peut estimer que les valeurs retenues par Monsieur FRYBOURG pour la voie navigable dans le rapport "Consommations unitaires d'énergie dans les transports" sont une base de travail correct.

Cependant aucun de ces relevés pourtant précis quant à la quantité de fuel oil domestique dépensée et aux tonnes-kilométriques transportées ne permet de faire une corrélation avec les éléments de marche du bateau (régime moteur, vitesse, etc...) ou avec les caractéristiques de l'infrastructure (largeur du plan d'eau, pied de pilote, section du convoi, section de la voie d'eau, etc...).

../..

(1) Estimates of the energy impact of modifications to the Upper Mississippi River freight transport system, document transmis par Monsieur Mac AFOOS, de la PEAVY Company ; figure aussi à la revue "ENERGY" mars 1979.

(2) Voir annexe 13

2.3. Analyse des diverses possibilités d'économie dans l'état actuel des connaissances, au niveau de la flotte

Nous analyserons successivement ce qui peut être fait à court terme, c'est-à-dire sans étude préalable et dans un délai de quelques semaines à un an, et ce qui peut être fait à plus long terme, c'est-à-dire dans un délai de deux années, voire plusieurs années, en fonction des études qu'il conviendra de réaliser ou des mises au point qui seront à effectuer.

2.3.1. Actions à court terme

2.3.1.1. Régime des moteurs

Lors de la mise au point des moteurs, les fabricants effectuent des essais au banc et mesurent les :

- puissance
- consommation

en fonction de la vitesse de rotation.

Nous donnons l'exemple des courbes de puissance et de consommation d'un moteur DETROIT DIESEL du groupe GENERAL MOTORS.

Ce moteur appelé 12 V-149 est un moteur deux temps de 12 cylindres en V de 29,39 litres de cylindrée.

Deux moteurs de ce type équipent le pousseur "VALOIS" de la C.G.P.V.N.

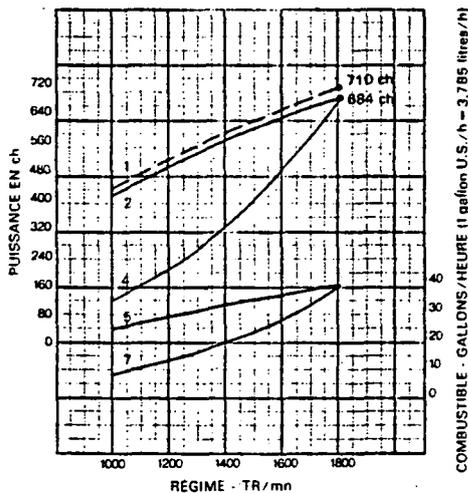
Les deux graphiques correspondent l'un à une utilisation normale continue et l'autre à une utilisation exceptionnelle.

caractéristiques

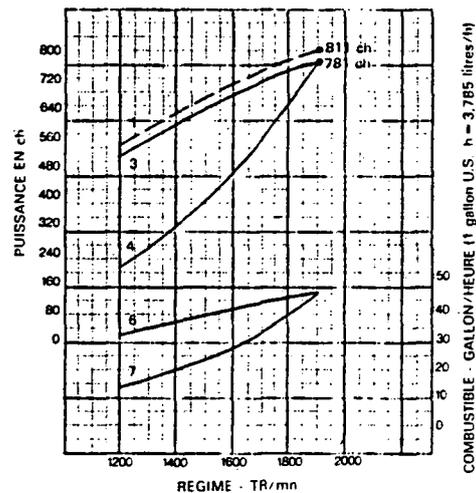
Moteur de base	Utilisation continue	Utilisation intermittente
Modèle	9122-7000	9122-7000
Type du moteur	2 temps	2 temps
Nombre de cylindres	12	12
Alésage et course	146 × 146 mm	146 × 146 mm
Cylindrée	29,39 litres	29,39 litres
Puissance nominale au volant (1)	710 ch (522 kW) à 1 800 tr/mn	811 ch (597 kW) à 1 900 tr/mn
Puissance nette intermittente à la sortie du réducteur (1)	—	781 ch (574 kW) à 1 900 tr/mn
Puissance nette continue à la sortie du réducteur (1)	684 ch (504 kW) à 1 800 tr/mn	—
Rapport de compression	17 à 1	17 à 1
Poids net (moteur sec)	5 670 kg	5 670 kg

(1) Aux normes SAE : 29,4 °C et 98,19 kPa (à sec)

COURBE DES CARACTÉRISTIQUES
MOTEUR 12V-149



COURBE DES CARACTÉRISTIQUES
MOTEUR 12V-149



DÉFINITION DES COURBES

COURBE N° 1 — Puissance nominale au volant.

COURBE N° 2 — Puissance nette continue à la sortie du réducteur.
Recommandée pour navires de commerce et de pêche.

COURBE N° 3 — Puissance nette intermittente à la sortie du réducteur.
Recommandée pour navires de servitude.

COURBE N° 4 — Puissance absorbée à l'hélice (de caractéristiques standard).

COURBE N° 5 — Consommation aux puissances suivant courbe N° 2.

COURBE N° 6 — Consommation aux puissances suivant courbe N° 3.

COURBE N° 7 — Consommation aux puissances suivant courbe N° 4.

• Les puissances suivant courbes n° 1, 2 et 3 sont garanties dans une limite de 5 % et sont mesurées dans les conditions SAE : 29,4 °C pour la température et 98,19 kPa pour la pression barométrique (à sec).

• Les puissances suivant courbes n° 2, 3 et 4 sont mesurées après déduction des puissances absorbées par les auxiliaires standard et par le réducteur Twin-Disc.

On voit que la consommation, suivant les puissances absorbées par l'hélice, peut varier de 10 gallons u.s./heure (37,85 l/h) à 1.000 tours/mm, à 40 gallons u.s./heure (151,40 l/h) à 1.800 tr/mm.

Entre 1.600 tours/mm et 1.800 tours/mm, la consommation passe de 105,98 l/h à 151,40 l/h, soit une augmentation de 43 %, la puissance à l'hélice variant pendant ce temps de 480 à 684 chevaux, soit une augmentation identique.

Il y a donc grand intérêt, à moins que la totalité de la puissance soit momentanément nécessaire, à se situer dans un régime de moteur voisin du point où la courbe de consommation s'infléchit vers le haut.

Le pousseur "VEXIN" équipé de deux moteurs GENERAL MOTORS 12 V 149 a fait l'objet d'essais de consommation réalisés conjointement par la C.G.P.V.N., son armateur, et le représentant GENERAL MOTORS.

Ces essais ont eu lieu en 1977 et 1981.

En 1977, les essais se sont déroulés sur la Seine, entre Poses et La Garenne, sur un convoi de 5.500 t. Seul a été essayé le moteur babord, par régimes maintenus pendant 10 mn chacun.

Les relations vitesse du moteur, consommation, ont été relevées :

Vitesse au compte tours	Température	Consommation réelle	Consommation horaire
1.515		14,5 l	87 l/h
1.535		15	90
1.650	265-280°C	18	108
1.680	285°C	21,5	129
1.765	"	22	132
1.820	340-320°C	25	150

La comparaison régime-consommation-vitesse du convoi est la suivante :

Régime	Consommation	Vitesse convoi
1.400		11,1 km/h
1.500 (1.515)	87 l/h	13,635
1.550 (1.535)	90	13,432
1.650	108	13,845
1.700 (1.680)	129	13,635
1.750 (1.765)	132	13,846
1.800 (1.820)	150	14,516

Ces tableaux ont permis de dresser les courbes de vitesse et de consommation du convoi qui figurent ci-dessous (p. 36). Sur le même graphique ont été reportées les courbes de puissance à l'arbre, et de charge de l'hélice figurant sur le graphique de la page 33.

Il ressort que en raison du tassement de la vitesse du convoi à partir d'un régime moteur de 1.500 tours/mn et de la forme de la courbe des consommations, la zone idéale d'utilisation du moteur se situe entre 1.500 et 1.550 tours/mn.

Entre 1.550 et 1.600 tours/mn, pour un gain de vitesse de 1 % environ, la puissance sollicitée augmente de 9,3 % et la consommation de 8 %.

En 1981, ces essais ont été renouvelés les 26 et 27 février, sur un convoi identique en dimensions horizontales, mais chargeant 4.500 t.

Le parcours d'essai a comporté la relation maritime Tancarville-Rouen, avec courant de flot, et Rouen-La Garenne. La vitesse du convoi n'a pas été relevée.

Les courbes de consommation de 1977 et 1981 ont été reportées sur le même graphique.

L'allure générale en est identique, mais on remarque pour un même régime, une plus faible consommation, de l'ordre de 5 l/h à 1.500 tours/mn et 15 l/h à 1.800 tours/mn due à la moindre charge du convoi.

Par ailleurs on note également, et c'est important, l'influence du courant et du pied de pilote important entre Tancarville et Rouen, mais aucune corrélation ne peut être avancée.

Ces essais confirment ceux de 1977 dans l'indication d'un régime de moteur optimum pour les consommations de fuel.

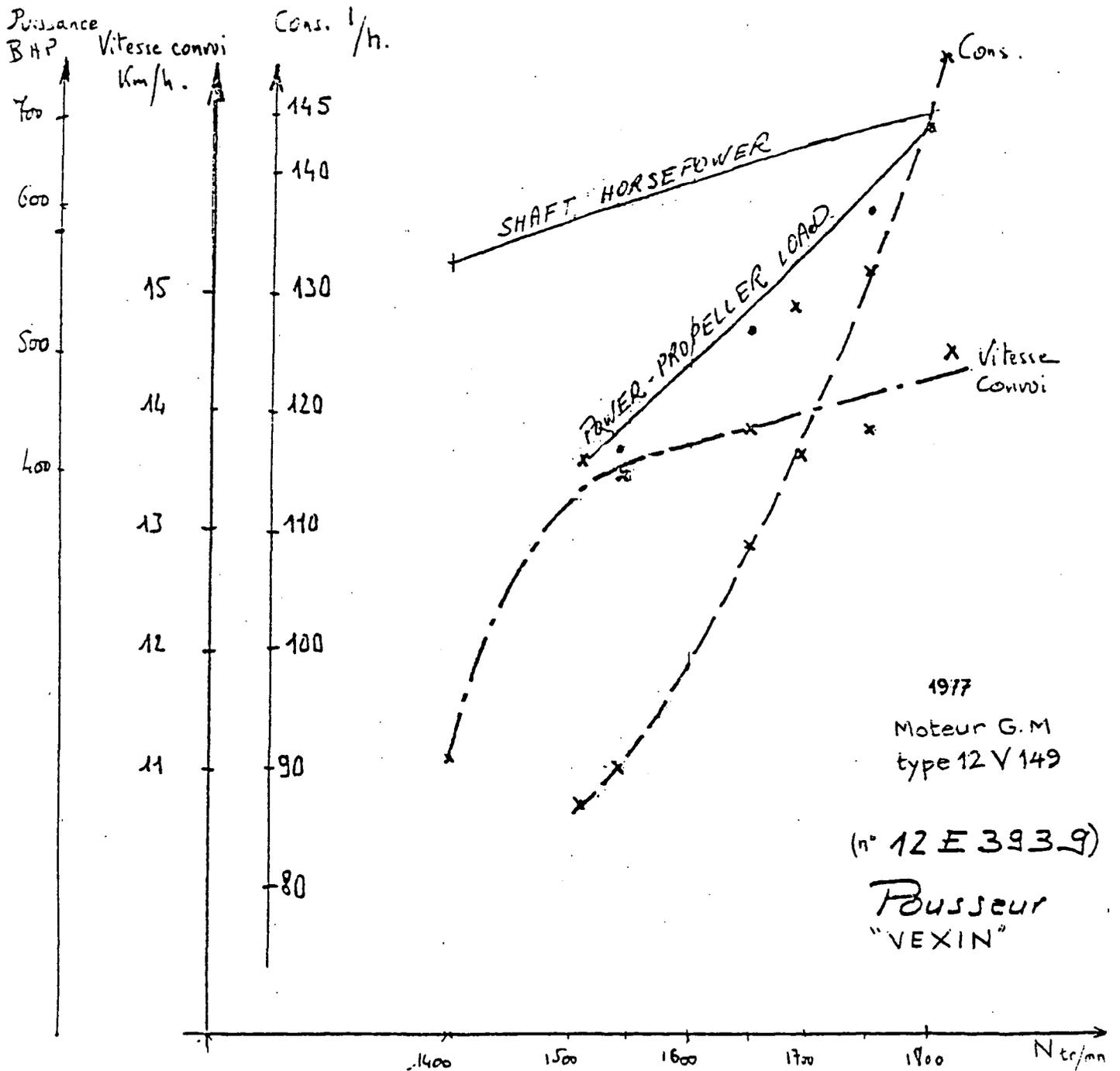
Il y a donc intérêt à ce que le pilote soit informé de la consommation instantanée de son moteur, par un compteur de consommation qu'il est facile d'installer rapidement.

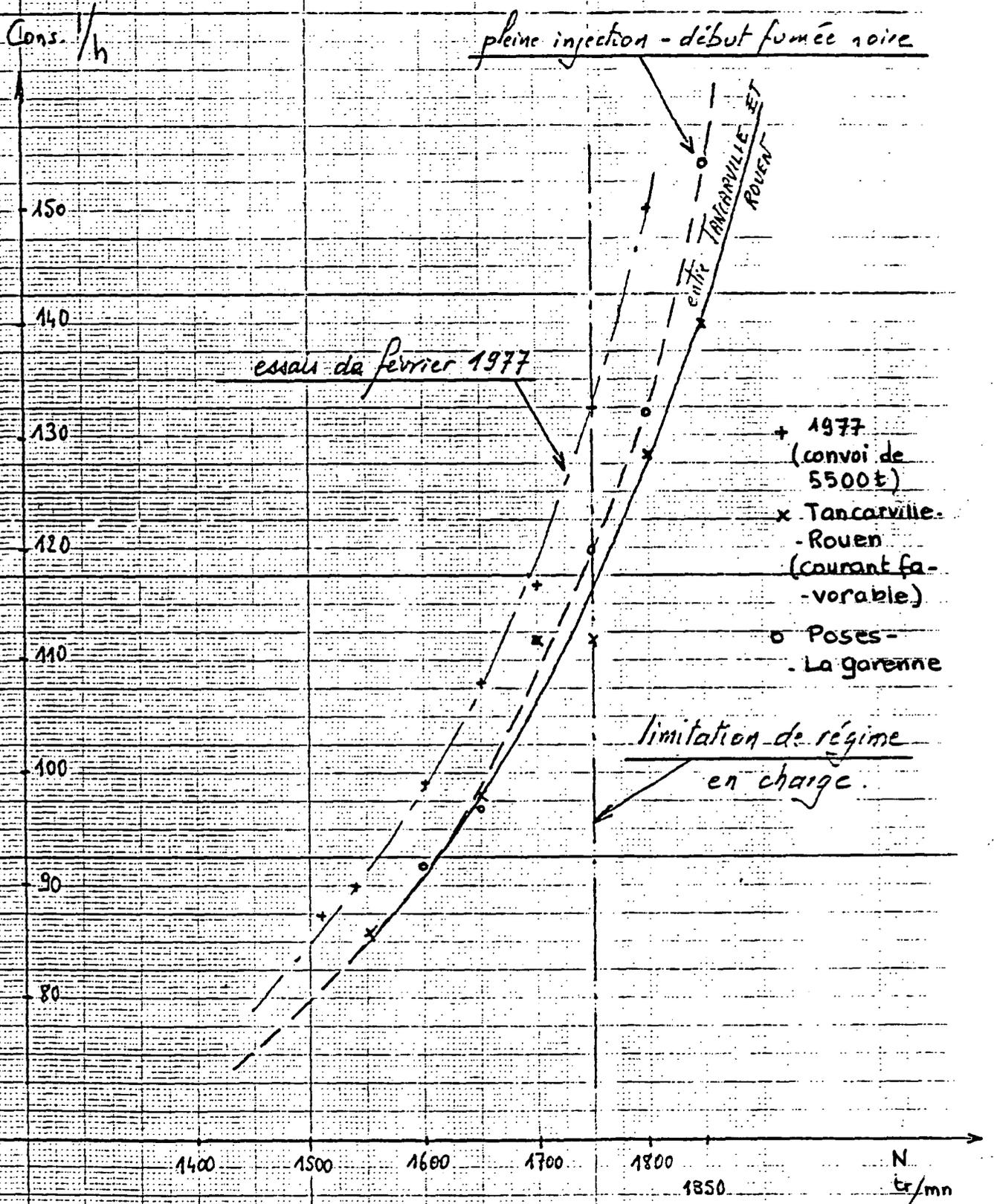
D'autres types d'essais sont effectués en vue de connaître la consommation spécifique des moteurs à différents régimes.

Ces essais sont réalisés au banc, ou en exploitation.

La Compagnie Française de Navigation Rhénane a fait effectuer de tels essais sur les moteurs S.A.C.M. type AGO-C.S.H.R. équipant ses pousseurs "VICTOR MILLET" et "PIERRE BROUSSE".

Au banc d'essai de réception du moteur AGO-C.S.H.R., les consommations spécifiques ont été relevées le 24 mars 1977. (Tableau p 38)





Pousseur VEXIN
moteurs GM - type 12 V149
convoi 4500 t.
26. 27. 2. 1981

Vitesse de rotation tr/mm	Puissance		Consommations spécifiques	
	kw	ch	hg/kw.h	g/ch.h
850	294	400	0,2251	165,7
1.070	589	800	0,2205	162,3
1.225	883	1.200	0,2136	157,2
1.350 (régime nominal)	1.178	1.600	0,2129	156,7

Le rapport d'essai des Chantiers et Ateliers de Biesboch daté du 14 août 1970 fait apparaître les consommations des moteurs du pousseur "PIERRE BROUSSE" équipé de trois moteurs AGO-C.S.H.R.

Nous donnons les valeurs trouvées sur le moteur central, en conditions réelles de convoi.

Vitesse de rotation tr/mm	Puissance		Consommations spécifiques	
	kw	ch	hg/kw.h	g/ch.h
1.356	1.032	1.402	0,2120	156
1.340	851	1.156	0,2120	156
1.435	1.415	1.922	0,2120	156
1.364	1.157	1.572	0,2120	156
1.341	1.013	1.376	0,2120	156
1.364	1.263	1.716	0,2120	156
1.360	1.133	1.540	0,2120	156

Un autre essai a été réalisé au banc de rodage de la C.F.N.R. sur le moteur AGO-C.S.H.R. n° 24.210, en fin de la période de rodage.

Vitesse de rotation tr/mm	Puissance		Consommations spécifiques	
	kw	ch	hg/kw.h	g/ch.h
900	289	393	0,2815	207,2
1.000	397	539	0,2453	180,5
1.100	528	717	0,2527	186,0
1.200	685	931	0,2502	184,1
1.300	871	1.184	0,2245	165,3
1.400	1.088	1.478	0,2206	162,4

L'ensemble de ces essais peut être interprété comme suit :

La consommation spécifique varie très peu suivant les régimes du moteur. Elle est légèrement plus faible au régime nominal du moteur, ce qui est logique puisque tous les éléments mécaniques ont été calculés pour ce régime.

D'autre part les moteurs étant au point en ce qui concerne leur technologie, il ne faut pas s'attendre à des gains spectaculaires dans les conditions de fabrication et de durabilité actuelles.

2.3.1.2. Vitesse du bateau

La puissance à mettre en jeu par les moteurs et les hélices est fonction de la résistance à l'avancement du bateau F , de la vitesse V et du rendement de la propulsion r .

$$P = F.V.r$$

F peut être calculée suivant la formule de GEBERS ENGELS

On constate que pour les vitesses élevées il faut une très forte augmentation de la puissance pour obtenir un accroissement réduit de la vitesse. Cette augmentation se fait suivant le cube de la vitesse, comme l'indique la puissance de poussage d'un convoi de deux barges à 3 m. d'enfoncement représentée sur la courbe figurant à l'annexe 14.

La théorie de SCHLIF montre qu'il existe une vitesse limite qui ne peut pas être dépassée.

La vitesse économique de circulation d'un convoi doit donc être recherchée en fonction d'une puissance acceptable pour la consommation de carburant.

Cette vitesse et cette puissance acceptables peuvent varier notablement en fonction d'un certain nombre de critères parmi lesquels, a priori, peuvent être comptés :

- la nature et les dimensions de la voie d'eau
- le sens du courant
- la hauteur d'eau

L'étude détaillée de la corrélation existant entre ces facteurs fera l'objet d'un développement au chapitre 2.5

Un contrat d'études a été passé par l'O.N.N. à cet effet avec un bureau d'ingénierie en 1981.

Il sera simplement rappelé quelques interventions qui peuvent fournir un début d'indication à ce sujet :

1°) l'essai réalisé les 26 et 27 février 1961 sur le pousseur "VEXIN" de la C.G.P.V.M. indique clairement que, à puissance égale, donc à vitesse égale, la consommation est moindre sur le parcours Tancarville-Rouen que sur le parcours Rouen-La Garenne. Ce parcours, situé en Seine Maritime, a été effectué :

- avec le courant

- avec une profondeur d'eau plus importante qu'en Seine Canalisée.

L'essai ayant été effectué par des motoristes, aucune mesure de ces éléments n'a été faite.

2°) Nous reproduisons les courbes de consommations d'énergie à la tonne transportée à distance, extraites de l'étude de l'Université Washington à Saint-Louis (U.S.A.) citée plus haut.

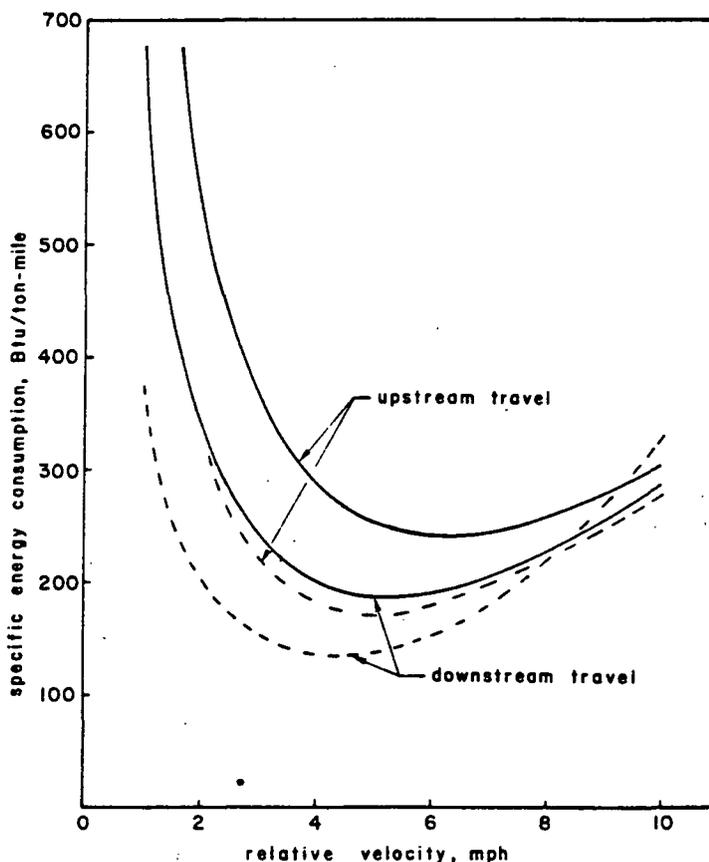


Fig. 5. Specific energy consumption for single (solid lines) and double (dashed lines) tows as a function of relative (to the current) tow velocity. A river width of 1400 ft, a channel depth of 10.5 ft, and a 300 ft channel width are assumed. Single tows have 3500-hp towboats with 6 barges and double tows have 5000-hp towboats with 15 barges.

Elles indiquent, en traits pleins, pour des convois de six barges (3.500 ch.) et, en traits interrompus, pour des convois de quinze barges (5.000 ch.), la consommation en fonction de la vitesse.

Le trafic à contre courant consomme, dans la zone économique, de quatre à six mille/heurees (6,5 à 9,9 km/h) environ, 20 % de plus que le trafic bénéficiant du sens du courant.

3°) Les essais effectués pour le projet d'automoteur de 850 m³ de la Direction Régionale du Nord-Pas-de-Calais, au bassin d'essais de carènes à Paris mettent en évidence l'influence de la profondeur d'eau sur la résistance à l'avancement.

Augmentation de la résistance due à la profondeur
d'eau limitée
par rapport à une profondeur d'eau infinie

V km/h	Fond de 4,50 m.	Fond de 6 m.	Fond de 10 m.
	%	%	%
10	28	13	4
12	39	15	5
13	44	16	6
14	48	19	6
15	44	21	7

Plus la profondeur est faible et plus la vitesse est importante, plus la résistance due à la profondeur s'accroît.

Certains canaux du réseau français comportent un pied de pilote par rapport à l'enfoncement autorisé, de 20 cm seulement (profondeur garantie 2,00 m pour un enfoncement de 1,80 m., ou profondeur 2,30 pour un enfoncement de 2,10 m.).

Cette caractéristique est particulièrement pénalisante pour la consommation si on la compare aux profondeurs retenues pour les essais.

2.3.1.3. Réduction des déplacements à vide par organisation de l'exploitation

On constate que le transport fluvial est caractérisé par un fort taux de retours à vide, avoisinant le plus souvent 50 %.

Il est évident que la limitation des mouvements de bateaux vides réduirait d'autant les consommations non productives.

On ne peut donc que conseiller la réduction du nombre des mouvements à vide.

De telles indications sont cependant considérées comme de la candeur de la part de transporteurs dont le souci est la rentabilité de leur entreprise ou de leur exploitation. C'est continuellement que cette recherche s'effectue, tout au moins pour les plus combattifs d'entre eux au plan commercial.

2.3.2. Actions à moyen et long terme

2.3.2.1. Puissance du moteur

Les moteurs utilisés sont tous des moteurs Diesel. Ils se différencient en :

moteurs lents (vitesse < 700 tr/mm)

moteurs semi-rapides (700 à 1.500 tr/mm)

moteurs rapides (> 1.500 tr/mm)

Les moteurs les plus lents (à deux temps) fournissent des puissances très importantes (jusqu'à 12.000 ch) qui sont hors du domaine de cette étude et concernent la marine marchande. Ils ont été éliminés pour les puissances inférieures à 2.000 chevaux par des moteurs semi-rapides ou rapides dont la compacité donne un rapport puissance-poids favorable.

Les moteurs diesel peuvent être à deux temps ou à quatre temps.

L'analyse des caractéristiques de moteurs des deux catégories, de puissance sensiblement identique, ne fait pas apparaître de différences nettes de consommation.

Un moteur GM DETROIT DIESEL deux temps de type 4-53 (quatre cylindres, cylindrée 3,48 l) développant 101 chevaux maximum consomme à la puissance de 80 ch (2.300 tr/mm) 5 gallons US/h, soit 18,93 l/h.

Un moteur G.M. BEDFORD quatre temps de type 330 M2 (six cylindres, cylindrée 5,408 l) développant 83 ch au maximum consomme à la puissance de 80 ch (2.200 tr/mm) 3,5 gallons Impériaux/h, soit 15,89 l/h.

Un moteur G.M. BEDFORD, quatre temps, de type 500 M2 (six cylindres, cylindrée 8,200 l) développant 127 ch à 2.500 tr/mm consomme à 80 ch (2.250 tr/mm) 4 gallons Impériaux/h, soit 18,16 l/h.

Il n'existe pas de possibilité de choix déterminante en faveur d'un moteur Diesel 2 temps ou 4 temps.

De l'avis général, les progrès de technologie des moteurs Diesel ont déjà été réalisés ces vingt dernières années, et il ne semble pas qu'il faille en attendre d'autres.

Il faut cependant analyser les deux possibilités d'amélioration que sont :

- le fractionnement de la puissance
- la suralimentation.

a) fractionnement de la puissance

Les convois ont besoin de la totalité ou de la quasi-totalité de leur puissance lorsqu'ils circulent en charge ou à contre courant, cette contrainte étant très forte sur le Rhin à courant libre. Par contre, légers, ils n'en ont plus besoin, de même que lorsqu'ils circulent cap à l'aval. Dans cette dernière configuration de trajet, il est pourtant nécessaire de disposer de la totalité de la puissance pour effectuer un arrêt d'urgence.

Il est tentant d'imaginer de disposer la puissance disponible sur plusieurs moteurs, un ou plusieurs d'entre eux ne fonctionnant pas de manière continue.

En raison de la symétrie, on ne peut effectuer une utilisation de ce genre qu'avec :

- 1 moteur central en marche
- 2 moteurs latéraux à l'arrêt
- 2 moteurs latéraux en marche
- 1 moteur central à l'arrêt

Ce n'est donc que sur les unités dont la taille permet de loger trois moteurs qu'une telle utilisation est envisageable.

Il convient d'ajouter que pour que la puissance totale soit disponible immédiatement en cas d'urgence, le moteur non utilisé doit être préchauffé et prégraissé pour pouvoir répondre aux sollicitations. Cette contrainte impose un appareillage complémentaire et entraîne tout de même une consommation et un entretien non nuls, qu'il convient de retrancher des gains de consommations effectués.

b) la suralimentation

La suralimentation qui consiste à introduire de l'air comprimé dans les cylindres à température ambiante ou après refroidissement permet d'obtenir des gains de consommation spécifique de l'ordre de 20 g/ch h.

Elle assure au moteur une puissance supérieure à nombre de tours égal, ce qui signifie qu'on peut obtenir avec un moteur suralimenté une puissance donnée avec un régime plus réduit.

En ce sens la suralimentation permet des gains de consommation de l'ordre de 15 % selon les constructeurs. Nous donnons p.45 les courbes de puissance et de consommation de deux moteurs identiques : GENERAL MOTORS (Détroit Diesel)

6 V 53 (puissance 200 ch à 2.800 tr/mn)

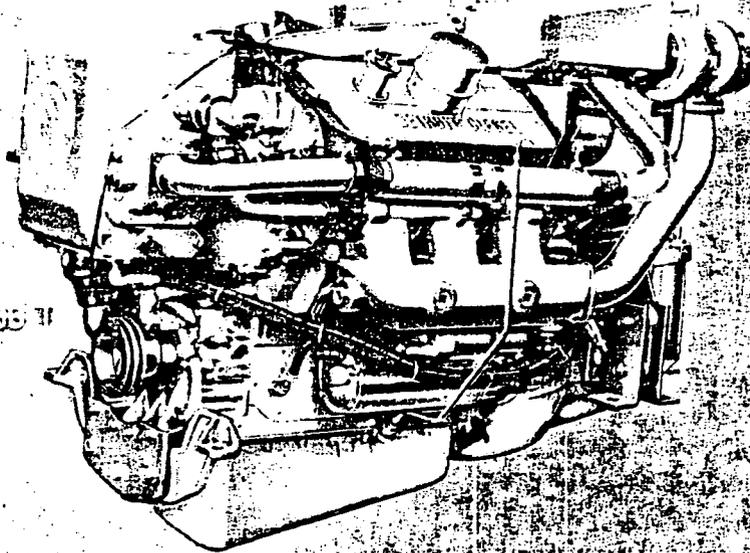
6 V 53 suralimenté (puissance 264 ch à 2.800 tr/mn).

On notera que la consommation, mesurée suivant la puissance absorbée à l'hélice, est légèrement inférieure pour le moteur suralimenté.

Il convient de noter que la suralimentation est conçue pour fonctionner au régime nominal du moteur. Si celui-ci vient à fonctionner à puissance réduite, on observe un encrassement des cylindres et des systèmes d'injection nuisibles au bon fonctionnement, et peut-être à la durabilité.

Aussi ne peut-on préconiser l'utilisation d'un moteur suralimenté que sur les unités fonctionnant à plein régime en utilisation continue. Ceci exclut notamment les bateaux utilisant des voies d'eau à écluses rapprochées, de même que ceux naviguant sur les fleuves à fort courant libre (le Rhin) avec leurs moteurs en sous-régime.

On mesure par ces restrictions que la suralimentation ne peut être généralisée en navigation fluviale.



Moteur Detroit Diesel 6V-53 T

caractéristiques

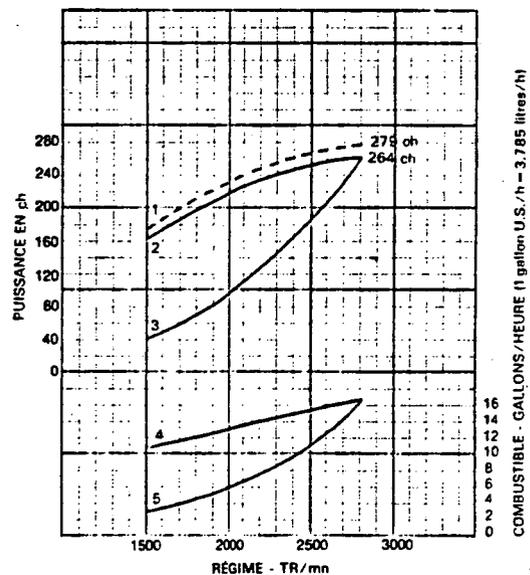
Moteur de base

6V-53 T

Modèle	5062-7300
Type de moteur	2 temps
Nombre de cylindres	6
Alésage et course	98 x 114 mm
Cylindrée	5,22 litres
Puissance nominale au volant (1)	279 ch (205 kW) à 2 800 tr/mn
Puissance nette maximum à la sortie du réducteur (1)	264 ch (194 kW) à 2 800 tr/mn
Rapport de compression	17,5 à 1
Poids net (moteur sec)	998 kg

(1) Aux normes SAE : 29,4 °C et 98,19 kPa (à sec)

COURBE DES CARACTÉRISTIQUES
DU MOTEUR 6V-53 T



DÉFINITION DES COURBES

COURBE N° 1 — Puissance nominale au volant approximative avec air d'admission à la température de 29,4°C et pression barométrique de 98,19 kPa (à sec).

COURBE N° 2 — Puissance nette maximum à la sortie du réducteur. Recommandée pour bateaux de plaisance.

COURBE N° 3 — Puissance absorbée à l'hélice (de caractéristiques standard).

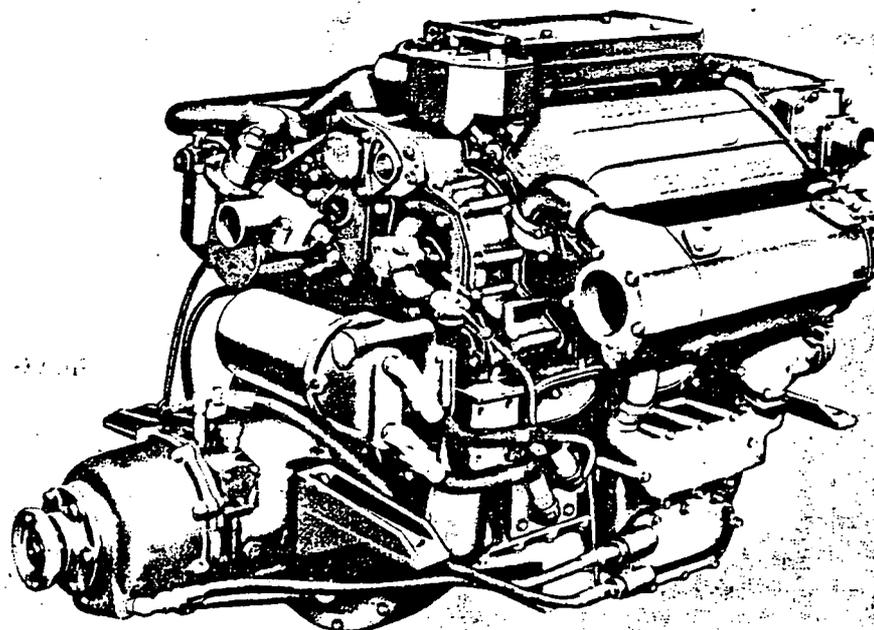
COURBE N° 4 — Consommation aux puissances suivant courbe N° 2.

COURBE N° 5 — Consommation aux puissances suivant courbe N° 3.

● Les puissances des courbes N°s 2 et 3 sont mesurées aux conditions d'ambiance de 29,4 °C pour la température et de 98,19 kPa pour la pression barométrique (à sec) et après déduction des puissances absorbées par les auxiliaires suivants :

- Réducteur Twin-Disc
- Pompe eau brute
- Génératrice 12 V - 75 A

● Les puissances suivant courbes N° 1 et N° 2 sont garanties dans une limite de 5 % dans les conditions d'ambiance normalisées SAE.



caractéristiques

Moteur de base

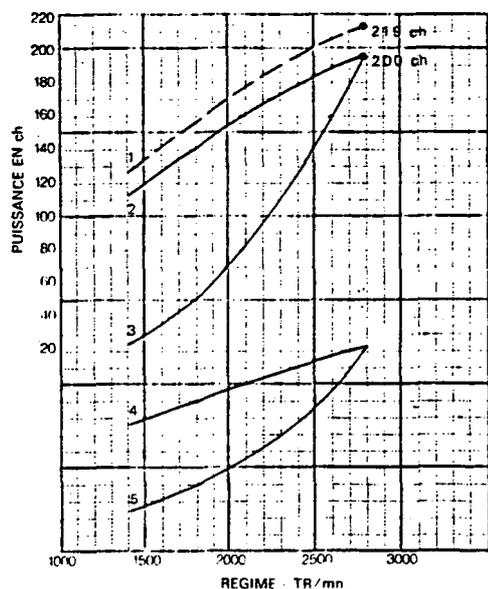
6V-53

Modèle	5062-3000 5062-7000
Bâbord	
Tribord	
Type de moteur	2 temps
Nombre de cylindres	6
Alésage et course	98 x 114 mm
Cylindrée	5,22 litres
Puissance nominale au volant (1)	219 ch (161 kW) à 2 800 tr/mn
Puissance nette maximum à la sortie du réducteur (2)	200 ch (147 kW) à 2 800 tr/mn
Rapport de compression	21 à 1
Poids net (moteur sec)	830 kg

(1) A la température de 15,6 °C et à la pression barométrique 101,31 kPa (à sec)

(2) Aux normes SAE : 29,4 °C et 98,19 kPa (à sec)

COURBE DES CARACTÉRISTIQUES
DU MOTEUR 6V-53



DÉFINITION DES COURBES

COURBE N° 1 --- Puissance nominale au volant approximative avec air d'admission à la température de 15,6 °C et pression barométrique de 101,31 kPa (à sec).

COURBE N° 2 --- Puissance nette maximum à la sortie du réducteur. Recommandée pour bateaux de plaisance.

COURBE N° 3 --- Puissance absorbée à l'hélice (de caractéristiques standard).

COURBE N° 4 --- Consommation aux puissances suivant courbe N° 2.

COURBE N° 5 --- Consommation aux puissances suivant courbe N° 3.

● Les puissances des courbes N° 2 et 3 sont mesurées aux conditions d'ambiance de 29,4 °C pour la température et de 98,19 kPa pour la pression barométrique (à sec) et après déduction des puissances absorbées par les auxiliaires suivants :

Réducteur Warner 1/1

Pompe eau brute

Génératrice 12 V - 25 A

● Les puissances suivant courbes N° 2 sont garanties dans une limite de 5 % dans les conditions d'ambiance normalisées SAE.

2.3.2.2. Forme des bateaux

Le problème se pose de manières différentes suivant que le bateau est appelé à circuler sur les canaux à gabarit Freycinet ou qu'il ne peut circuler que sur les voies d'eau à grand gabarit.

Sur les voies à gabarit Freycinet, les dimensions réduites des écluses (40 m x 5,5 m. environ) imposent que les bateaux occupent en volume le maximum des écluses. Il ne reste qu'une place fort limitée pour améliorer l'hydrodynamisme (1).

Sur les voies à grand gabarit, les bateaux appelés à y circuler peuvent disposer de marges de dimensionnement et on pourra être amené, pour une puissance inchangée, à :

- augmenter la largeur des bateaux
- augmenter la longueur des bateaux

dans les dimensions permises par les écluses.

L'intérêt d'augmenter la longueur d'un automoteur de 38,50 m. qui ne navigue plus sur le réseau Freycinet, est apparu dans les enquêtes 1980 de l'O.N.N.

De même on a noté l'intérêt des petits convois de deux automoteurs de 38,50 m naviguant en flèche. On pourra préconiser de favoriser l'installation de dispositifs d'accouplement sur automoteurs de 38,50 m de manière à augmenter leurs possibilités de jumelage.

De toutes façons, la recherche de l'hydrodynamisme d'un bateau neuf ou à modifier doit faire l'objet d'essais de puissance de propulsion (ou de remorquage) sur une maquette en bassin d'essais de carènes.

Le projet d'automoteur de 850 m³, de 60 m x 5,70 m, de la Direction Régionale de la Navigation du Nord-Pas-de-Calais a fait l'objet de tels essais, qui ont conduit à quelques modifications de profils de coque.

Les profils assurant une meilleure pénétration dans l'eau comportent une étrave à angle aigu et une poupe profilée. Ces deux caractéristiques se réalisent au détriment de la capacité de chargement. Une étude économique peut dans chaque projet déterminer le coût et les avantages d'un hydrodynamisme amélioré ou d'un chargement optimisé.

La durée de vie d'un bateau étant très longue en navigation intérieure (à la différence des navires marins), une difficulté sera la fiabilité à long terme des éléments de coûts connus au départ du calcul.

..//..

(1) Le Service Central Technique des Ports Maritimes et des Voies Navigables a cependant un projet d'étude d'étrave mobile, améliorant la pénétration du bateau dans l'eau en section courante et se repliant au passage d'écluses de dimensions réduites.

2.3.2.3. Appareil propulseur

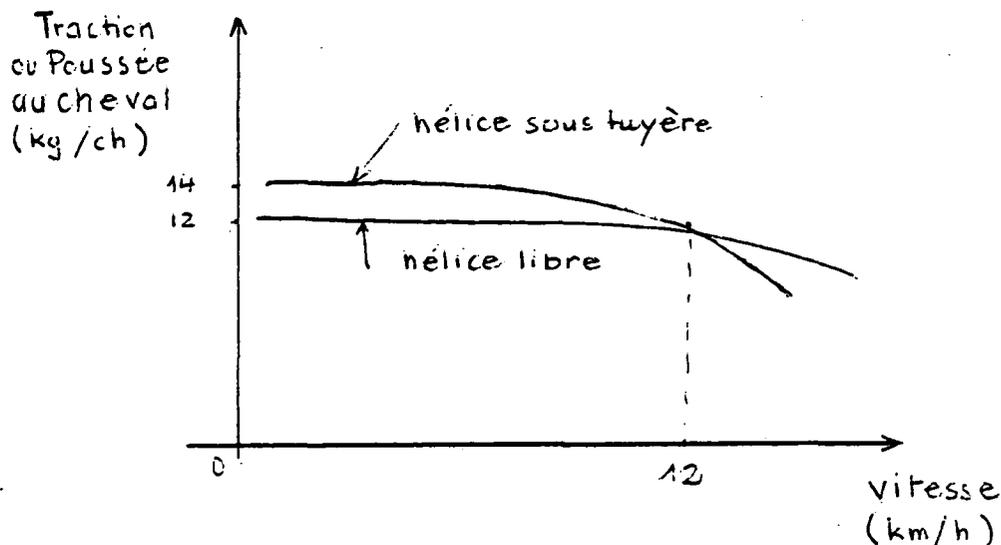
L'appareil propulseur est constitué par une ou plusieurs hélices.

Le calcul d'une hélice ressort à la spécialité de la construction navale. La mise au point des hélices capables de forts rendements en navigation intérieure où la hauteur d'eau est limitée, semble avoir eu du mal à être effectuée. Des essais successifs d'hélices de dimensions (diamètre, pas, surface) et de nombre de pales différentes semblent toujours indispensables de nos jours malgré l'amélioration des connaissances.

La tuyère est un cylindroïde métallique entourant l'hélice. Elle est placée à quelques millimètres de la surface extérieure balayée par l'hélice et fixée à la coque. Les filets d'eau sont concentrés sur l'hélice à l'avant ; après passage sur l'hélice, ceux-ci sont orientés dans l'axe de la propulsion, avec la vitesse qui leur a été imprimée.

Le rendement de propulsion est ainsi amélioré de 15 à 30 % (1) couramment pour les vitesses inférieures à 10 km/h.

Au-delà elle perd de son intérêt, comme le démontre l'allure des courbes de poussée à l'hélice avec et sans tuyères.



..//..

(1) Cours de Navigation Intérieure - Monsieur TERNAUD - E.N.P.C.

Ces améliorations de rendement se repercutent favorablement sur la consommation des bateaux qui sont équipés de tuyère.

Les essais effectués au Bassin des Carèmes à PARIS pour l'étude de l'automoteur fluvial de 850 m³ de la Direction Régionale de la Navigation du Nord - Pas-de-Calais ont confirmé cet intérêt (bien qu'avec un taux plus limité).

Les prévisions de puissance aux hélices en fonction de la vitesse ont permis de dresser, pour une puissance de 2 x 450 Ch aux moteurs (850 Ch environ aux hélices) le tableau suivant :

! Profondeur !	! Hélices sous tuyères !				! Hélices sous voutes !			
	! 4,5 m !	! 6 m !	! 10 m !	! 16 m !	! 4,5 m !	! 6 m !	! 10 m !	! 16 m !
! V km/h !	! 14,65 !	! 15,58 !	! 16,18 !	! 16,40 !	! 14,10 !	! 15,02 !	! 15,62 !	! 15,96 !
! N tr/mn !	! 418 !	! 420 !	! 424 !	! 424 !	! 403 !	! 407 !	! 409 !	! 412 !

Pourtant l'utilisation de l'hélice sous tuyères n'a pas été généralisée.

Telle compagnie en a équipé systématiquement sa flotte de pousseurs (Compagnie des Sablières de la Seine, Compagnie Française de Navigation Rhénane).

Telle autre a déséquipé ses pousseurs (Morillon Corvol) ou n'en possède pas (C.G.P.V.N.).

Les inconvénients des tuyères qui sont avancés sont les suivants :

- augmentation du tirant d'eau de 20 cm sur les automoteurs dont l'enfoncement varie avec le déchargement,
- risques importants de blocage de l'hélice, et de détériorations de celle-ci par aspiration de corps étrangers,
- risques d'accidents par dérive puis chocs, suite à blocage d'hélice.

En mars 1961, un automoteur était en réparation aux chantiers du Confluent à Conflans Sainte Honorine, pour cette raison.

Le coût estimé de la réparation est de 130 000 F, ce qui est supérieur à la dépense annuelle de carburant pour un automoteur de 38,50 m. On mesure la comparaison qui peut être faite avec un gain de consommation de 10 % procuré par la tuyère sur une consommation annuelle de 18 500 F en moyenne.

- En cas d'avarie, nécessité de réparation hors d'eau d'un bateau chargé, après remorquage au chantier naval.

Le "Versuchantalt für Binnenchiffbau" de Duisbourg a procédé à des études théoriques de mesures permettant d'améliorer la sécurité de fonctionnement des hélices sous tuyères. (1)

L'idée consiste à disposer à l'entrée de la tuyère une tôle également cylindroïde, dite pré-tuyère, suivant un angle approprié, et séparée de la tuyère elle-même.

Une autre idée est de réaliser dans la tuyère une rainure hélicoïdale par où les corps étrangers peuvent circuler sans gêner la propulsion.

Ces systèmes n'ont été testés qu'en laboratoire et n'ont pas été testés en vraie grandeur. On ne peut pas juger de leur fiabilité. De toutes façons les dispositions constructives de tels systèmes sont complexes.

Seuls les pousseurs, dont l'enfoncement est relativement faible et constant peuvent utiliser les tuyères avec quelques chances de succès.

La Société FERODO commercialise sous l'appellation HYDROLAND un système de propulsion sous tuyères à niveau réglable et entraînement hydraulique, le rendement de la transmission hydraulique étant en tout cas plus faible que celui d'une transmission mécanique.

Un enquête détaillée sur les incidents de fonctionnement des bateaux qui sont équipés de tuyères serait de nature à clarifier les idées.

Une autre difficulté de fiabilité de la tuyère est la nécessité de disposer d'une coque hydrodynamique qui permette une arrivée satisfaisante de l'eau dans la tuyère :

- les automoteurs de dimensions réduites ne s'y prêtent pas facilement,
- les automoteurs Rhénans de plus grandes dimensions s'y prêtent plus favorablement,
- l'ensemble propulsif peut se trouver partiellement hors d'eau pour les automoteurs légers,
- les gouvernails de marche arrière équipant les pousseurs (aussi appelés flankings) créent, en marche avant, des turbulences qui diminuent l'avantage procuré par les tuyères.

Il y a donc intérêt à poursuivre les études de faisabilité dans le domaine des tuyères.

../..

(1) Rapport n° 804 du 29.10.1976

2.3.2.4. Mode de chargement

Les essais effectués pour le projet d'automoteur de 850 m³ de la Direction Régional de la Navigation du Nord ont porté sur la comparaison des résistances à l'avancement entre les 2 déplacements réduits de 836 T et 678 T par rapport au déplacement de 944 T, et ce à des vitesses variant de 12 à 15 km/h.

Déplacement	Résistance en kg par tonne				Résistance totale (en T.)			
	944 T	826 T	678 T	Δ en % 678-944	944 T	826 T	678 T	Δ en % 944-678
assiette	0	0	1,66					
V = 12	2,72	2,90	3,27	+ 20	2,57	2,42	2,21	- 14
V = 13	3,36	3,55	3,96	+ 18	3,17	2,97	2,97	- 15
V = 14	4,18	4,33	4,78	+ 14	3,95	3,63	3,63	- 18
V = 15	5,16	5,35	5,90	+ 14	4,87	4,48	4,48	- 18
km/h								

La résistance spécifique en kilo par tonne augmente quand le déplacement diminue, plus fortement lorsque la vitesse est plus faible.

Par contre, la résistance totale est évidemment plus faible.

Les liens de ces variations avec les consommations réelles de carburant n'ont pas fait l'objet d'essais en grandeur réelle et mériteraient d'être approfondis.

Dans le cas des convois poussés, spécialement des convois de sable, il arrive fréquemment que l'on observe des enfoncements différents pour chacune des barges du convoi.

Ceci provient de ce que les barges de sables sont chargés à des périodes différentes, puis placées en attente de formation. L'eau contenue dans la cargaison doit être éliminée avant ou pendant le trajet pour améliorer la qualité commerciale du sable.

Le tonnage transporté varie donc en fonction de la période écoulée depuis le chargement et la différence d'enfoncement semble pouvoir atteindre 10 à 15 cm entre les barges.

Ceci n'est pas favorable à la réduction de résistance à l'avancement.

2.3.2.5. Dispositifs d'accouplement

Les développements précédents ont montré qu'il était intéressant de jumeler les automoteurs de 38,50 m en petit convoi, lorsque les dimensions de la voie d'eau le permettent.

Le couplage de ces automoteurs doit être encouragé en préconisant l'installation, sur le maximum de ces bateaux de dispositifs d'accouplement normalisés, montés à demeure.

2.3.2.6. Mode de formation des convois

En ce qui concerne les convois poussés, un certain nombre de dispositions ont été reconnues avantageuses sur le plan énergétique

Un convoi formé de 4 barges demandera une puissance inférieure, à vitesse égale, à un convoi de 6 barges identiques. Il consommera donc moins de carburant. Par contre sa consommation spécifique à la tonne-kilomètre sera plus forte.

Si l'on compare la puissance nécessaire au poussage de 6 barges identiques type EUROPA II sur le Rhén, de 12 846 T (1), suivant que ces barges sont accouplées 2 par 2 en flèche, ou 3 par 3 en flèche, le convoi le plus long et le moins large permet de gagner environ 100 chevaux sur 2 000 nécessaires pour le convoi le plus large et le plus court. Sur un parcours Rhénan de 300 km, à raison de 10 g/tkm, une telle disposition peut, en première approximation, permettre d'effectuer une économie d'environ 2 tonnes de fuel-oil sur 38 tonnes consommées.

2.3.2.7. Récupération d'énergie résiduelle

La haute température des gaz chauds d'échappement permet d'envisager d'en récupérer l'énergie.

Cette énergie sert sur certains bateaux à assurer les besoins de chauffage de l'eau, soit à usage sanitaire, soit pour l'utilisation en chauffage central par radiateurs. Ce procédé devrait pouvoir être étendu, de façon à éliminer le recours à des chaudières indépendantes. L'inconvénient du procédé est de ne pas être opérationnel lorsque le moteur est à l'arrêt.

Une autre possibilité d'utilisation d'énergie résiduelle serait la production, à partir des gaz d'échappement des moteurs à fonctionnement continu, de vapeur utilisée dans une turbine pour produire l'électricité utilisée dans les moteurs auxiliaires, voire même un moteur de puissance couplé sur la transmission du moteur principal. Dans ce domaine, les recherches sont en cours chez les principaux fabricants de moteurs (MITSUBISHI, SULZER, PIELSTICK, etc...)

Le bilan énergétique d'un tel équipement a été effectué par la Compagnie Française de Navigation Rhénane ; aucune décision ne semble devoir être prise dans le cadre du coût actuel de l'énergie.

.../...

(1) Essai Versuchanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg pour le compte de la Compagnie Française de Navigation Rhénane - Rapport n° 913

2.3.2.8. Carburants de substitution

Dans ce domaine, le souci du recours aux carburants de substitution est l'hypothèse d'une rupture brutale de l'approvisionnement pétrolier. Les recherches doivent avoir été faites, en période d'approvisionnement normal, pour que le passage aux carburants de remplacement puisse se faire sans problèmes technologiques.

Nous analyserons dans ce chapitre également la substitution du fuel oil domestique par le fuel lourd. Il ne s'agit pas à proprement parler d'un carburant de substitution. Cependant l'évolution de l'utilisation de ce produit dans l'industrie et la production d'électricité, le rend plus disponible sur le marché.

1°) Le fuel lourd

Le fuel lourd est constitué des fuels lourds n° 1 et 2. Le mélange du fuel lourd n° 1 au 2 avec du gasoil ou du fuel oil domestique est appelé fuel léger (voir annexe n° 3)

Il existe trois qualités de fuel oil n° 2 suivant sa teneur en soufre.

Le fuel lourd est utilisé couramment depuis quelques années dans les moteurs à régime lent, type SULZER RND ou MAN KSZ C/CL.

Ces moteurs sont plus spécialement des moteurs marins ou des moteurs stationnaires de forte puissance, non utilisés en transport fluvial moderne.

La Compagnie de Constructions Métalliques SULZER a actuellement en fonctionnement dans le monde 14 moteurs semi rapides ASL et ASV 25/30 fonctionnant avec du fuel lourd dont les caractéristiques sont les suivantes :

Viscosité :	1400 secondes (Redwood),
Soufre :	< 1,1 %
Vanadium :	≤ 15 p.p.m
Sodium :	≤ 26 p.p.m
Carbone :	≤ 7 %
Cendres :	≤ 0,019 %

La conception des moteurs a été modifiée pour tenir compte des particularités du fuel lourd :

. Pouvoir calorifique inférieur à celui du gasoil (98000 kcal/kg contre 10 200 kcal/kg),

. densité plus élevée,

. viscosité très élevée,

. forte abrasion due aux constituants secondaires et produits de combustion, spécialement le Vanadium.

Afin de limiter l'usure due à ces particularités, les moteurs comportent des dispositions constructives d'abaissement de la température de combustion (chambres, soupapes) de résistance accrue (piston combiné acier-aluminium), de nettoyage automatique des turbines de turbocompresseurs etc...

Cependant malgré ces caractéristiques particulières, les conséquences de l'utilisation du fuel lourd sont les suivantes :

1) nécessité de respecter des recommandations strictes pour la qualité des fuels lourds utilisés (densité, viscosité, indice de résidus de carbone conradson, soufre, cendres, eau ...)

2) nécessité de réchauffage préalable du combustible,

3) impossibilité de démarrage au fuel lourd, celui-ci devant être fait avec du fuel-oil. Ceci entraîne la nécessité d'avoir un réservoir annexe de fuel-oil, pour le démarrage et le fonctionnement aux bas régimes.

Enfin la durée de vie d'un moteur fonctionnant au fuel lourd n'a pas été déterminée.

Une seule compagnie française de navigation fluviale, la SOGESTRAN, exploite un pousseur rhodanien (le "SIMBEU") avec du fuel lourd.

Ce pousseur est équipé de 3 moteurs de 1 000 chevaux PIELSTICK SPA4 suralimentés dont la conception a été faite pour fonctionner au fuel de viscosité 1500 secondes (Redwood).

Il a été mis en service en 1976.

Plusieurs combustibles différents ont été utilisés successivement :

- 1^è phase : fuel oil domestique Durée 18 mois
- 2^è phase : fuel de raffinage (900 secondes Rd) Durée 30 mois
- 3^è phase : fuel oil domestique Durée quelques mois
- 4^è phase : recherche d'un mélange fuel lourd-fuel domestique. Durée 12 mois.

L'explication de ce phasage successif est, d'après l'exploitant, la difficulté de trouver sur le marché rhodanien un combustible approprié aux nécessités du moteur.

La première phase est liée à la recherche d'un fournisseur. Celui-ci a été trouvé en 2^è phase avec le fournisseur de la Centrale électrique de Frontignan, qui a depuis été convertie au charbon. Le fournisseur avait cessé sa production et sa commercialisation de fuel lourd.

Après un nouveau passage momentané au fuel domestique, à la suite de cette rupture d'approvisionnement, sont actuellement en cours depuis un an; des essais de mélange :

20 % fuel oil domestique, 80 % de fuel lourd n° 2

30 % fuel oil domestique, 70 % de fuel lourd n° 2

.../...

L'intérêt du fonctionnement au mélange de fuel lourd va d'ailleurs en diminuant, puisque l'écart de prix entre le fuel n° 2 et le fuel oil domestique qui était de 33 % en septembre 1980 est passé à 22 % en mars 1981.

L'installation particulière nécessitée par l'utilisation du fuel lourd sur le pousseur est la suivante :

- chauffage du réservoir de 22 000 l. à température de 60°C par des résistances électriques pour permettre le pompage vers le moteur,
- réchauffeur en ligne du fuel à 90°C commandé par un viscosimètre,
- centrifugation du fuel pour obtenir la sédimentation des impuretés,
- stockage intermédiaire de fuel purifié, correspondant à une heure de consommation, avec réchauffage.

Le coût d'une telle installation semble se situer à 250 000 F (valeur 1981), y compris le moteur diesel auxiliaire de 120 KVA pour fournir l'électricité nécessaire au chauffage.

Les contraintes d'exploitation du pousseur sont la conséquence de ce que le moteur doit être alimenté à bas régime et au démarrage avec du fuel oil domestique, malgré sa conception spéciale.

Le pousseur doit donc être équipé d'un double circuit d'alimentation.

Avant chaque changement de régime prévisible, le pilote doit prévoir une durée de 10 mn d'arrêt-moteur nécessaire au lavage préalable au changement de combustible.

L'utilisation de ce combustible ne semble avoir d'intérêt que pour les unités dotées de moteurs de puissance supérieure à 1 000 chevaux, dont la durée de vie aura été annoncée par les constructeurs.

Pour cette raison, et comme le recours au fuel lourd n'est concevable qu'en période d'approvisionnement normal, il ne faut pas s'attendre à des développements spectaculaires dans ce domaine au niveau d'une utilisation courante et dispersée.

Une seule opération de ce type est actuellement envisagée, par la C.F.N.R. qui équipe le pousseur "STRASBOURG" d'un nouveau moteur pouvant éventuellement fonctionner avec du fuel lourd.

2°) Emulsion eau - fuel oil

Des essais ont été entrepris en Grande Bretagne par la Société "Doxford Engines" de Sunderland (1), afin de connaître la proportion maximale d'eau que l'on peut incorporer dans le fuel oil alimentant un moteur. L'injection d'eau dans les cylindres, ou l'air d'alimentation a été un échec. Seule a pu faire fonctionner le moteur une émulsion eau-fuel. Ces essais ont été conduits sur un moteur Doxford 6756 Diesel lent. La proportion de 3 % n'a pu être dépassée.

.../...

(1) Bulletin de la N.F. Coast Institution of Engineers and Shipbuilders
Avril 1980 p. 115-129

Sur un moteur semi-rapide, l'eau a pu être dosée à 20 %. La réduction de consommation de fuel oil a été optimale pour un diesel fonctionnant à 50 % de son régime maximum. Au delà de ce régime, et de cette proportion d'eau, le moteur n'a pas fonctionné.

Cette recherche n'a pas débouché sur une réalisation pratique.

3°) Alcool

L'alcool peut être utilisé dans les moteurs à allumage commandé, sous forme "Ethanol" ou "méthanol".

Une modification de ceux-ci au niveau de la carburation et de la compression pour tenir compte des caractéristiques physiques propres à chacun de ces deux combustibles, est cependant nécessaire au préalable.

Des physiciens du laboratoire de mécanique et énergétique de l'Université d'ORLEANS ont procédé à la synthèse des possibilités d'utilisation de l'alcool dans les moteurs à injection du type Diesel(1). Le combustible est injecté sous pression un peu avant que le cylindre soit au point mort haut. C'est la compression qui permet l'inflammation du combustible, dont le délai d'inflammation doit être court.

L'injection directe d'alcool pur dans un moteur Diesel ne permet pas l'auto-inflammation dans de bonnes conditions et on doit y renoncer.

Si le moteur du type DUAL-FUEL(2), un premier combustible est mélangé avec l'air d'admission puis injecté. Le deuxième combustible, du type gas-oil est ensuite injecté par une deuxième injection, qui permet de provoquer l'inflammation du mélange.

Les expériences faites sur ce type de moteur (3) avec de l'alcool ont démontré que la proportion admissible d'alcool pouvait atteindre de 36 % à 70 % suivant le moteur utilisé ; la puissance maximale développée était par ailleurs supérieure à 16 %.

Les combustibles "éthanol" et "méthanol" ont été essayés.

Le moteur Diesel est inapte à fonctionner de façon satisfaisante avec de l'alcool injecté. Il peut être alimenté par ce carburant en version Dual-fuel, ce qui implique le maintien d'une certaine proportion de gazole.

Les essais qui ont été effectués se révèlent anciens. Ils doivent être réactualisés sur des moteurs commerciaux actuels, avant qu'un jugement puisse être porté sur l'intérêt d'utiliser pratiquement cette possibilité.

../..

(1) Revue Générale de Thermique - Novembre 1980

(2) Traduction littérale : double combustible

(3) Certaines d'entre elles remontent à 1954 et 1957

4°) Le gazogène

Le moteur à gazogène a déjà été utilisé de façon massive pendant la période 1940-1945 en raison du manque de produits pétroliers résultant des hostilités.

Une expérience de retour à ce combustible est en cours à la Société de Transports routiers Calberson qui gère un parc de 9 000 véhicules environ.

L'intérêt de cette expérience est d'être opérationnelle, et de s'appliquer à des moteurs Diesels existants, de type courant.

Pendant la période 1940-1945, le gazogène était utilisé sur les moteurs disponible à l'époque, c'est-à-dire à allumage commandé en majorité.

L'expérience effectuée par la Société Calberson sur des véhicules "SAVIEM" ou "RENAULT" de son parc se situe dans le cadre d'un groupement économique (Calberson, C.F.P., E.L.F., RENAULT Véhicules industriels). Son but est d'étudier les possibilités de fonctionnement du gazogène dans le transport routier dans le cas d'une pénurie importante d'énergie.

Le fonctionnement du gazogène se fait de la façon suivante :

La combustion de produits ligneux (bois, paille, feuilles séchées, etc...) dans un "générateur" ou "chaudière" produit du gaz pauvre qui est utilisé comme combustible dans le moteur, après mélange à de l'air dans des proportions convenables. Le gaz pauvre est composé de :

- CO, H₂, CH₄, CO₂, N₂,
- goudrons : à éliminer,
- cendres : à centrifuger,
- eau : à condenser.

Le dispositif se compose :

- d'un générateur, en acier inoxydable, de fabrication monobloc, surmonté d'une trémie à bois de 1,7 m³ de contenance, correspondant à une autonomie routière de 900 Km,
- d'un condenseur de vapeurs d'eau placé à la partie supérieure du générateur,
- d'un filtre laveur pour la retenue des goudrons produits par la combustion du bois,
- d'un refroidisseur de gaz (sur la cabine du camion)
- d'un second filtre (cyclone) pour la retenue des goudrons encore présents dans les gaz et l'élimination des cendres,
- d'un mélangeur gaz de bois-air placé avant l'entrée de la suralimentation du moteur
- d'un dispositif de réglage du débit de gasoil sur la pompe à injection.

Le gaz produit, qui est compatible avec un moteur Diesel à injection directe, suralimenté, ne permet pas un démarrage instantané. Le démarrage doit se faire au gazole. La production du gaz dans le générateur étant continue, il peut se révéler des insuffisances momentanées en cas de forte puissance demandée (côte, dépassement, etc...). On doit donc pouvoir alimenter en combustible composé de gazole et de gazogène-air dans des proportions variables.

Le moteur peut, avec le mélangeur commandé par le conducteur, fonctionner au gazole à 100 % ou au gazogène à 100 %. En pratique, la consommation est de 20 % de G.O. et 80 % de gazogène.

Le pouvoir calorifique du gazogène est de 1100 kcal/m³, soit environ 1/3 du P.C.I. du gazole. 3 kg de bois sont nécessaires pour remplacer 1 litre de gazole. L'autonomie routière de 900 km est atteinte avec un stock de 1200 à 1500 kg de bois, soit 1,7 m³ en plaquettes de 5 x 9 cm.

Le parc équipé est constitué de :

- . 1 camion SG2 en 1980,
- . 5 tracteurs PR 305 310 de 38 T de P.T.C. en 1980,
- . 4 tracteurs PR 305 de 38 T en 1981.

Les tracteurs routiers permettent plus facilement l'installation du générateur et du stock de bois que les fourgons.

Le coût d'installation et de modification du moteur annoncé par la Société CALBERSON est de 20 000 F.

Le coût du combustible, annoncé à la Direction des Transports Terrestres est le suivant :

. achat de bois sur site.....	0,25 F/kg (H.T.)
. hachage.....	0,08
. ensachage.....	0,10
. transport.....	<u>0,15</u>
	0,58 F/kg (H.T.)
Total T.T.C.	0,70 F/kg

L'équivalent de 1 l de gazole (3 kg de bois) est donc de 2,10 F (T.T.C.) et semble compétitif.

Les difficultés se sont produites au départ de l'expérience en raison de la présence des goudrons qui a été repérée sur les turbo compresseurs de suralimentation, sur les soupapes, etc... Certains bois humides, ou d'origine résineuse ne semblent pas convenir. Les normes de bruit et de pollution seraient, semble-t-il dépassées.

Les contrôles techniques de la part du fabricant des moteurs, R.V.I., sont en cours ; au vu de ceux-ci, la Société CALBERSON envisage de se prononcer sur l'équipement plus complet de son parc.

Cette expérience a une base routière qui ne peut être transposée telle quelle dans le transport fluvial.

Sa mise en pratique opérationnelle la rend cependant très crédible.

Il convient de suivre les conclusions qui en seront tirées, spécialement sur la durée de vie des moteurs, les frais d'entretien, les limites de remplacement d'organes.

Quoiqu'il en soit des problèmes d'approvisionnement en bois, de stockage du bois sur un bateau devraient pouvoir se résoudre dans la mesure où la promotion d'une expérience identique serait décidée pour la voie d'eau.

5°) Le charbon

Le rendement des machines à vapeur ne va pas au delà de 15 %. Il est de ce fait exclu de revenir à de telles machines dont l'alimentation se fait au charbon, en dépit du regain d'intérêt pour ce combustible.

Des procédés sont en cours d'études et d'expérimentation pour l'utilisation du charbon dans les moteurs Diesel, sous formes de dérivés.

Le S.R.C.II (solvent refined coal ou charbon raffiné au solvant) étudié en collaboration par SULZER et le Département de l'Energie des U.S.A. semble intéressant. Son P.C.I. de 38 225 kJ/kg est légèrement inférieur à celui d'un fuel lourd (40435). Les constituants secondaires néfastes (soufre, vanadium, sodium,...) y sont en teneur plus faible.

Le seul problème non résolu est celui de l'allumage ; on retrouve avec ce combustible, la nécessité de recourir à des injections pilotes de fonctionnement DUAL FUEL, et donc l'obligation de dépendre du gazole, ce qui ne peut convenir en cas de pénurie accentuée.

2.4. Possibilités d'économies d'énergie au niveau de l'infrastructure

L'objet de cette étude est plus spécialement orientée sur les bâtiments, qui assurent, par la puissance de leurs moteurs, le trafic fluvial.

L'infrastructure sur laquelle ils se déplacent peut être l'objet, elle-même, de mesures spécifiques propres à réduire l'énergie consommée par le maintien de son intégrité et son exploitation.

Cette question sera abordée de manière courte et succincte. Elle peut faire en soi l'objet d'une étude poussée que le présent mémoire ne compte pas épuiser.

Seront mentionnés les équipements classiques (barrages, écluses,) et les éléments spéciaux d'infrastructure (pompage bief à bief, plans inclinés, pente d'eau de Montech).

Il est rappelé que les hypothèses de cette étude se situent dans le cadre d'une infrastructure existante, à l'exclusion de toute modification de celle-ci.

2.4.1. Les barrages et écluses

Les barrages modernes sont équipés de vannes segments ou vannes secteurs manoeuvrées hydrauliquement. Les manoeuvres durent quelques minutes par jour. Il ne semble pas qu'il y ait d'amélioration exploitable.

Les écluses sont manoeuvrées manuellement ou électriquement. Les écluses manoeuvrées manuellement ne consomment pas d'énergie primaire évidemment. Leur nombre diminue et elles sont concentrées sur les voies à très faible trafic.

Les écluses à petit gabarit (40 m x 6 m environ) manoeuvrées électriquement comportent une puissance installée de 10 KVA environ.

Le service de la Navigation de Strasbourg a fourni des repères de consommation d'une telle écluse, associés au nombre de bateaux en franchissement.

Canal de la Marne au Rhin	Consommation en KWH/an (1)					
	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Ecluse 38	473	575	300	982	5 311	3 247
Ecluse 40	440	489	276	638	3 561	3 680
Ecluse 42	522	469	422	1 028	7 581	6 721
Nombre de bateaux	3 690	4 083	3 429	3 791	3 435	3 323

Pour un trafic moyen d'environ 3 500 à 4 000 bateaux/an, la consommation d'une écluse mécanisée se situe entre 400 et 500 KWH soit 0,14 KWH par bateau. Les chiffres plus élevés que l'on trouve à partir de 1978 s'expliquent par l'automatisation en cours d'année de ces écluses.

../..

(1) dans ces chiffres l'éclairage public intervient à hauteur de 50 KWH.

L'automatisation semble donc apporter, d'après ces relevés, un quasi-décuplement de la consommation électrique.

La consommation électrique des écluses à grand gabarit, est variable en fonction du nombre d'éclusages, et non plus du nombre de bateaux puisqu'un éclusage permet à plusieurs bateaux de franchir l'écluse ; mais l'écluse peut n'être remplie qu'imparfaitement si les bateaux en attente sont inférieurs à sa capacité maximale.

L'Ecluse de Gamsheim, gérée par le Service de la Navigation de Strasbourg consomme 126 KWH par éclusage et par sas.

Les annexes de l'étude sur la marginalisation des dépenses d'infrastructures des voies navigables effectuée par le Service d'Analyse Economique du Ministère des Transports regroupent les résultats du système de comptabilité analytique des voies d'eau (S.C.A.V.E.) et permettent d'apprécier les dépenses globalisées de consommation électrique des ouvrages de franchissement en fonction des dépenses totales d'un service de Navigation.

Les tableaux ci-dessous donnent cette comparaison pour les Services de Navigation de NANCY et du NORD PAS-de-CALAIS.

NANCY	Dépenses courantes 1979	Dépenses consommation électrique des ouvrages de franchissement
<u>Voie grand gabarit (Moselle)</u>	9 408 000	101 337 (1,6 %)
<u>Voies petit gabarit</u>		
(canal de la Marne au Rhin)	14 259 000	235 236 (2 %)
(canal de l'Est, branche Nord)	12 305 000	4 051 (0 %)
(canal de l'Est, branche Sud)	7 686 000	0
(Embranchement de NANCY)	1 826 000	0
TOTAL	45 478 000	340 624 (1 %)

NORD PAS-de-CALAIS	Dépenses courantes 1979	Dépenses consommation électrique des ouvrages de franchissement (1)
<u>Voies à grand gabarit</u>	9 471 365	1 227 807 (13 %)
<u>Voies à petit gabarit</u>	12 038 640	413 625 (3 %)
TOTAL	21 500 005	1 641 432 (7,6 %)

../..

(1) à ces consommations, sont ajoutées les dépenses de renouvellement d'huile des vérins hydrauliques, et les ingrédients de graissage des mécanismes.

Ces données montrent que la dépense d'énergie électrique varie selon la localisation des voies d'eau, selon le gabarit des voies, sans qu'il soit possible de tirer des enseignements précis.

On remarque cependant que la proportion de 1 % du Service de Nancy risque d'être peu motivante pour la recherche d'économie, alors que celle de 13 % relevée sur les voies à grand gabarit du Nord Pas-de-Calais mériterait une analyse détaillée, qui ne peut être entreprise ici.

Le fait que les manoeuvres des écluses soit effectuée électriquement est en soi un recours aux possibilités de mixage des sources d'énergie primaire par le biais des centrales électriques.

Par nature même, les écluses coupent la marche normale des bateaux, qui doivent s'arrêter pour les franchir. Lors de cet arrêt, le moteur du bateau peut être arrêté ou laissé au ralenti.

Lorsque le passage d'une écluse doit donner lieu à des attentes en raison de l'encombrement, une source de réduction de la consommation d'énergie serait de permettre aux convois de couper le moteur qu'il est nécessaire de maintenir en marche pour garder l'alignement et la position du bateau.

On pourra donc recommander la mise en place aux écluses fréquentées qui n'en possèdent pas, l'installation de postes d'attente sur lesquels les bateaux puissent être amarrés momentanément.

De même, sur les voies fréquentées par les convois poussés, des prises de courant à terre permettraient, lorsque ceux-ci sont à l'arrêt - l'exploitation continue n'est pas généralisée - d'éviter le fonctionnement d'un moteur auxiliaire entraînant un alternateur de bord.

Le pompage de bief à bief est utilisé lorsque les écluses amènent une consommation d'eau supérieure à l'alimentation naturelle de la voie d'eau.

C'est le cas du Canal du Nord. Ce sera le cas de la liaison Saône-Rhin lorsqu'elle sera construite.

L'association du pompage et des bassins d'épargne d'écluses permet de limiter au strict indispensable, les remontées d'eau.

La puissance de pompage est fonction des conditions géographiques (hauteur de chute ou de refoulement) et les dimensions de la voie d'eau (débit), ainsi que du rendement des pompes.

La hauteur de chute, et le débit ne pouvant être modifiés, toute dégradation du rendement entraînera une consommation d'énergie accrue. On a donc intérêt à vérifier la bonne tenue de ce rendement et à effectuer la remise en état des éléments de pompe qui influent sur celui-ci.

L'alimentation en énergie se faisant électriquement la remarque sur la diversification des sources d'énergie est valable pour le pompage.

2.4.2. Les plans inclinés et ascenseurs

Le réseau navigable français ne comporte plus d'ascenseur. Plusieurs exemplaires sont en service en Allemagne.

Le plan incliné d'Arzviller est un équipement destiné à racheter une dénivellation de 44,55 m comportant auparavant 17 écluses. Un bac rempli d'eau sur laquelle flotte le bateau se déplace sur le plan, dont les dimensions sont adaptées au gabarit Freycinet.

Les sources de consommation de cet ouvrage sont les suivantes, chauffage des locaux exclus :

- le moteur principal WARD LEONARD asynchrone de 220 KW
- le système antigel de chauffage des portes 20 KW en pratique (108 KW maximum)
- les pompes de la fosse aval
- les pompes destinées à libérer les doubles portes intérieures et extérieures de fermeture du bac, de l'eau emmagasinée pendant les manoeuvres,
- les moteurs de manoeuvres des portes, 9 et 28 KW
- divers moteurs auxiliaires
- l'éclairage des ouvrages et des locaux, 25 KW.

Les puissances consommées en 1979 et 1980 sont indiquées ci-dessous

	! 1979	! 1980
! P. active (KW)	! 193 100	! 199 200
! (t.e.p.)	! 46,34	! 47,80
! P. réactive (KVA)	! 390 000	! 384 800
! Nombre de mouvements	! 3 251	! 3 342

La puissance active absorbée est supérieure à la puissance consommée par 17 écluses automatiques (environ $17 \times 4000 \text{ KWH} = 68\ 000 \text{ KWH}$) mais permet de réduire la consommation des moteurs de bateaux à leur passage.

L'estimation sommaire de cette consommation évitée est la suivante : le bateau type est supposé motorisé à 150 CV et consommer 200 g/Ch/h de consommation spécifique soit : 30 kg/h.

17 écluses franchies en 15 mn, 18 biefs franchis en 3 mn donnent une durée de franchissement d'écluses de 309 mn, de laquelle il faut déduire 60 mn de franchissement et de parcours des accès au plan incliné. La durée de franchissement évitée est de 249 mn. La consommation de fuel évitée par bateau est donc de

$$\frac{249}{60} \times 30 \text{ kg/h} = 125 \text{ kg de fuel ou } 145 \text{ litres}$$

..//..

Pour 3 300 bateaux/an, l'économie se chiffre à 479 651 litres
(412 t.e.p.)

La puissance réactive est due au groupe WARD LEONARD dont la particularité est de pouvoir produire de l'électricité en fonctionnement inversé : l'ensemble du bac et du contrepoids est normalement équilibré, la puissance nécessaire au mouvement correspondant aux seules forces de frottement.

Lorsque le niveau du bief supérieur est plus élevé que celui existant dans le bief inférieur, le déséquilibre est de 2 tonnes par centimètre d'eau au dessus du niveau normal, soit 35 tonnes dans le cas le plus défavorable. La puissance retournée au réseau est de 80 KW, avec pointes de 100 KW lors de la décélération d'arrivée.

La durée de déplacement du bac est de 4 mn 30 s, pour une durée de franchissement de 18 mn, soit 22 % du temps lorsque le trafic est continu et qu'il n'y a pas de temps morts.

Cette énergie est retournée au réseau E.D.F. ou bien dissipée en chaleur dans des résistances appropriées, lorsque le réseau E.D.F. est disjoncté.

Bien que, financièrement parlant, le service de la Navigation ne bénéficie pas d'une déduction sur ses facturations, énergétiquement ce courant en retour est à déduire des consommations effectivement utilisées.

En raison de sa discontinuité, une utilisation particulière ne peut pas se développer. Le retour sur le réseau général est à créditer aux économies d'énergie. Sa production systématique dépend toutefois des ressources en eau du bief de partage du canal.

2.4.3. La pente d'eau

La pente d'eau de Montech (canal latéral à la Garonne) assure le rachat d'une dénivellation de 13,30 m suivant une pente à 3 % de 443 m en remplacement de 5 écluses. Le bouclier qui assure la fermeture aval du prisme d'eau est mu par une automotrice de part et d'autre du canal. Chaque automotrice diesel-électrique comporte un Diesel de 1 000 chevaux à 1800 tr/mn assurant l'entraînement d'alternateurs, suivant une technique utilisée en matériel de chemin de fer.

Le bilan d'exploitation de l'année 1980 est représenté ci-dessous :

Nombre d'heures de fonctionnement des moteurs principaux :	202 h
Nombre de cycles :	305
Passages de bateaux :	254
Consommation de fuel oil :	15 504 l ou 13,33 t.e.p.
Consommation d'huile moteurs	270 l
centrale hydraulique	610 l
Consommation moyenne de fonctionnement des moteurs principaux :	76,75 l
par cycle :	50,80 l
par bateau :	61,00 l

La dépense correspondant aux carburants et lubrifiant a été
de 39 800 F
L'énergie électrique annexe (éclairage public, etc...) a coûté
7 000 F

Si l'on estime sommairement la consommation de fuel oil qu'auraient
consommé les bateaux (150 chevaux) en utilisant les écluses maintenues en service,
on aboutit à :

moteurs de 150 ch de consommation spécifique 200 g/ch/h : 30 kg/h

5 écluses franchies moteur au ralenti en 15 mn : 1 h 15 mn

6 biefs franchis en 10 mn maximum 1 h

Temps passé : 2 h 15 mn

La consommation moyenne est de 67 kg par bateau

C'est à dire 16750 kg (16,75 t.e.p. ou 19476 litres) pour 250 bateaux,

Ce qui est sensiblement supérieur à la consommation des automotrices qui ont
effectué des cycles à vide.

D'autre part la mécanisation de ces 5 écluses aurait entraîné une
consommation électrique complémentaire de $5 \times 0,14 \times 250 = 175$ kWh (0,042 t.e.p.)
sur la base des consommations électriques fournis par le Service de Navigation de
Strasbourg.

Ces éléments favorables ne doivent pas masquer les éléments qui vont
à leur rencontre :

- le domaine de dénivellée dans lequel se situe la pente d'eau de Montech est
également celui d'une seule écluse moderne, (qui peut être équipée de bassins
d'épargne pour limiter le recours au pompage éventuel) dont la consommation en
énergie de la mécanisation a été indiquée.

- les automotrices diesel-électriques sont tributaires d'énergie d'origine
pétrolière, l'alternative étant leur renouvellement en automotrices électriques
en fin d'amortissement. Celui-ci est encore lointain puisque leur mise en service
date de 1974.

Aussi toute nouvelle pente d'eau doit être envisagée avec un
fonctionnement utilisant directement l'électricité sans l'intermédiaire de Diesels,
dans la mesure où l'étude de rentabilité a démontré qu'elle surpassait une écluse
moderne.

2.5. Formation du personnel

Le personnel de conduite ne semblait pas préoccupé jusqu'à ces
derniers mois par les consommations des bateaux qui lui sont soumis.

Cette absence de préoccupations caractérise également l'encadre-
ment, sinon les dirigeants, dont le souci est l'agressivité commerciale et les
gains de rentabilité, plutôt que le gain de produits hydrocarbonnés qui inter-
viennent de façon anonyme et globale dans le bilan d'exploitation d'un bateau, ou
de la société.

Dans certaines conditions, il n'est pas tentant de passer à une navigation économe : lorsque le trajet peut être effectué en une journée de navigation, l'argument avancé est que l'adoption d'une conduite économique (puissance du moteur, vitesse) risque de ne pas permettre le franchissement de la dernière écluse avant la fermeture du soir, et donc entraîner une immobilisation de matériel de une journée supplémentaire, ce qui ne peut être accepté.

Il est donc important, de la part d'un promoteur d'une politique d'économies d'énergie, de pouvoir fournir aux dirigeants d'entreprises et au personnel de conduite, des indications très précises sur l'influence de tel ou tel facteur de conduite ou de l'infrastructure sur la consommation d'énergie du bateau. Dans l'état actuel des connaissances, ces indications précises ne sont pas disponibles, - l'analyse effectuée plus haut le démontre - et il convient de les rechercher.

C'est l'objet du contrat d'études qui a été passé par l'Office National de la Navigation.

2.5.1. Objectifs

Il s'agit, pour permettre des économies de carburant, d'apporter au personnel :

- une information motivante et permanente sur la consommation d'énergie :
 - . par des préconisations simples et réalistes tenant compte des contraintes de la profession,
 - . par des éléments chiffrés accessibles pendant la conduite du bateau,
- un matériel adapté aux besoins du trafic, mais conçu pour assurer un service économique.

Le but du projet est de constituer une somme de données expérimentales et d'en assurer le traitement en vue :

- de rédiger des préconisations de conduite, si possible illustrées, et de présentation agréable, qui pourront être suivies de façon permanente par le pilote.
- d'orienter les choix d'organes moteurs et de modes de propulsion lors de leur renouvellement, modifications, ou lors de constructions navales neuves.

2.5.2. Méthodologie

La méthode de travail consiste à fractionner les observations et leur analyse de façon à distinguer les économies réalisables par une modification de l'utilisation des matériels existants, et par une adaptation des propulseurs au besoin du trafic, selon les conditions de navigation :

- . hauteur d'eau
- . sens et vitesse du courant
- . largeur du bief
- . vitesse et direction du vent.

Le fractionnement des observations pourra permettre d'obtenir des éléments homogènes de chaque "condition de navigation". La consommation enregistrée sur chaque élément homogène sera ensuite imputée :

- . à la conduite
- . à la charge
- . à la formation des convois
- . aux conditions particulières

L'analyse statistique de ces observations permettra de déterminer la variation dans le temps :

- de la consommation instantannée des moteurs
- des paramètres d'utilisation (vitesse, position de l'inverseur, réduction de transmission, charge, enfoncement des bateaux)
- des paramètres de fonctionnement (vitesse et couples des moteurs et des hélices, poussée et rendement)
- d'autres paramètres éventuels caractérisant le parcours.

Une recherche de corrélations multiples entre la consommation de carburant et les paramètres enregistrés devrait permettre la hiérarchisation énergétique de chacun d'eux, et donc d'établir des recommandations de conduite et d'aménagements techniques susceptibles d'apporter des gains.

2.5.3. Flotte étudiée

La première partie de cette étude a présenté la consommation de produits pétroliers par types de bateaux (voir page 20). L'essentiel de la consommation est due à deux types principaux d'unités qui sont :

- . l'automoteur de 38,50 m,
- . le pousseur de convois,

circulant sur les canaux et rivières à grand gabarit. L'ensemble du parc de ces 2 catégories consomme 89 % de la consommation totale.

Les études à entreprendre seront concentrées sur ces deux types d'unités, c'est à dire là où les gains de consommation à attendre sont les plus importants.

L'échantillon étudié sera extrait de ces deux types d'unité, de façon à permettre la comparaison d'éléments homogènes :

- automoteurs de 38,50 m construits par la Société de Construction et ateliers du Rhin à Strasbourg,
- convois poussés de type charbonnier (barges Europa) navigant sur la Seine.

2.5.4. Intervention

2.5.4.1. Adaptation du matériel

- Les trois paramètres fondamentaux à enregistrer sur le bateau sont :
- la vitesse de rotation du moteur
 - la position embrayée - débrayée du propulseur
 - la consommation

La consommation est mesurée par un compteur de liquide placé entre les réservoirs et l'alimentation du moteur et à l'amont des retours de fuel refroidis, s'il en existe sur l'injection. Ce compteur doit comporter un émetteur d'impulsion par unité consommée (1 litre, ou 5 litres suivant la consommation).

L'enregistrement peut se faire sur deux types d'enregistreurs :

- un enregistreur à bande, dont le ruban de papier se déroule en fonction du temps,
- un enregistreur chronotachygraphique à disque défilant en 24 heures, suivant le modèle utilisé pour le contrôle des transports routiers.

Cette deuxième solution a été retenue en raison de la compacité du disque produit dans la journée, par rapport au ruban de papier qui nécessite un pliage et un stockage sur bateau puis un déroulage de lecture.

Le schéma ci-après indique le schéma d'installation du compteur et des enregistrements du chronotachygraphe, ainsi d'ailleurs que ceux de l'enregistreur à bande qui a été éliminée.

Le disque chronotachygraphique comporte les indications de :

- la vitesse de rotation du moteur
- la consommation (par les impulsions émises par le compteur)
- la position de l'embrayage
- l'horaire ou temps défilé.

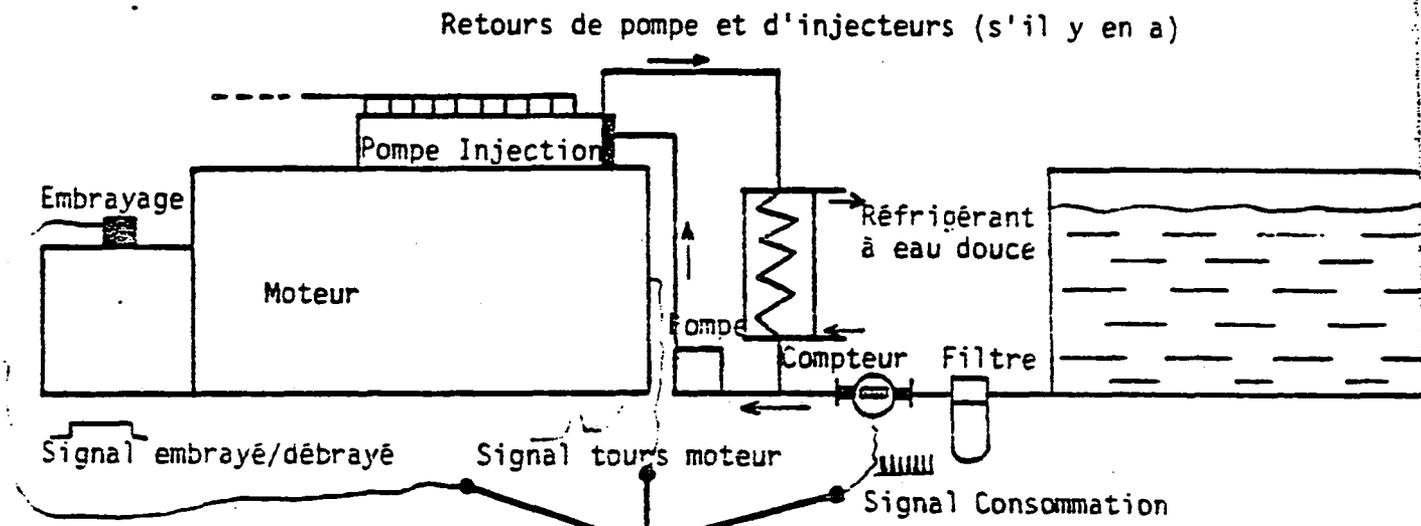
Des essais de mise au point et de fiabilité sont effectués avant le début du recueil des paramètres.

2.5.4.2. Recueil et analyse des données sur un échantillon de bateaux

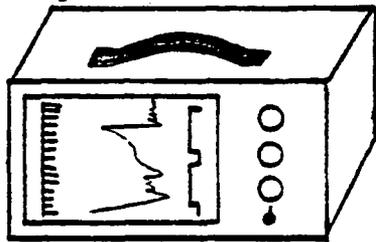
Le recueil des données est en cours d'acquisition au moment de la rédaction de cette étude, suivant la méthodologie qui a été indiquée.

SHEMA DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION SUR BATEAU

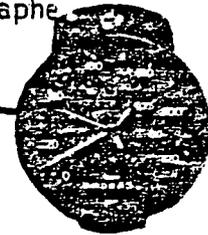
SALLE DES MACHINES



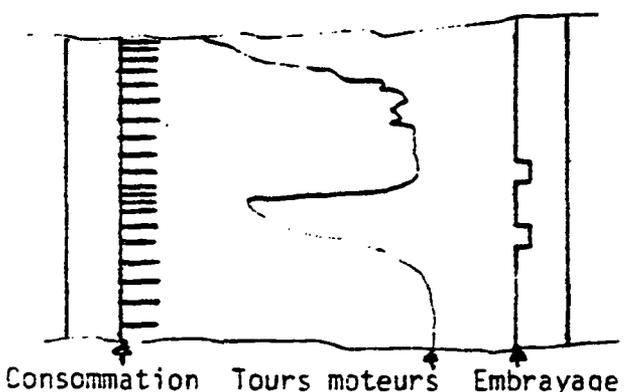
Enregistreur à bande



Chronotachygraphe



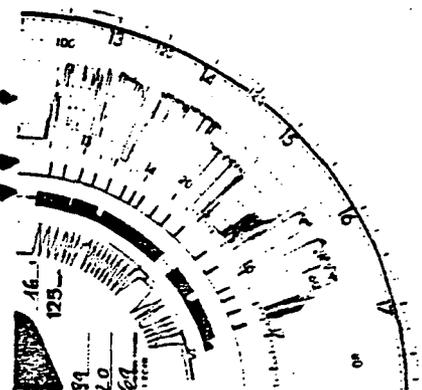
CABINE



Tours moteur

Consommation

Embrayage



CONCLUSION

L'examen des consommations d'énergie des transports fluviaux a mis en évidence que 126 000 T constituent une part tout à fait limitée (0,4 %) de la consommation d'énergie du secteur des transports, qui elle même se situe à environ 20 % de la consommation nationale.

Pourtant, si l'on isole les dépenses d'exploitation des transporteurs fluviaux, on remarque que l'énergie y tient une place importante, qui tend même à devenir envahissante dans certaines formes d'exploitation industrielle.

Le maintien de la compétitivité du transport fluvial engage à se préoccuper de faire régresser le poste de consommation de carburant.

Cette recherche d'économies d'énergie s'intègre d'ailleurs dans une politique plus globale visant l'ensemble des secteurs économiques, et dont l'état d'avancement est variable, et fonction des connaissances techniques qui permettent de les réaliser, et de leur coût.

Il a été distingué dans cette recherche d'économies d'énergie, les procédures qui, tout en procurant des gains appréciables, maintiennent la dépendance énergétique dans son contexte actuel.

D'autres solutions permettraient de s'affranchir plus facilement d'une indisponibilité momentanée ou prolongée de produits pétroliers.

Parmi les actions visant à limiter les consommations dans le cadre de la dépendance énergétique pétrolière actuelle, deux horizons ont été dégagés :

le court terme :

Par la réduction des vitesses pratiquées, et l'adoption du régime économique des moteurs, il est possible de bâtir une circulation économique du point de vue de la consommation.

Dans l'état actuel du coût de l'énergie, le transporteur est, semble-t-il, limité dans une telle démarche par l'influence de la perte de temps sur ses ressources.

le moyen et le long terme :

Les possibilités au niveau de la motorisation, de la forme des bateaux, de l'appareil propulseur ont été indiquées. L'intérêt qu'elles procurent ne portent toutefois que sur une fraction du parc (moteurs suralimentés, fractionnement de la puissance en plusieurs moteurs, tuyères), et une généralisation ne peut être envisagée.

Certaines indications ont pu être formulées quant au mode de chargement et à la disposition des convois. Il s'agit également de mesures limitées à une fraction du parc, et déjà utilisées là où c'est techniquement réalisable.

Favoriser la marche en unités doubles des automoteurs de 38,50 m sur les portions de voies navigables où cette technique est matériellement possible consisterait une mesure intéressante : elle implique au plan technique, que soient installés des dispositifs d'accouplement sur le parc d'automoteurs, et au plan professionnel que les exploitants soient incités à utiliser cette technique.

Des études, recherches et expérimentations doivent être engagées dans des domaines mal explorés (tuyères en navigation intérieure, récupération d'énergie résiduelle des gaz d'échappement, etc...) ou peu connus (liaison entre régime du moteur, vitesse du bateau, caractéristiques de forme, d'hélice, de moteur, de transmission du bateau, et caractéristiques de la voie empruntée).

Dans le cadre d'une rupture d'approvisionnement en produits pétroliers ont été étudiées des solutions alternatives d'énergies de substitution. L'utilisation du fuel lourd a également été rattachée à ce chapitre bien qu'il ne s'agisse pas d'énergie de substitution, mais en raison de la modification de la nature de combustible qu'il apporte.

Il s'agit de solutions soit expérimentales, soit expérimentées mais n'ayant pas fait l'objet d'un développement sur de nombreux moteurs d'utilisation différenciée.

L'alcool, l'émulsion eau-fuel, le charbon n'ont pas dépassé le stade expérimental dans les moteurs diesel.

Le fuel lourd a été mis en oeuvre sur plusieurs moteurs stationnaires ou marins de forte puissance, mais un seul pousseur de navigation intérieure en a été doté. Ce pousseur a le mérite de fonctionner avec ce carburant, bien que son utilisation en soit singulièrement compliquée.

Le gazogène à bois a également été utilisé, sur des véhicules routiers à moteurs diesels. Il s'agit finalement du seul carburant de substitution qui soit opérationnel, bien que son utilisation soit couplée avec du gazole dans la proportion pratique de 20 %.

Il s'agit, pour la navigation intérieure d'expérimenter dans son propre domaine ce moteur à gazogène et d'en assurer la mise au point.

La formation du personnel cadre ou de conduite revêt enfin une importance dans la pénétration des idées d'économie.

Il sera intéressant de prendre connaissance des publications que l'Office National de la Navigation envisage d'effectuer à son intention, dans ce domaine, relatives aux économies d'énergie adaptées au transport fluvial qui auront été dégagées de l'étude en cours de réalisation.

Au niveau de l'infrastructure, la question des économies d'énergie n'a été qu'effleurée dans cette étude qui a mis en évidence que l'automatisation des écluses apportait un décuplement de la consommation électrique par rapport à des écluses simplement mécanisées.

Quelques mesures ponctuelles (installation de postes d'attente aux écluses fréquentées) sont de nature à permettre une réduction de fonctionnement des moteurs des bateaux en attente. Des prises de courant sur berges permettraient d'éviter l'utilisation de moteurs auxiliaires pendant l'arrêt des convois.

Quant aux infrastructures spéciales, il semble que les nouvelles pentes d'eau soient susceptibles d'être équipées en puissance électrique prise au réseau, permettant de recourir de ce fait à un approvisionnement programmé d'énergie primaire. Encore faut-il que l'étude de rentabilité ait démontré l'intérêt de cet équipement par rapport à une écluse moderne.

B I B L I O G R A P H I E

TRANSPORTS TOUS MODES

- Conservatoire National des Arts et Métiers
Enseignement supérieur de Transports - 1980 -
- Les Transports de 1970 à 1979
Ministère des Transports - Direction Générale des Transports Intérieurs
Service d'Analyses économiques - juillet 1980 -
- Prévisions de trafics voyageurs et marchandises à l'horizon 1990
Ministère de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire
Service des Affaires économiques et internationales
- Annuaire des Statistiques des Transports
Ministère des Transports - Département des Statistiques de Transport - 1979 -
- Journal Officiel de la République Française
Rapport sur les principales options du VIII^e plan - 12 juillet 1979 -
Ce document est également édité par la Documentation Française,
Paris 1979, sous le titre :
Rapport sur les principales options du VIII^e plan
Projet soumis par le gouvernement à l'avis du Conseil Economique et Social
- Ministère des Transports
Les consommations unitaires d'énergie dans les transports
étude réalisée au Service d'Analyses Economiques de la Direction Générale
des Transports Intérieurs - Alain Frybourg.
La Documentation Française - décembre 1979 -
- Dans le monde des transports : Rapport du VIII^e plan : le Rose et
le Noir par Pierre Henri Emangard. La vie du Rail n° 1777 du 22 janvier
1981 (page 46)
- Rapport du Comité Transports - VIII^e plan
La Documentation Française
- United States Senate
report prepared by the Congressional Research Service,
for Henry M. Jackson, chairman, Committee on Energy and Natural Resources,
and Howard W. Cannon, chairman, Committee on Commerce,
Science and Transportation
National Energy Transportation
U.S. Government Printing Office.
March 1978 - Publication n° 95.15
- XVII^e Rapport de la Commission des Comptes des Transport de la Nation
Les Transports en France en 1979 - Les collections de l'INSEE.

ENERGIE ET TRANSPORTS

- Journal Officiel de la République Française,; Avis et Rapports du Conseil Economique et Social
Les Perspectives énergétiques - 28 juin 1979 -
- L'Evolution des transports face à la contrainte énergétique par
Jean-Philippe PILLET in Revue "Transport - Environnement - Circulation "
n° 41 (spécial energie) - juillet Aout 1980 - (p 25)
- Etudes prioritaires interministérielles
Comment économiser l'énergie dans les transports par Pierre MERLIN
La Documentation Française - Novembre 1976, annexes Novembre 1977 -
- La politique d'investissement routiers et les économies d'énergie par
J. MILLS in Revue "Travaux" - Décembre 1980 -
- Les véhicules de transport automobile et les économies d'énergie par
B. GAUVIN et C. LAMURE in Revue "Travaux" - Décembre 1980 -
- Les caractéristiques géométriques des routes et les économies d'énergie
par R. SAUTEREY et J. MESQUI in Revue "Travaux" - Décembre 1980 -
- Exploitation de la route et économies d'énergie par PH. LEGER et
J.C. LAPLANCHE in revue "Travaux" - Décembre 1980 -
- Formation des conducteurs et consommation d'énergie par M. FORTIN
in Revue "Travaux" - Décembre 1980 -
- Voies et moyens d'une réduction de la consommation d'énergie dans la
navigation interieure par le Dr. ing. H.E. HEUSER, Directeur de la
VERSUCHSANSTALT für BINNENSCHIFFBAU, DUISBOURG, in Revue de Navigation
fluviale européenne (Navigation Ports et Industrie) - 10 décembre 1974 (p698)
- Possibilité d'utilisation d'alcool dans les moteurs Diesel par
P.K. PANDAY, J.C. BERGE, et M. PLAU, in Revue Générale de Thermique
n° 227 de Novembre 1980 p 891 à 902
- Le poids-lourd : conception et fonctionnement - note d'information n° 18
Institut de Recherches des Transports - Centre d'évaluation et de recherche
des nuisances et de l'énergie - Septembre 1980 -
- Ministère des Transports : les consommations unitaires d'énergie dans les
transports - étude réalisée au Service d'Analyses Economiques de la Direction
Générale des Transports Intérieurs - Alain FRYBOURG - La Documentation
Française - Décembre 1979 -
- Le Diesel marin face aux combustibles actuels et futurs de médiocre qualité
par K.E. EBERLE, in Bulletin technique du bureau Veritas n° 3, et N° 4, 1980
pages 82 à 90 et 124 à 132
- The application of "oil-water emulsions as a Diesel engine fuel
I. THORP, G. ARMSTRONG, P. KATSOUKAKOS, NORTH EAST COAST INSTITUTE of
ENGINEERS AND SHIPBUILDERS, Avril 1980 p 115-129

- Exploitation des moteurs SULZER A 25/30 et nouveaux développements pour leur fonctionnement avec des fuels lourds
Navires, ports et chantiers n° 364 - 1980 - p 351-356
- Les objectifs d'économie d'énergie dans le secteur des transports
M. RANCUREL in Pollution admosphérique n° 85 - 1980 - p 128 à 130
- Pielstick proposals for energy saving in Shipbuilding and Marine Engineering International n° 1236 - 1980 - p 100 à 101
- Auxiliary power from Diesel main machinery and independently driven generators, A. NORRIS, Shipbuilding and Marine Engineering International n° 1236 - 1980 - p 94 à 97
- Industrial Energy conservation , 2nd édition, par D.A. REAY
International Research and développement Co, Ltd, Newcastle upon Tyne, Pergamon Press
- Le nouveau Pétrole par Michel GRENON, HACHETTE
- Energy conservation through effective energy utilisation
NBS Spécial publication 403 , U.S. Department of Commerce
National Bureau of Standards. 1973 engineering Foundation Conférence -
New England College - Henniker N.H. 19-24 aout 1976.
- Guide de l'énergie dans l'industrie - Collection énergie
Editions Apogée.
- Energy impact of modification of a river freight transport :
The upper Mississippi - ICERMAN, GOHAGAN, CULLER, in Energy n° 3 - 1979 -
- Moteurs Diesel
Navires Ports et Chantiers n° 355, 1979 p 724 à 735
- Marine Diesel bottoming cycle may save fuel, par M. TARKIR
in Automotive Engineering n° 7, 1979, p 35 à 40
- Les économies d'énergie dans le transports par Jean Philippe PILLET
Thèse de doctorat du 3è cycle, non daté.
- Commissariat général du plan : groupe de travail "Demande d'énergie à long terme" : perspective de la consommation d'énergie dans les transports intérieurs, rapporteur-rédacteur Alain FRYBOURG - Juin 1980 -
- PETROLE 1979 : Elements statistiques de l'activité de l'Industrie pétrolière
Comité Professionnel du Pétrole, 51 boulevard de Courcelles 75008 PARIS
- Energie Verbrauch in güterfernverkehr par Prof. Dr. Ing H.H. HEUSER
in Zeitschrift für Binnenschiffahrt ind Wasserstraßen - 11.1979 -
- Le moteur Diesel lent et l'économie dans la propulsion des navires
par NGO KIM et S. GONDARD
Journée d'étude organisée par la commission "Transport" de la société des ingénieurs scientifiques de France
- Ecole Nationale supérieure des Arts et Industries de Strasbourg
Récupération d'énergie résiduelle à bord d'un bateau pousseur par
M. Gilles DESMOURES - Juin 1978 -

VOIES NAVIGABLES - TRANSPORT MARITIMES

- . Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Cours de navigation intérieure par M. R. TENAUD
Tome 1 : généralités - infrastructures
Tome 2 : exploitation par M. CROUSLE - Edition 1979 -
- . Cours de navigation intérieurs, par M. R. VADOT
Annexe : Ecluses, ouvrages de franchissement des grandes chutes par M. TENAUD
- Edition 1976 -
- . Office National de la Navigation
Statistique annuelle de la navigation intérieure 1979
- . Ports et Navigation modernes par P. BOURRIERES ET J. CHAMEROY
Collection du B.C.E.O.M. - Editions Eyrolles 1977 -
- . Premier colloque français de navigation fluviale - 19.20.21. septembre 1978
à STRASBOURG, publié par le Port Autonome de Strasbourg, 25 rue de la Nuée Bleue
67081 STRASBOURG cedex
 - L'exploitation industrielle d'une flotte poussée par M. R. DAVID
Président du Directoire de la Compagnie Française de Navigation
Rhénane - Strasbourg.
- . Perspectives du transport de marchandises par voies navigables
Conférence prononcée par M. MAYNADIE, Directeur Régional de la Navigation
Rhône-Saône - Conservatoire National des Arts et Métiers - Enseignement
supérieur des Transports, Tome 2.
- . Office National de la Navigation
Service des Etudes Techniques et de l'Organisation
Les voies navigables de l'Est Européen.
- . L'évolution, et ses tendances, de la flotte fluviale dans le bassin du Rhin
par le Prof. Dr. Ing. H.H. HEUSER
Revue de Navigation fluviale européenne (navigation ports et industrie)
25 mai 1979 (p 349) et 10 juil. (p 391)
- . Voies et moyens d'une réduction de la consommation d'énergie dans la navigation
intérieure par le Dr. Ing. H.H. HEUSER, Directeur de la VERSUCHSANSTALT für
BINNENSCHIFFBAU, DUISBOURG in revue de navigation fluviale européenne (Navi-
gation, Ports, Industrie) 10 décembre 1974 (p 698)
- . Comment prendre en compte l'incidence de la variation des prix des carburants
sur le niveau des frets fluviaux - Etude de l'Institut belge pour le transport
par batellerie
in revue de Navigation fluviale européenne (Navigation, Ports, Industrie)
25 novembre 1980 (p 679)
- . Imagination, innovations en pêche : est-ce les conditions de la survie ?
par P. FOUSSAT, Ing. Civil du Génie maritime, in "La pêche maritime"
n° 1233 décembre 1980
- . Fouling release coatings par J.R. GRIFFITH et J.D. BUTHAN
Naval Engineers Journal, (U.S.A.) n° 2, 1980 p 129 à 132.

- . Deuxième colloque français de navigation fluviale
24, 25, 26 septembre 1980 - PARIS -
 - Les groupements d'artisans et l'extension des contrats ; vers une meilleure adaptation des prix aux matériels et aux conditions d'exploitation par M. COUDOUX, Directeur de l'Union Batelière de l'Île de France
 - Conditions du développement de la navigation sur les réseaux européens par M. MEISTERMANN, directeur commercial de la C.F.N.R. (Compagnie Française de Navigation Rhénane)
- . Office National de la Navigation
 - Enquête annuelle sur les prix de revient dans le transport fluvial 1974, 1975, 1977, 1978 et 1979
 - Prix de revient des transports par eau et tarification intérieure 1980
- . Les phénomènes hydrauliques liés au passage d'un bateau dans un canal par P. SAVEY, in La Défense des berges des canaux et rivières, Association Amicale des Ingénieurs Anciens élèves de l'E.N.P.C. septembre 1977
- . Schiffbautechnisches Handbuch par W. HENSCHKE
VEB Verlag. Technik - Berlin
- . Cours de statique du navire : E.N.S. du Génie Maritime par M. KATZ
ingénieur Général de l'armement
- . Ecole Nationale supérieure des Techniques avancées
Connaissance du navire - Théorie du Navire R. SERVIÈRES 1970
- . Les Microcentrales hydroélectriques sur les voies navigables - MM PETITJEAN, M. LEMAIRE - Service technique central des ports maritimes et des voies navigables.

VOIES NAVIGABLES - OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DES CHUTES

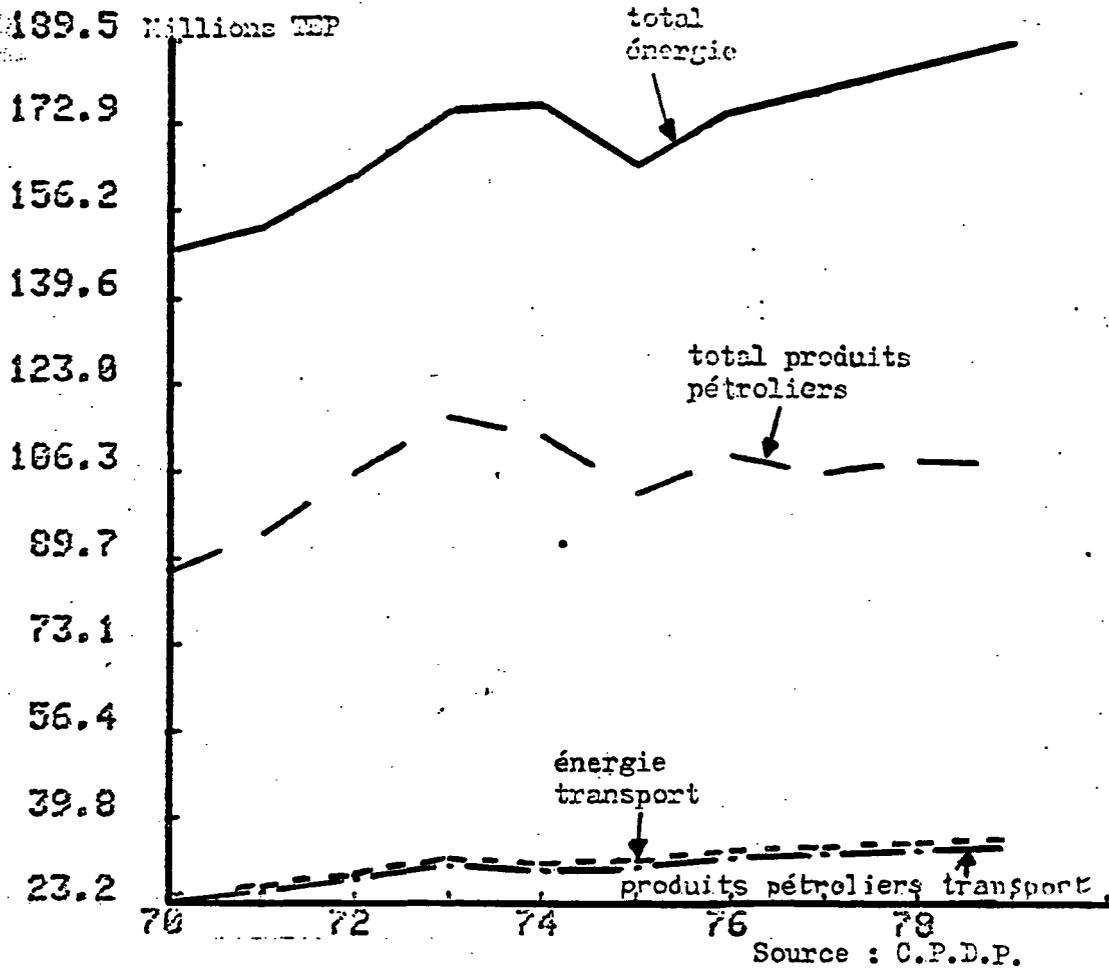
- . Le plan incliné transversal du canal de la Marne au Rhin
par R. DESCOMBES, R. GRUNER, B. PERRY, in Revue "Travaux" Juillet Aout 1969
- . Plaquette : sur le canal de la Marne au Rhin, le Plan incliné transversal d'Arzwiller - Saint-Louis remplace 17 écluses.
Editions de la Navigation du Rhin - Strasbourg 1970.
- . Le canal de Charleroi à Bruxelles et le plan incliné de Ronquières
par G. WILLEMS, in Revue de Navigation intérieure et Rhénane 10 septembre 1968
- . Le plan incliné de Ronquières et son équipement électromécanique
Revue de Navigation Intérieure et Rhénane 10 septembre 1968 (p 537 - 538)
- . Ouvrages de franchissement des grandes chutes en U.R.S.S.
Revue de Navigation Intérieure et Rhénane - 10 février 1968 (p 747)

- Le prix des pentes d'eau par J. AUBERT
Revue de Navigation Intérieure et Rhénane (Navigation, Ports et Industrie)
n° 9 du 10 mai 1973 (p 291 à 296)
- La pente d'eau de Montech par P. CHAUSSIN et M. CANCELLONI,
Revue de Navigation Intérieure et Rhénane (Navigation Ports et Industries)
n° 9 du 10 mai 1973 (p 297 à 305)
- Les ouvrages de franchissement des grandes chutes par R. Tenaud
Revue Travaux - Février 1972 -
- La pente d'eau remplacera-t-elle l'écluse ? par J. AUBERT
Editions de la Navigation du Rhin - Strasbourg 1974

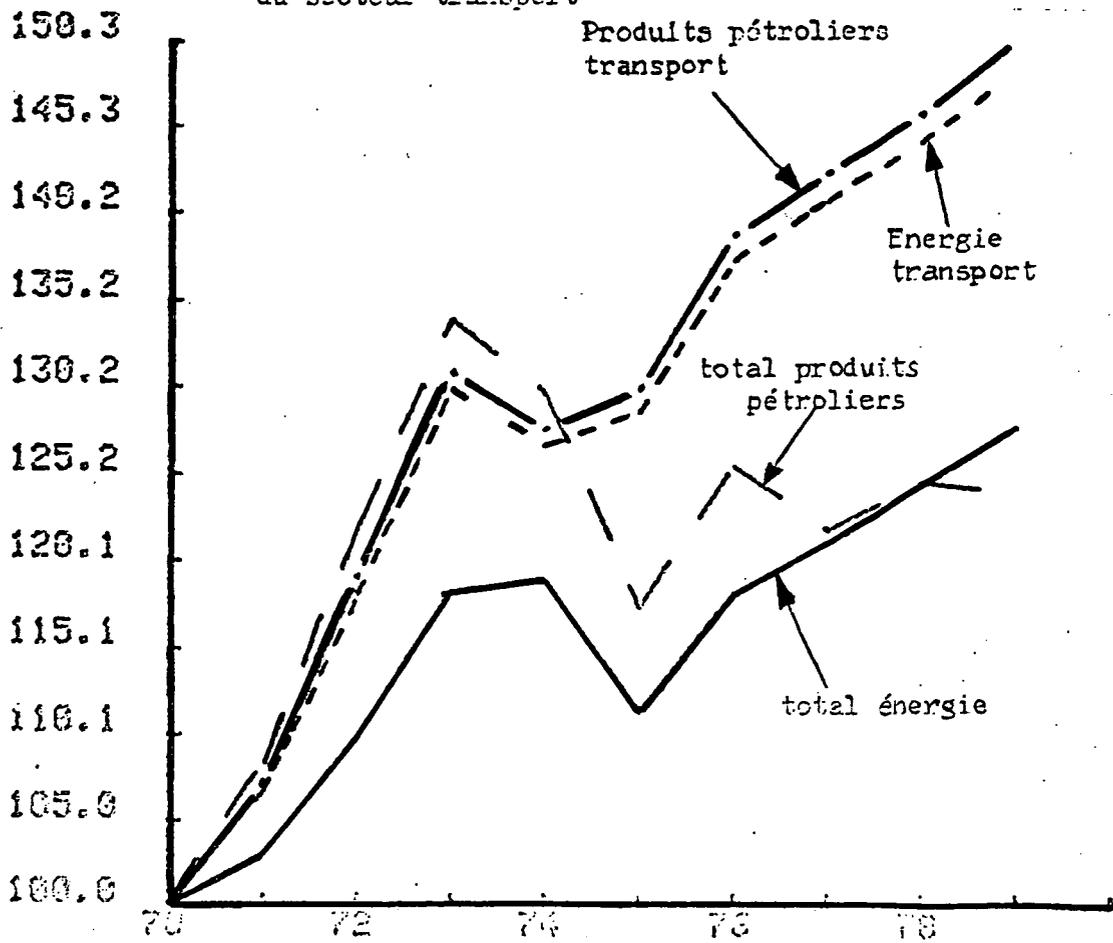
Autres ouvrages déponillés

- Ministère des transports
D.G.T.I. , D.T.T.
Cycle d'études 1979-1980 sur les voies navigables
- CERLIC (Centre d'Etudes et de Recherches de logistique industrielle et
Commerciale) 46, rue Troyan 92310 SEVRES
Recherches de créneaux pour la navigation fluviale - Novembre 1979 -
- U.S. Maritime Administration
Domestic Waterborne trade of the United States 1965-72
Washington US. G.P.O.
- Les Navires économes et performants commandés par la S.N.C.D.V. aux Chantiers
de l'Atlantique in Navires Ports et Chantiers n° 361 - 1980 - p333 à 337
- Nuclear Maritime propulsion - Where is it ? A.O. WINNAL ET S.H. ELSLEECK
in Institution of Marine Engineers n° 10 1979 p 182 à 187
- Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN)
Bilan technico-économique de produits substituables - Janvier 1978 -
- Journal Officiel de la République Française - Avis et Rapports du Conseil
Economique et Social
La contribution de l'agriculture à la politique énergétique française Mars 1981
- Les Service des Canaux du Midi et Latéral à la Garonne
Données actuelles sur la Modernisation du Canal du Midi - septembre 1979 -

GRAPHE 1 : La consommation du secteur transport dans l'ensemble de l'énergie consommée en France



GRAPHE 2 : Evolution en indice de la part de la consommation du secteur transport



Ventilation des consommations d'énergie dans les transports depuis 1970
(en millions de tonnes-équivalent-pétrole -lubrifiants non compris)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Transport routier	16,338	17,846	19,642	21,600	21,220	22,056	23,554	24,267	25,513	26,184
essence et super	11,514	13,020	14,242	15,517	14,936	15,681	16,500	16,730	17,333	17,446
gasole	4,424	4,826	5,400	6,083	6,284	6,385	7,054	7,537	8,180	8,738
Transport ferroviaire et RATP	1,986	1,890	2,040	2,136	2,146	2,053	2,114	2,106	2,150	2,174
gasole	0,039	0,039	0,040	0,039	0,040	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045
F.O. domestique	0,439	0,436	0,598	0,646	0,667	0,647	0,626	0,615	0,614	0,615
F.O. lourd	0,213	0,118	0,049	0,029	0,017	0,013	0,010	0,008	0,007	0,004
électricité	1,295	1,297	1,353	1,422	1,422	1,362	1,436	1,440	1,485	1,510
Transport aérien	1,544	1,552	1,754	1,860	1,867	1,913	2,052	2,168	2,308	2,500
essence	0,054	0,050	0,045	0,048	0,038	0,037	0,038	0,036	0,037	0,034
carburacteur	1,490	1,502	1,709	1,812	1,829	1,876	2,014	2,132	2,271	2,466
Transport maritime	3,887	4,118	4,825	5,480	5,047	4,705	5,213	5,233	4,675	4,851
diésel marine	0,661	0,570	0,622	0,720	0,636	0,642	0,704	0,825	0,764	0,669
F.O. lourd	3,226	3,548	4,203	4,760	4,411	4,063	4,509	4,408	3,911	4,182
Voie navigable										
F.O. léger	0,225	0,250	0,225	0,225	0,225	0,195	0,202	0,198	0,203	0,160
Divers (1)	0,472	0,445	0,446	0,456	0,487	0,521	0,464	0,456	0,418	0,446
TOTAL	24,452	26,107	28,932	31,757	30,992	31,463	33,599	34,428	35,267	36,315

Source : C.F.D.P.

(1) comprend les bateaux de pêche et les côtiers
ne comprend pas les oléoducs.

spécifications du gasoil et des fuel-oils distribués sur le marché français

CARACTERISTIQUES		GASOIL	FUEL-OILS			
			Domestique	Léger spécial BTS	Lourd n° 1	Lourds n° 2
COULEUR		≤ 5 (1)	Rouge	Noire		
VISCOSITE (en cSt)	20° C	Min. - Max. 9,5	- 9,5	> 9,5 -		
	50° C	Min. - Max. -	- -	- 15	> 15 110	> 110 < 380
POINT D'ECLAIR	Min.	55° C	55° C	70° C	70° C (3)	70° C (3)
	Max.	120° C	-	-	-	-
POINT D'ECOULEMENT	du 1.10 au 31.3	- 12° C	- 6° C	0° C		
	du 1. 4 au 30.9	- 7° C	- 3° C			
DISTILLATION	250° C	< 65 %	< 65 %	< 65 %	< 65 %	< 65 %
	350° C	≥ 85 %	-	< 85 %	< 85 %	< 85 %
SOUFRE	Max.	0,5 % (2)	0,5 % (2)	1 %	2 %	4 % (ord.) 2 % (BTS) 1 % (TBTS)
EAU	Max.	Traces	0,10 %	0,5 %	0,75 %	1,5 %
SEDIMENTS		0				
EAU + SEDIMENTS	Max.		0,10 %			
CENDRES		Traces				
ACIDITE FORTE		0				
CONRADSON (sur résidu 10 %)	Max.		0,35 %			
INDICE DE CETANE	Min.	50	40			
MASSE VOLUMIQUE	15° C	Min. 0,810 kg/l. Max. 0,890 kg/l.	- -			

(1) Le gasoil ne peut être livré en franchise à l'avitaillement des navires que s'il a été, au préalable, additionné de colorant et de deux agents traceurs (arrêté du 22-4-1971 - J.O. du 28-4-1971).

(2) A partir du 1er septembre 1980, la teneur en soufre sera ramenée à 0,3 %.

(3) Pour les livraisons destinées à la pêche (bateaux de jauge ≥ 500 tonnaux) et aux soutes le minimum est de 60°C.

RECENSEMENT DES POSTES AVITAILLEURS EN CARBURANT DES BATEAUX
DE NAVIGATION INTERIEURE

Quantités délivrées au cours de l'année 1979 par Directions Régionales

DIRECTIONS REGIONALES	Volume en m ³ délivré à la batellerie					Pourcentage par rapport à l'année 1978	Observations
	Rappel A N N E E 1978	A N N E E 1979					
		1er semestre	3ème trimestre	4ème trimestre	TOTAL de l'année		
- PARIS	45 702	27 661	9 933	13 837	51 431	+ 12,5	
- ROUEN	27 799	15 490	4 511	5 800	25 801	- 7,2	
- STRASBOURG	3 397	1 545	536	700	2 781	- 18,1	
gasoil détaxé	15 194	10 193	6 134	6 579	22 906	+ 50,8	
- LILLE	16 555	20 706	3 964	6 177	30 847	+ 86,3	
- NANCY	6 857	3 538	1 736	1 799	7 073	+ 3,2	
gasoil détaxé	1 975	1 839	1 034	1 132	4 005	+102,8	
- LYON	10 565	5 498	2 928	3 195	11 621	+ 10,0	
- TOULOUSE	806	451	194	243	888	+ 10,2	
- NEVERS	804	384	194	280	858	+ 6,7	
Total fuel domestique	112 485	75 273	23 996	32 031	131 300	+ 16,7	
Gasoil détaxé	17 169	12 032	7 168	7 711	26 911	+ 56,7	
TOTAL GENERAL	129 654	87 305	31 164	39 742	158 211	+ 22,0	
	103 723				126 568		

Estimation depuis l'année 1970
de la consommation totale en Fuel. oil
des Bateaux de Navigation Intérieure
circulant :

24 février 1981

- I - Sur les voies autres que le Rhin et la Moselle
II - Sur le Rhin et la Moselle

Source: O. N. N.

Unité: millions de Tonnes

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
<u>I Voies autres que le Rhin et la Moselle</u>												
1° <u>Tous bateaux poussés</u>	23,1	24,4	26,8	28,1	27,5	25,6	29,5	27,2	27,0	28,3	29,0	
2° <u>Automoteurs de rivière</u>												
a) citernes	8,4	8,0	7,8	7,6	6,8	5,9	6,2	5,3	5,7	6,6	6,0	
b) non citernes	5,3	4,9	4,9	4,6	5,4	4,8	4,7	4,8	4,7	4,9	5,4	
<u>Total (a+b)</u>	13,7	12,9	12,7	12,2	12,2	10,7	10,9	10,1	10,4	11,5	11,4	
3° <u>Automoteurs de canal</u>												
a) citernes	8,5	8,3	8,5	7,2	6,8	5,3	6,2	6,0	5,8	6,0	6,0	
b) non citernes	86,7	83,5	85,3	77,7	75,7	61,3	60,1	50,7	56,4	56,2	58,4	
<u>Total (a+b)</u>	95,2	91,8	93,8	84,9	82,5	66,6	66,3	56,7	62,2	62,2	64,4	
<u>Total I (1°+2°+3°)</u>	132,0	129,1	133,3	125,2	122,2	102,9	106,7	94,0	99,6	102,0	104,8	
<u>II Rhin et Moselle (fuel oil de marine)</u>	22,9	21,2	21,0	23,1	24,3	22,5	20,9	22,9	12,6	22,3	22,0	
<u>Total général (I + II)</u>	154,9	150,3	157,3	148,3	146,5	125,4	127,6	116,9	112,2	124,3	126,8	
Indices	100	97,0	99,6	95,7	94,6	80,9	82,4	75,5	72,4	80,2	81,8	

Consommation totale en Fuel. oil.
des Bateaux de Navigation intérieure

circulant :

- I Sur les voies autres que le Rhin et la Moselle
- II Sur le Rhin et la Moselle

Source : O.N.N. Analytiques
Base : T. Km de 1980

Unités : millions de T.Km
milliers de Tonnes
grammes à la T.Km

	Tommes. kilomètres (en millions)	Consommation à la T.Km (en grammes)	Consommation Totale (milliers de Tonnes)
	-1-	-2-	-3- = 1 X 2-
<u>I Voies autres que le Rhin et la Moselle</u>			
1° <u>Tous bateaux nouveaux</u>	3.415,0	8,5	29,0
2° <u>Automoteurs de rivière</u>			
a) citernes	465,3	13,0	6,0
b) non citernes	829,6	6,5	5,4
<u>Total (a+b)</u>	1294,9		11,4
3° <u>Automoteurs de canal</u>			
a) citernes	366,9	16,3	6,0
b) non citernes	4711,7	12,4	58,4
<u>Total (a+b)</u>	5078,6		64,4
<u>Total (1°+2°+3°)</u>	9.788,5		104,8
<u>II Rhin et Moselle</u> (fuel. oil usages)			
			22,0 (1)
<u>Total Général (I+II)</u>	12.150,6		126,8

d'après les déclarations des distributeurs consultés
la consommation totale aurait été pour l'année 1980 de

(1) estimation à partir des Tonnes. kilomètre

Consommation totale en fuel. oil
des Bateaux de Navigation Interieure

circulent:

- I. sur les voies autres que le Rhin et la Moselle
- II. sur le Rhin et la Moselle

Source : O.N.N. analytiques
Base : T.Km de 1979

Unités : millions de T.Km.
milliers de tonnes
grammes à la T.K.

	Tonnes-kilomètres (en millions) -1-	Consommation à la T.Km. (en grammes) -2-	Consommation Totale (en millions de tonnes) -3- = 1 x 2-
<u>I Voies autres que le Rhin et la Moselle</u>			
1° Tous bateaux poussés	3.326,3	8,5	28,3
2° Automoteurs de rivière			
a) citernes	509,1	13,0	6,6
b) non citernes	748,9	6,5	4,9
<u>Total (a+b)</u>	<u>1.258,0</u>		<u>11,5</u>
3° Automoteurs de Canal			
a) citernes	370,6	16,3	6,0
b) non citernes	4535,8	12,4	56,2
<u>Total (a+b)</u>	<u>4.906,4</u>		<u>62,2</u>
<u>Total I (1°+2°+3°)</u>	<u>9.490,7</u>		<u>102,0</u>
<u>II Rhin et Moselle</u> (fuel. oil detaxe)	Renseignements obtenus auprès des D.R. de Strasbourg et de Nancy		<u>22,3</u>
<u>Total Général (I+II)</u>	<u>11.897,9</u>		<u>124,3</u>
D'après les déclarations des distributeurs consultés la consommation totale aurait été pour l'année 1979 de ----->			<u>123,0</u>

fuel-oil domestique (prix à paris)

Les tableaux ci-après résument, pour la période 1949-1970, les changements de cours intervenus ; depuis 1970, tous les changements de prix ont été indiqués.

Pour connaître l'évolution exacte des structures de prix au cours de ces périodes, on pourra se reporter à la note d'information économique n° 118 « Evolution des prix de vente des fuel-oils en France », éditée par le C.P.D.P.

Les prix sont exprimés en anciens francs par tonne jusqu'à fin 1959, en francs actuels par tonne à partir du 1er janvier 1960, en francs à l'hectolitre à compter du 1er février 1962).

Dates de changement de prix	TTC	Hors taxes	Taxes %	TTC	Hors taxes	Taxes %
Livraisons inférieures à 12 tonnes						
1950 3 avril	14 170	13 795	2,6			
1955 1er janvier	18 110	16 331	9,8			
1960 1er janvier	225,80	208,03	7,9			
Livraisons de 1 000 à 4 999 litres (tarif C1)						
1965 1er janvier	17,80	16,50	7,3			
1970 1er janvier	24,34	18,67	23,3			
1er mai	24,10	18,47	23,4			
1er août	24,10	18,47	23,4			
5 novembre	25,00	19,24	23,0			
Livraisons de 2 000 à 4 999 litres (tarif C1)						
1971 1er février	26,70	20,68	22,5			
1er mars	27,80	21,62	22,2			
1er mai	29,80	23,32	21,7			
1er août	30,30	23,75	21,6			
1er novembre	30,60	24,00	21,6			
1972 2 février	29,60	23,15	21,8			
1er mai						
1er août	29,20	22,81	21,9			
1973 3 février	29,40	22,98	21,8			
6 juin	29,00	22,64	21,9			
15 juin						
27 octobre	36,40	28,93	20,5			
1974 11 janvier	53,00	43,05	18,8	33,40	26,38	21,0
15 juin	55,10	44,83	18,6	48,90	39,56	19,1
14 août	57,50	46,79	18,6	50,30	40,75	19,0
1er octobre	58,30	47,47	18,6	52,70	42,71	19,0
1975 1er janvier	60,70	49,28	18,8	52,90	42,88	18,9
1er avril	57,70	46,96	18,6	54,50	44,24	18,8
4 juin	56,50	45,94	18,7	51,50	41,69	19,0
15 septembre	60,50	49,35	18,4	50,30	40,67	19,1
15 décembre	67,20	55,04	18,1	54,30	44,07	18,8
1976 17 mai	69,00	56,57	18,0	60,90	49,69	18,4
24 septembre	73,00	59,97	17,8	62,40	50,96	18,3
1977 11 février	77,90	64,14	17,7	66,40	54,36	18,1
14 octobre	80,60	66,33	17,7	70,90	58,19	17,9
1978 1er février	80,60	64,97	19,4	73,60	59,02	19,8
23 juin	89,00	64,97	27,0	82,00	59,02	28,0
4 novembre	89,00	62,91	29,3	82,00	56,96	30,5
1979 3 janvier	91,00	62,93	30,9	84,00	56,98	32,2
10 février	98,20	69,00	29,7	90,20	62,20	31,0
5 mai	103,20	73,26	29,0	95,20	66,45	30,2
23 juin	109,10	78,27	28,3	101,10	71,47	29,3
4 août	119,10	86,78	27,1	109,90	78,95	28,2
1er décembre	122,20	89,41	26,8	113,00	81,59	27,8
1980 4 janvier	141,20	105,57	25,2	132,00	97,74	26,0
22 février	152,20	114,92	24,5	141,40	105,74	25,2

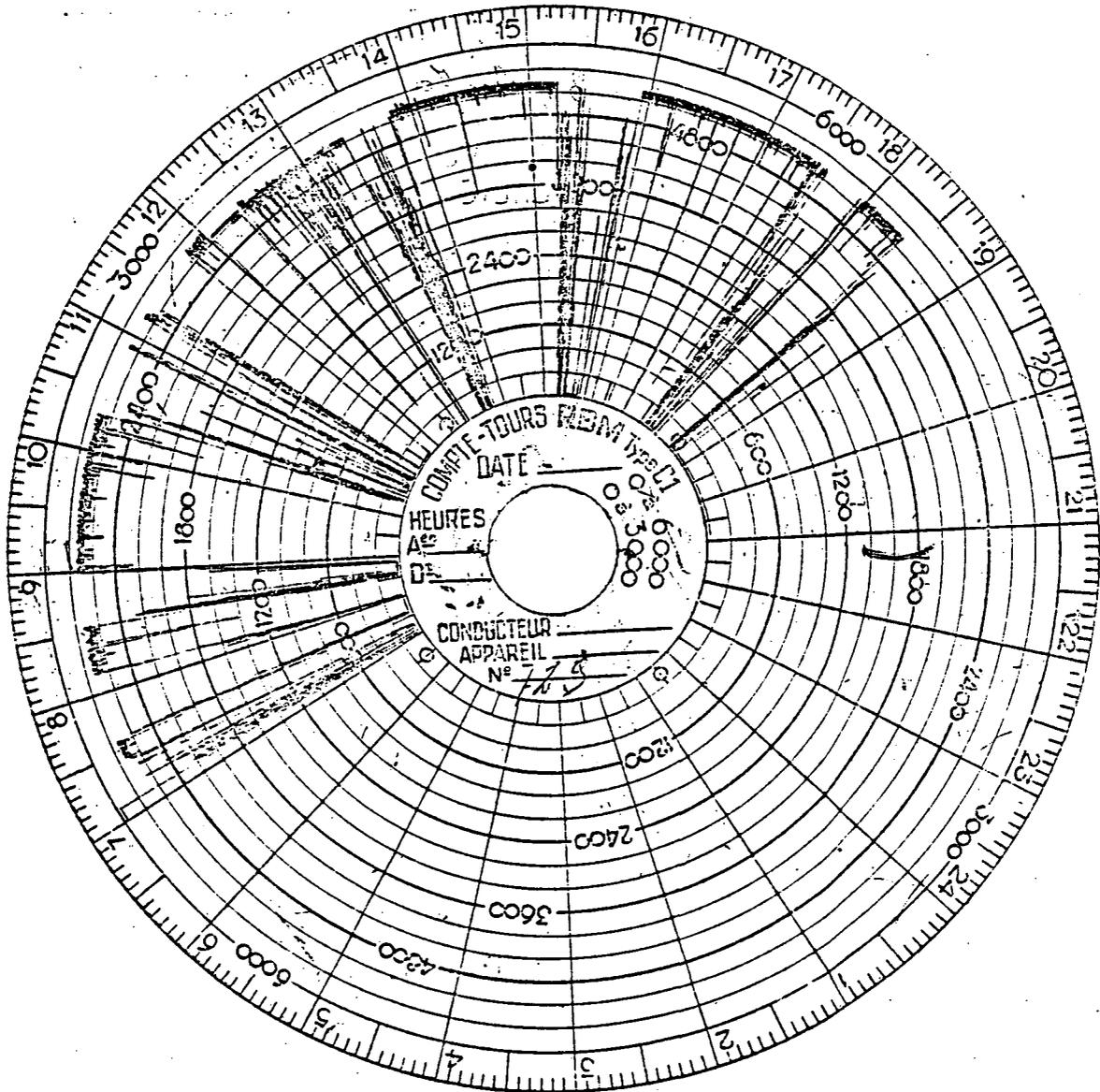
(1) Création d'un échelon C4 à compter du 27 octobre 1973.

2) évolution de la structure des prix en 1979 (prix de vente à paris)

Eléments	2-9-78	3-1-79	10-2-79	5-5-79	23-6-79	4-8-79	1-12-79	4-1-80	22-2-80
	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.	F/hl.
ESSENCE-AUTO (1)									
a) Prix ex-raffinerie	54,84	56,59	54,88	64,03	70,90	79,59	82,28	98,27	102,88
b) Taxe intérieure	125,16	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37
c) Taxe Econom. d'Énergie	6,86	—	—	—	—	—	—	—	—
d) Fonds de soutien	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
e) IFP	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
f) Distribution	22,67	22,68	24,34	25,54	25,32	25,14	25,00	25,16	27,36
g) Hors TVA	210,88	215,99	215,99	225,34	232,99	241,50	244,05	260,20	267,01
h) TVA	37,12	38,01	38,01	39,66	41,01	42,50	42,95	45,80	46,99
i) TTC (g + h)	248,00	254,00	254,00	265,00	274,00	284,00	287,00	306,00	314,00
j) (b + c + d + e + h)	170,49	174,73	174,78	176,43	177,78	179,27	179,72	182,57	183,76
SUPERCARBURANT (1)									
a) Prix ex-raffinerie	61,54	63,29	61,58	71,07	78,20	86,80	89,49	105,48	110,09
b) Taxe intérieure	133,17	144,23	144,23	144,23	144,23	144,23	144,23	144,23	144,23
c) Taxe Econom. d'Énergie	6,86	—	—	—	—	—	—	—	—
d) Fonds de soutien	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
e) IFP	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
f) Distribution	24,97	24,97	26,63	26,50	27,02	26,92	26,78	26,95	29,14
g) Hors TVA	227,89	233,84	233,84	243,20	250,85	259,35	261,90	278,06	284,86
h) TVA	40,11	41,16	41,16	42,80	44,15	45,65	46,10	48,94	50,14
i) TTC (g + h)	268,00	275,00	275,00	286,00	295,00	305,00	308,00	327,00	335,00
j) (b + c + d + e + h)	181,49	186,74	186,79	188,43	189,78	191,28	191,73	194,57	195,77
GASOIL (1)									
	23-6-78								
a) Prix ex-raffinerie	50,57	50,57	55,63	59,49	64,70	72,10	74,79	90,89	98,29
b) Taxe intérieure	67,61	76,12	76,12	76,12	76,12	76,12	76,12	76,12	76,12
c) IFP	0,21	0,21	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
d) Distribution	19,37	19,36	20,30	21,44	21,33	21,59	21,45	21,51	23,46
e) Hors TVA	137,76	146,26	152,21	157,31	162,41	170,07	172,62	188,78	198,13
f) TVA	24,24	25,74	26,79	27,69	28,59	29,93	30,38	33,22	34,87
g) TTC (e + f)	162,00	172,00	179,00	185,00	191,00	200,00	203,00	222,00	233,00
h) (b + c + f)	92,06	102,07	103,17	104,07	104,97	106,31	106,76	109,60	111,25
FUEL-OIL DOMESTIQUE (2)									
	4-11-78								
a) Prix ex-raffinerie	51,05	51,05	55,72	59,68	64,70	72,10	74,79	90,89	98,29
b) Taxe intérieure	10,37	14,11	14,11	14,11	14,11	14,11	14,11	14,11	14,11
c) Taxe Econom. d'Énergie	2,06	—	—	—	—	—	—	—	—
d) IFP	0,34	0,34	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
e) Distribution	11,86	11,88	13,28	13,58	13,57	14,68	14,62	14,68	16,63
f) Hors TVA	75,68	77,38	83,50	87,76	92,77	101,28	103,91	120,07	129,42
g) TVA	13,32	13,62	14,70	15,44	16,33	17,82	18,29	21,31	22,78
h) TTC (f + g)	89,00	91,00	98,20	103,20	109,10	119,10	122,20	141,20	152,20
i) (b + c + d + g)	26,09	28,07	29,20	29,94	30,83	32,32	32,79	35,63	37,28

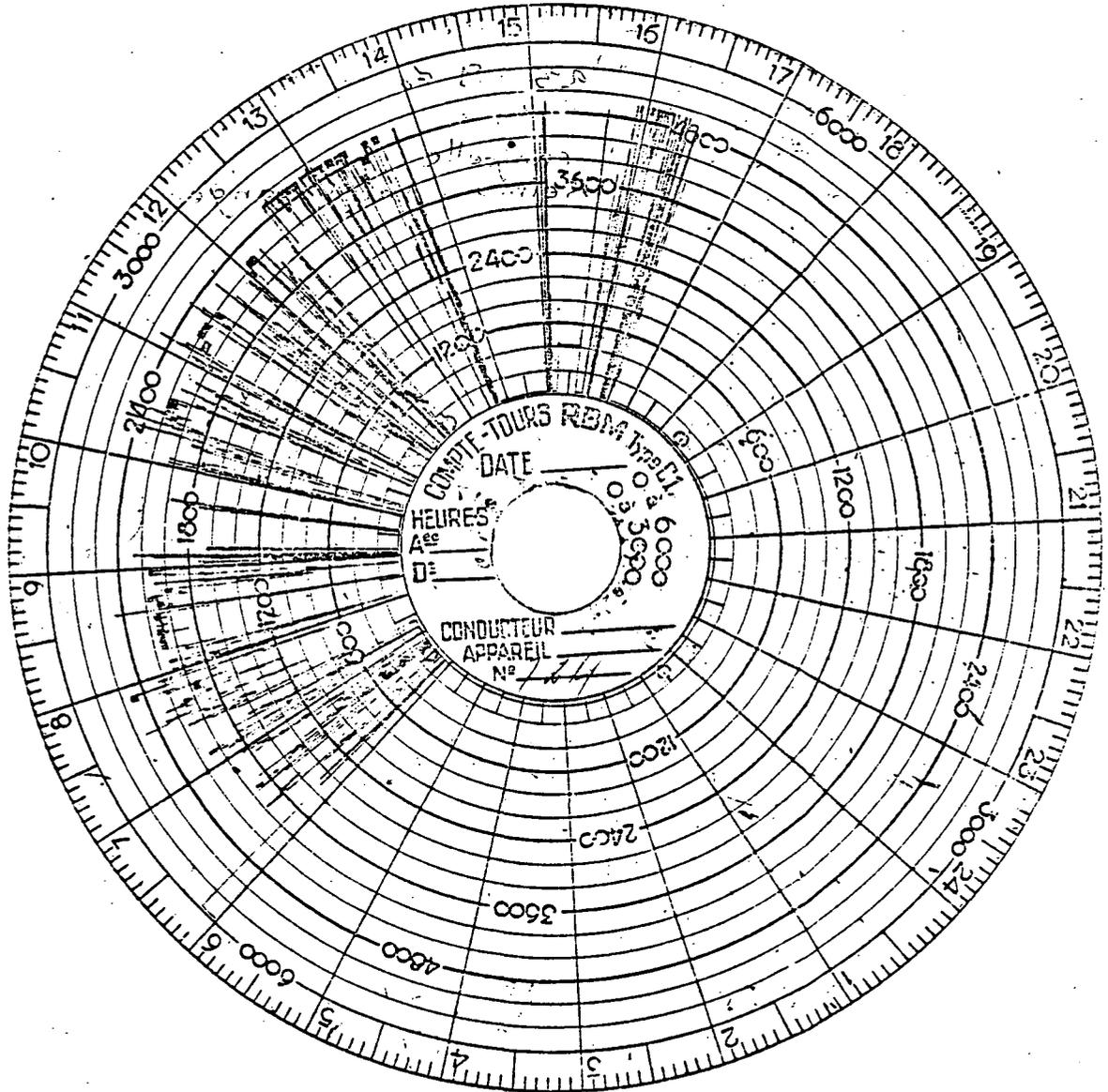
(1) Prix d'affichage à la pompe à Paris (zone C depuis le 10 février 1979, zone D auparavant).
(2) Prix à Paris (zone D) par livraisons unitaires de 2 à 5 m³ (tarif C 1).

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



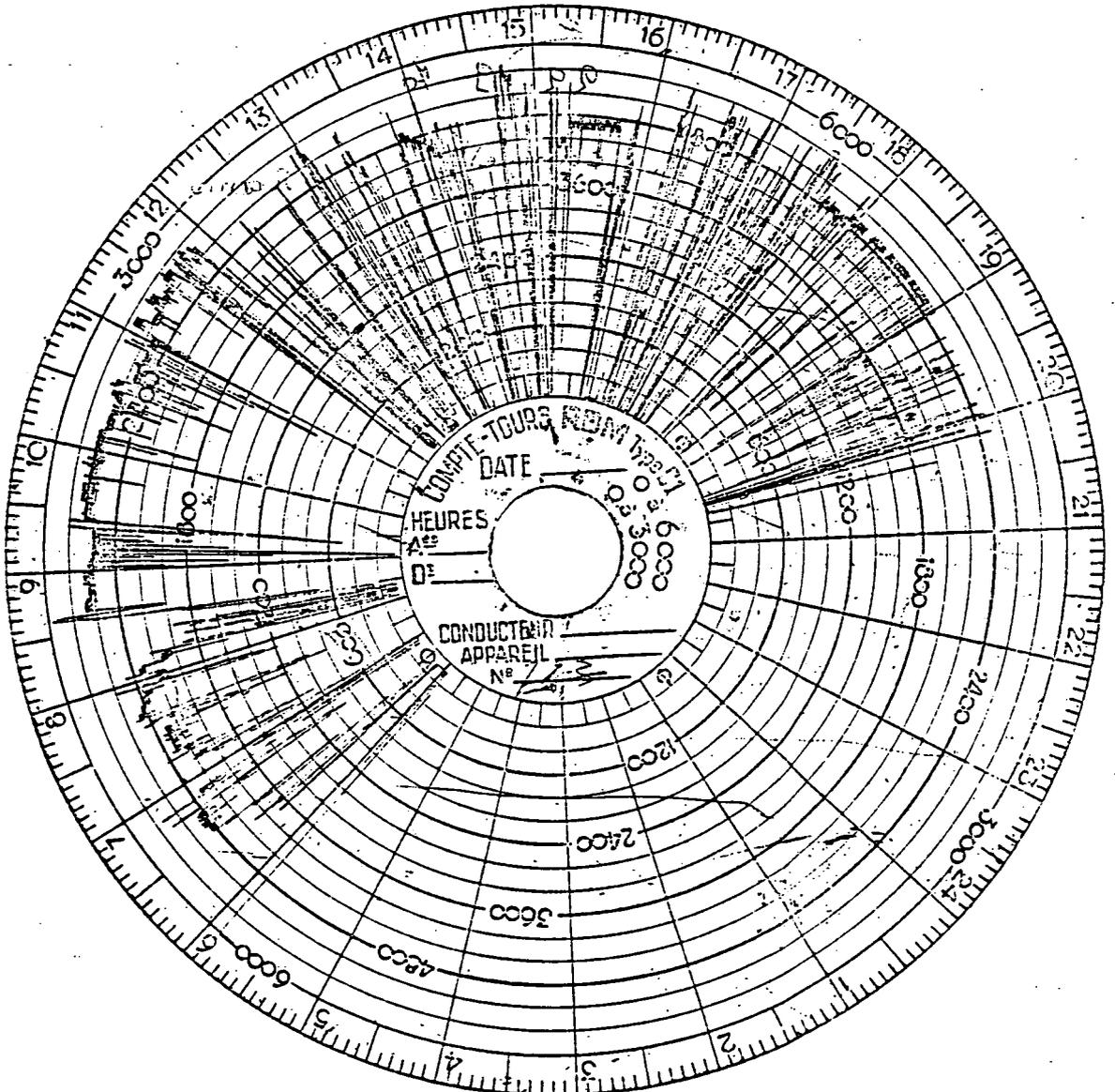
Parcours Achères - Creil (Oise canalisée)

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



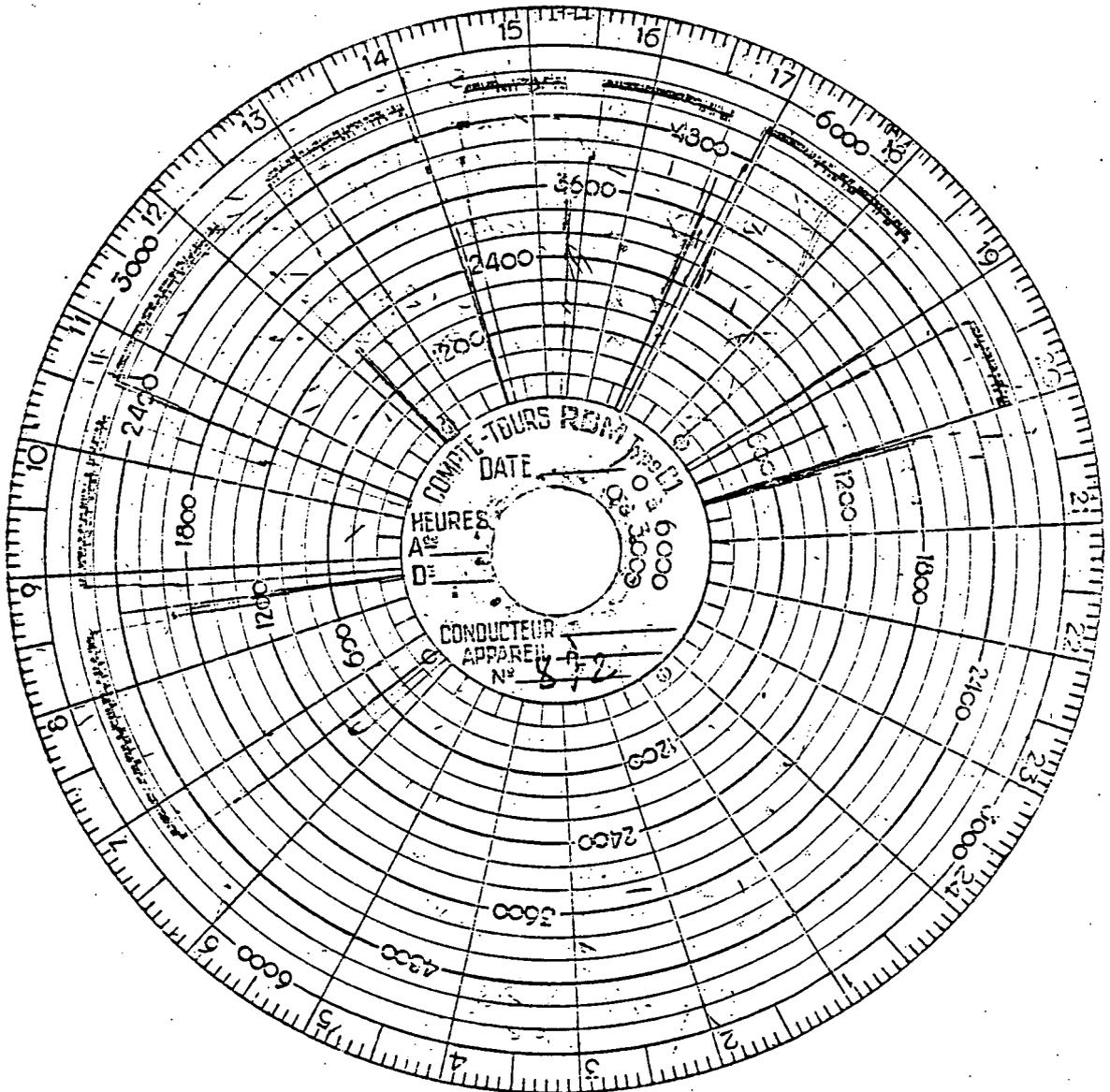
Parcours Reims - Vaudemange - (canal de l'Aisne à la Marne)

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



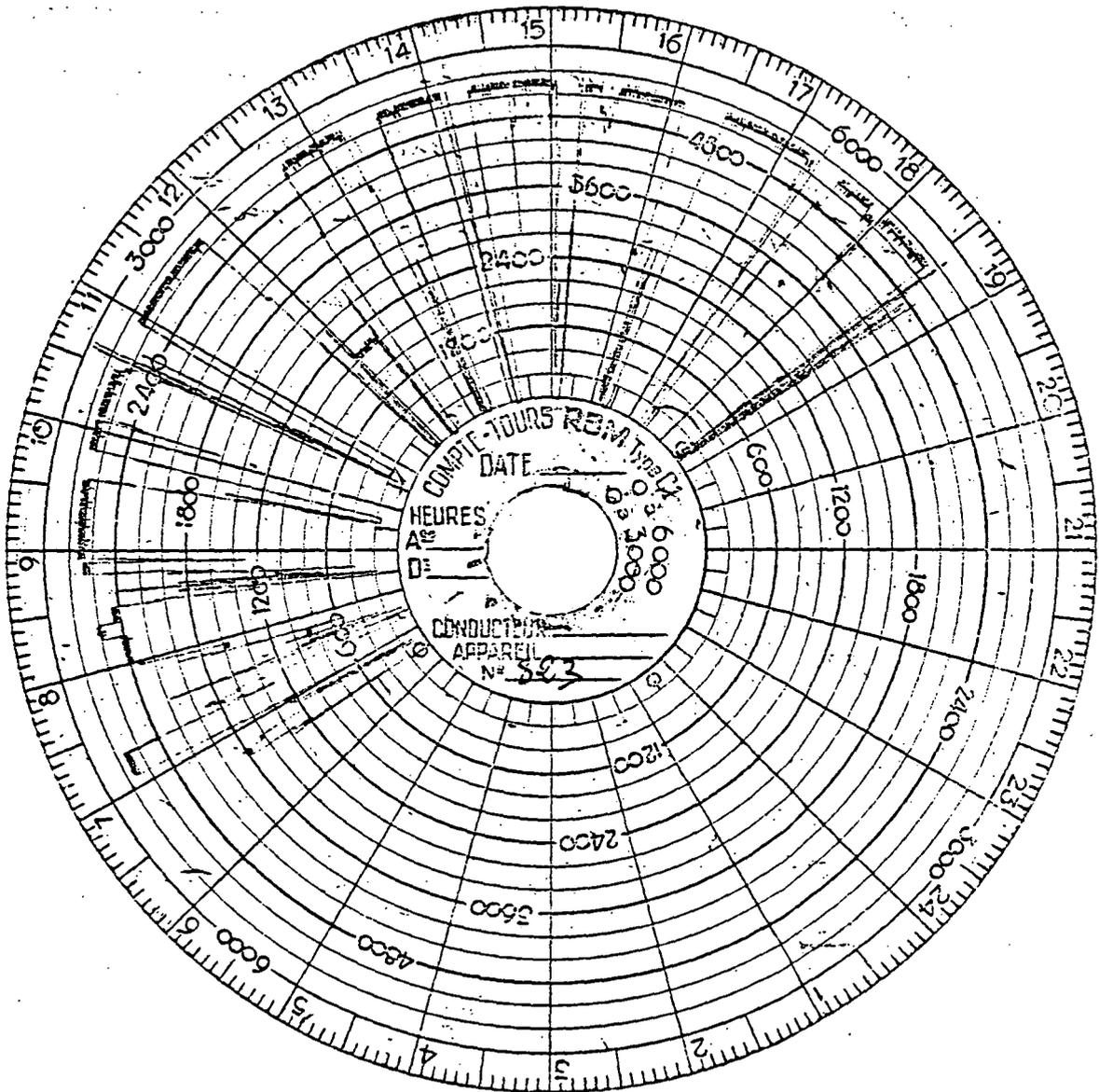
Parcours Saint Audebert - Reims

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



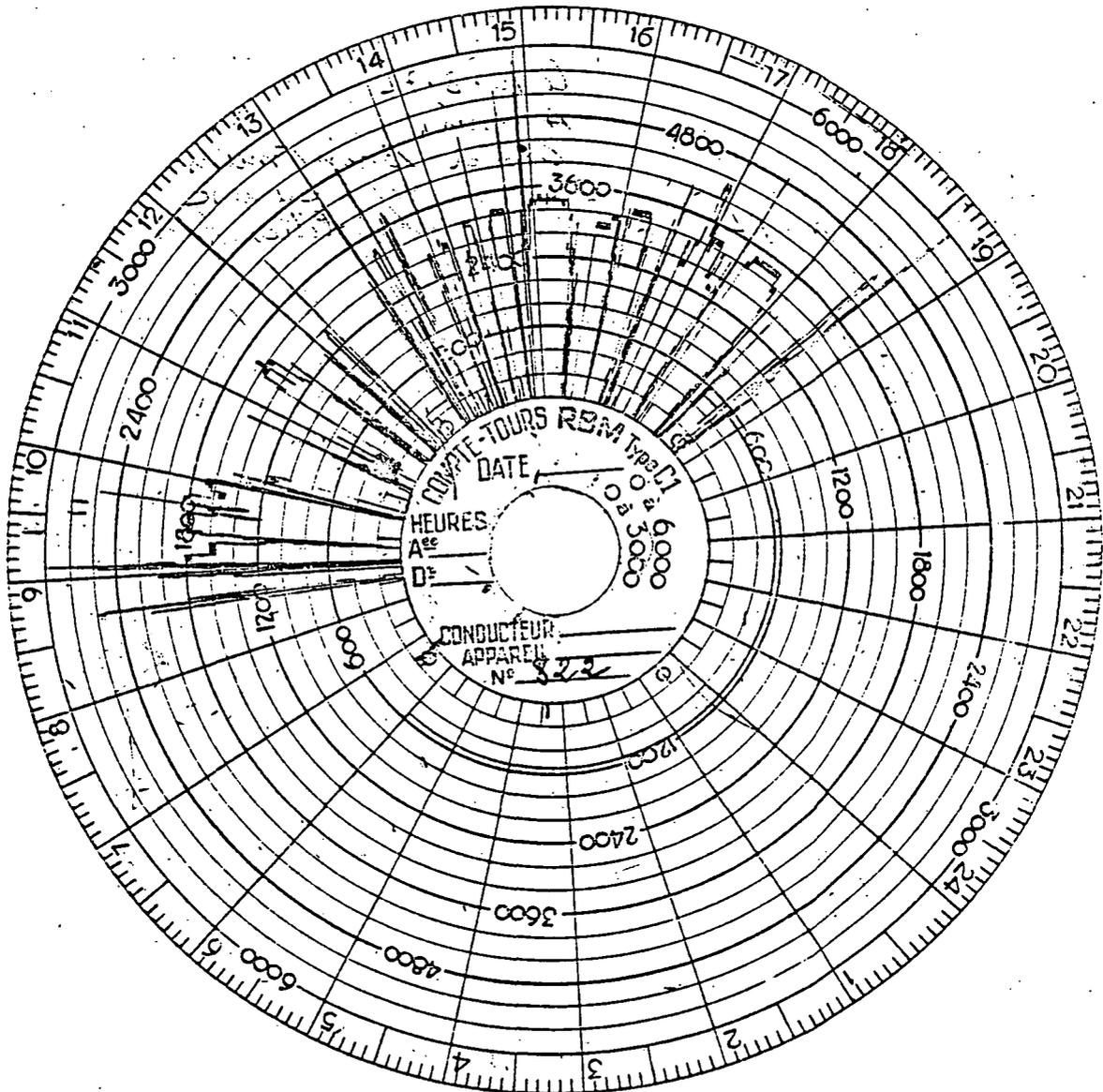
Parcours Meaux - Mont Saint Père (Marne)

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



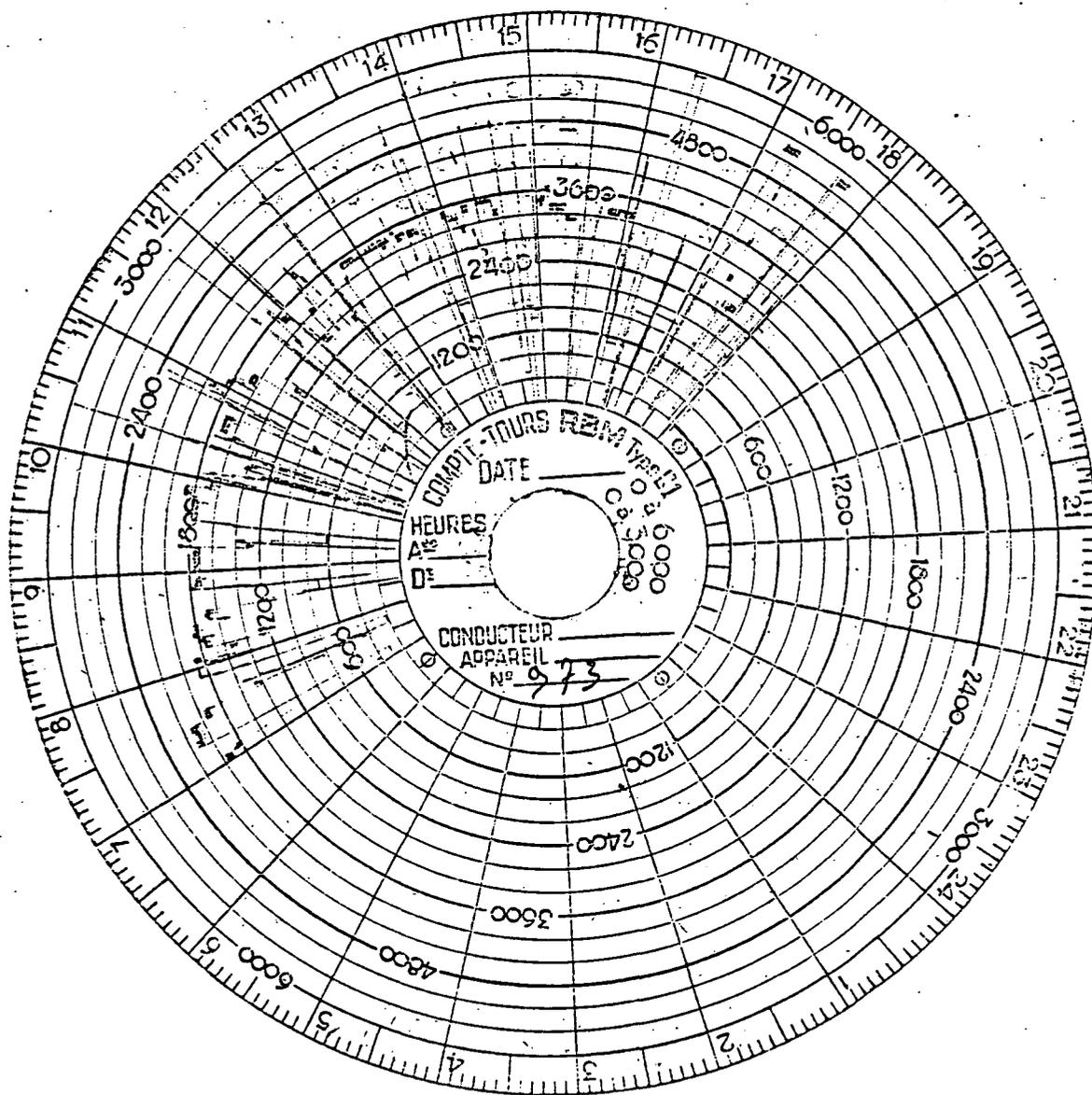
Parcours Vandières - Germigny (Marne canalisée)

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



Parcours Sept Raulx Vandières (canal de l'Aisne à la Marne et Marne)

RELEVÉ CHRONOTACHYGRAPHIQUE



Parcours Soulange - Damery (canal latéral à la Marne)

CONSOMMATIONS de FUEL (exercice 1978)

Tonnes Kilom. par litre de fuel

BATEAU	C	Largeur	Enf ^t	S. m ²	TKM par litre	Indice	Sens du trafic	Tonnes
1 RAMSES	165	5	2,6	13,00	59.03	100	Montant	370
2 CALYSO	680	7.88	3.0	23.60	74.28	122	"	1 800
3 SCARE	400	7.95	3	23.8	76.09	129	"	1 200
4 FOEHN	250	7.55	2	15.1	83.50	141	Avalant	680
5 FALKLAND	430	7.98	3	23.94	94.06	159	Montant	1 800
6 SOTRAF	450	7.85	3	23.55	95.93	163	"	1 800
7 GIMA	150	5	2.5	12.5.	98.84	167	"	750
8 BAIKAL 4	275	5	2.6	13.0	105.8	179	"	1 200
9 LUNAIN	150	5	2	10	111.5	189	Avalant	655
10 BAIKAL 2	300	5	2.6	13.0	123.4	209	Montant	1 200

Références : 1.- 38,50 m isolé parcours Basse-Seine - Bondy (en partie sur canal)

2.- Pousseur de 2 x 340 ch et 2 barges de 53,60 x 7,88 en flèche

3.- Automoteur de 38,50 m poussant un chaland de 900 T

4.- Automoteur de Seine

5.- Automoteur de 38,50 m (2moteurs) poussant 2 chalands en flèche

largeur du 1er chaland : 5,70 m

largeur du 2^e chaland : 7,50 m

6.- Pousseur de 450 ch et 2 barges en flèche - largeur 7,85 m

7.- Automoteur de 38,50 m poussant 1 barge de 38,50 m

8.- Automoteur de 38,50 m poussant 2 barges de 38,50 m en flèche

9.- Automoteur de 38,50 m poussant 1 barge de 38,50 m

10.- Automoteur de 38,50 m poussant 2 barges de 38,50 m en flèche

Compagnie des Sablières et Entreprises Morillon-Carvol
 Consommations 1980 (8 mois).

Unités	Consommation (Millions de litres)	t. km (Millions)	ℓ/t.km	Puissance totale des unités	Convois (tonnage) unitaire	Rendement (t/ch)
Pousseur 24 m	1	82	0,0122	4710	12000	2,5
Pousseur 13 m	0,39	25	0,0157	1380	4320	3,13 (Haute Seine)
54 m	0,28	15	0,0185	1780	4500	2,5
50 m	0,16	7	0,0235	800	2600	3,25 (Haute Seine)
38,5 m	0,26	17	0,0152	≈ 1500	2880	1,92 Marne (Haute Seine)
80 m	0,63	51	0,0123	3760	11200	2,98

ESTIMATIONS DE CONSOMMATIONS D'ENERGIE
DANS LE TRANSPORT FLUVIAL DE MARCHANDISES

Estimates of Energy Intensity for Freight Transport on Waterways.

Author	Organization	Energy intensity, Btu/ton-mile	Reference
McAfoos	Peavey Company	300	7
Tinkey	Mid-America Transportation Company	304	8
Cook	National Waterways Conference	217 to 415	11
Barloon	Upper Mississippi Waterway Assoc.	338 to 390	12
Rice	Transportation Research Institute	400	13
----	Upper Mississippi Waterway Assoc.	419	11
Jacobs	American Waterways Operators	425	14
----	Department of Transportation	433	11
Mooz	Rand Corporation	478	6
Peat, Marwick, Mitchell and Co.	Industrial Energy Studies of Ground Transportation	500	15
Tihansky	Rand Corporation	500	11
----	National Petroleum Council	510	11
Hirst (1972)	Oak Ridge National Laboratory	540	11
----	American Waterways Operators	613	16
----	U.S. Army Corps of Engineers	649	9
----	Missouri Pacific Railroad	663	9
Hirst (1973)	Oak Ridge National Laboratory	680	5
Sebald	Center for Advanced Computation	711	17
Austin	Missouri Pacific Railroad	878	10
Smith	Missouri Pacific Railroad	1,015	18

PUISSANCE DE POUSSAGE

D'UN CONVOI A L'ENFONCEMENT DE 3M.

SECTION 2/1

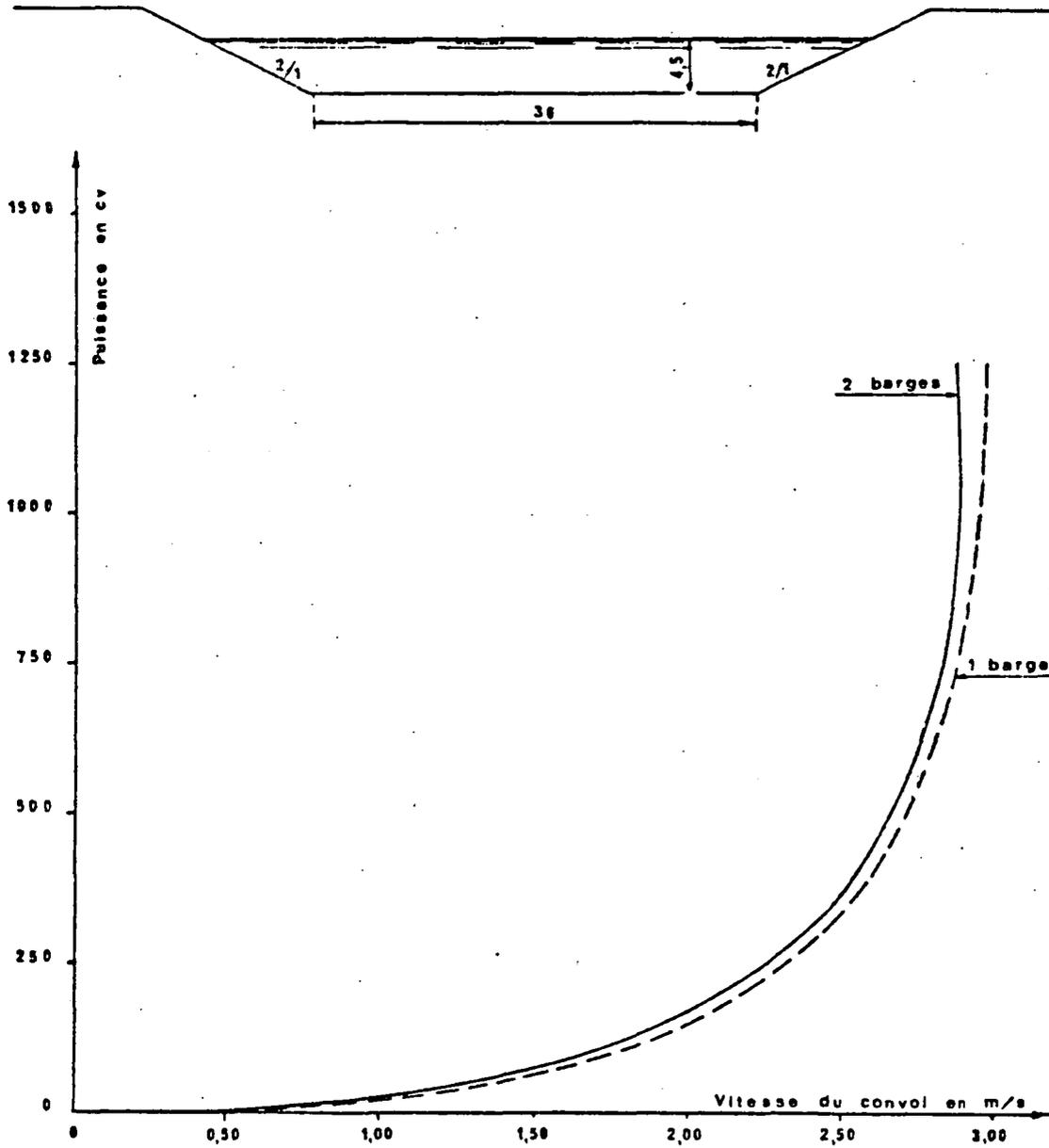


Fig. 7

Source : E.N.P.C. Cours de navigation intérieure de R. TENAUD

CORRESPONDANCES ENTRE LES UNITÉS D'ÉNERGIE

Valeur de un / en	Méga-Joule	kWh	thermie	BTU	MeV
Méga-Joule	1	0,278	0,239	$0,95 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{18}$
kWh	3,6	1	0,86	$3,42 \cdot 10^3$	$22,5 \cdot 10^{18}$
thermie	4,18	1,16	1	$3,97 \cdot 10^3$	$26,1 \cdot 10^{18}$
BTU	$1,06 \cdot 10^{-3}$	$0,293 \cdot 10^{-3}$	$252 \cdot 10^{-6}$	1	$6,6 \cdot 10^{15}$
MeV	$0,16 \cdot 10^{-18}$	$44,5 \cdot 10^{-21}$	$38,3 \cdot 10^{-21}$	$0,152 \cdot 10^{-15}$	1

CORRESPONDANCES ENTRE LES MESURES PRATIQUES DE L'ÉNERGIE

Valeur de un / en	TEC	TEP	m ³ gaz	MWj	MJ	kWh thermique
TEC	1	0,67	720	0,33	29.10 ³	2,8.10 ³
TEP	1,5	1	1,08.10 ³	0,5	44.10 ³	4,2.10 ³
m ³ gaz	1,4.10 ⁻³	0,92.10 ⁻³	1	0,48.10 ⁻³	42	4
MWj	3	2	2,1.10 ³	1	86,4.10 ³	8,2.10 ³
MJ	34.10 ⁻⁶	23.10 ⁻⁶	24.10 ⁻³	11,6.10 ⁻⁶	1	0,095
kWh thermique*	0,36.10 ⁻³	0,24.10 ⁻³	0,25	0,12.10 ⁻³	10,5	1

* pour le kWh d'origine thermique, on a pris un rendement de 10,5 MJ – 2,5 th – par kWh