

MINISTERE
DE L'EQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT

MINISTERE
DES TRANSPORTS

TROISIEME RAPPORT DE LA COMMISSION D'ETUDE
DES COUTS D'INFRASTRUCTURE.

Les COUTS d'INFRASTRUCTURE
des VOIES NAVIGABLES.

Ministère Economique
Ministère des Transports
DOCUMENTATION
Ref. n°

CDAT
5502 C

Janvier 1969

La Commission d'étude des coûts d'infrastructure a été créée par décision du 23 mai 1966 de M. le Ministre de l'Équipement et de M. le Secrétaire d'État aux Transports.

Elle a été chargée aux termes de cette décision :

- de rechercher, en s'appuyant notamment sur les travaux de la Commission des Comptes des Transports de la Nation, le montant et la nature des dépenses d'exploitation, d'entretien, de renouvellement et de construction consacrées, au cours des deux dernières années (1964 et 1965), aux infrastructures de transports, et de celles qui seront engagées pour le même objet d'ici 1970 ;

- de proposer des règles générales de tarification des infrastructures pour les différents utilisateurs et bénéficiaires indirects en se fondant essentiellement sur la responsabilité de chacun d'eux dans la réalisation de ces dépenses, sur les avantages qu'il en tire et sur la gêne causée aux autres usagers ;

- de recommander les réformes ou inflexions à apporter à partir de 1968 aux méthodes actuelles d'imputation des charges d'infrastructures en vue d'améliorer la couverture, par chaque catégorie d'usagers ou de bénéficiaires indirects, des dépenses qui lui seront imputables.

Cette Commission, complétée le 3 juin 1967, est composée de :

MM. LAVAL,	Président de la 3e Section du Conseil Général des Ponts et Chaussées, Président,
LAVAILL,	Conseiller d'État,
ARTAUD-MACARI,	Inspecteur Général des Travaux Publics et des Transports,
VADOT,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
LE VERT,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
BRINGER,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
EISENMANN,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
JUNGELSON,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
HAUTREUX,	Inspecteur Général de la Construction,
LHERMITTE,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, membres.
BOTTON,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Secrétaire-membre.

La préparation du présent rapport, consacré aux coûts d'infrastructure des voies navigables, a été confiée à un groupe de travail constitué par la Commission et comprenant :

M. VADOT,	membre de la Commission, Président,
M. MOINEAU,	Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
M. de DEMANDOLX et M. MONADIER,	} Ingénieurs des Ponts et Chaussées à la Direction des Ports Maritimes et des Voies Navigables,
M. BRIGNON,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. CAVALLIER,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. COTE,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. MEISTERMANN,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. ROUSSET,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. SCHWARCZER,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. TIPHINE,	Ingénieur des Ponts et Chaussées,
M. VALETTEAUD,	Ingénieur Divisionnaire des Travaux Publics de l'Etat.

Les propositions du groupe de travail ont été examinées et discutées au cours de plusieurs séances de la Commission. La rédaction définitive du rapport a été mise au point par M. VADOT, Président du groupe.

Troisième rapport de la Commission d'étude
des coûts d'infrastructure.

RAPPORT

sur les coûts d'infrastructure
des voies navigables.

CHAPITRE I - MISSION DU GROUPE DE TRAVAIL.

I-1 - A la suite d'une demande présentée verbalement par la Direction des Transports Terrestres au cours de la séance du 7 novembre 1967 de la Commission d'étude des coûts d'infrastructure, celle-ci décida qu'un groupe de travail examinerait les problèmes concernant les coûts d'infrastructure des voies navigables.

I-2 - Une lettre du 8 décembre 1967 des Ministres des Transports, d'une part, de l'Équipement et du Logement, d'autre part, confirma cette demande et invita le Président de la Commission à étudier, - suivant les mêmes principes que ceux retenus dans le rapport de mars 1967 concernant la tarification de l'usage, par les véhicules utilitaires, de l'infrastructure routière en rase campagne -, la tarification d'usage des infrastructures qui pourrait être appliquée à la circulation des bateaux de navigation intérieure sur les fleuves, rivières et canaux.

I-3 - C'est en vue de répondre à cette demande que le groupe de travail a rédigé le présent rapport.

CHAPITRE II - NATURE DES PROBLEMES ETUDIES.

II-1 - La mission du groupe de travail, telle qu'elle est définie dans la lettre susvisée du 8 Décembre 1967, concerne essentiellement la détermination des coûts marginaux d'infrastructure des voies navigables, y compris les coûts sociaux internes correspondants.

II-2-0 - Cependant, compte tenu des discussions en cours au sein de la Commission, concernant les diverses possibilités de tarification des infrastructures, compte tenu également de l'intérêt que lui a paru présenter une comparaison entre les recettes susceptibles de provenir de la tarification aux coûts marginaux et les dépenses réelles, le groupe de travail a estimé utile de définir également des coûts totaux et des coûts éluables.

II-2-1-1 - Les coûts totaux de maintenance et d'exploitation (1) c'est-à-dire de surveillance et de police, de fonctionnement, d'entretien et de renouvellement, sont déterminés à partir de la comptabilité des services, sur la base de la moyenne des dépenses réelles des trois derniers exercices (1965 à 1967) au moins, actualisées en multipliant les dépenses de l'année y par le coefficient $1 + 0,03 (1967-y)$ (2).

II-2-1-2 - Tout autre procédé de détermination de ces coûts a semblé au groupe de travail présenter un caractère purement fictif.

II-2-1-3 - Sans doute, l'insuffisance souvent signalée, des crédits d'entretien des voies navigables, l'absence, en la matière, de comptabilité industrielle pourraient conduire

.../...

(1) A ne pas confondre avec les coûts totaux comprenant les investissements.

(2) Le coefficient 0,03 est lui-même une moyenne entre l'augmentation du coût des travaux, voisine de 0,02 et celle du coût de la main d'oeuvre, voisine de 0,04.

à penser que les conditions actuelles de maintenance de ces voies ne sont pas optimales. Il n'en reste pas moins que, malgré un sous-entretien qui dure depuis bien longtemps, les voies navigables continuent à rendre, tant bien que mal, les services que l'on peut en attendre.

II-2-1-4 - Il ne semble pas d'ailleurs, qu'une tarification de l'usage des voies navigables soit actuellement envisagée sur une base autre que celle des coûts marginaux. Ce n'est que beaucoup plus tard que pourrait éventuellement s'y ajouter une contrainte d'équilibre budgétaire. Dans ces conditions, la comparaison des recettes que procurerait une tarification des infrastructures au coût marginal avec celles qui assureraient l'équilibre budgétaire doit bien être basée sur les dépenses réelles.

II-2-2 - C'est à partir de ces coûts totaux qu'ont été déterminés les coûts érudables, c'est à dire l'ensemble des coûts dont on pourrait faire l'économie en l'absence de toute navigation. D'après certaines définitions, les coûts érudables devraient comprendre, également, l'intérêt de la valeur de récupération des ouvrages susceptibles d'être déclassés, diminuée du coût des travaux qui devraient éventuellement être exécutés sur les autres ouvrages, en vue notamment d'assurer la sécurité publique après suppression de la navigation. Toutefois, ces sommes sont faibles et peuvent être pratiquement considérées comme nulles.

II-3-1 - Enfin les coûts marginaux, sont, sous réserve des précisions qui seront données concernant leur mode de calcul, les coûts d'usage et les coûts sociaux occasionnés par le passage d'un bâtiment supplémentaire.

II-3-2 - Compte-tenu du caractère extrêmement maillé des infrastructures routières, le rapport de Mars 1967 de la Commission avait dû prévoir, en dehors de certains axes autoroutiers, des taxes forfaitaires et très péréquées à la fois dans l'espace et dans le temps. Ceci constitué, - il l'a été maintes fois souligné, - un très grave inconvénient pour une application correcte de la théorie des péages économiques, notamment en ce qui concerne les coûts sociaux. Il est évident que les mêmes contraintes ne jouent nullement sur les voies navigables dont la tarification peut, au contraire et sans aucune difficulté, faire l'objet d'une déperéquation pratiquement totale. L'exemple de péages actuellement perçus au passage de certaines écluses en est la preuve manifeste. Cette déperéquation est d'autant plus justifiée

que, contrairement aux routes et aux chemins de fer d'intérêt général, les voies navigables françaises présentent un caractère très hétérogène en ce qui concerne, notamment, les dimensions des bâtiments susceptibles de les emprunter. Dans ces conditions, le calcul d'un coût marginal susceptible de s'appliquer à l'ensemble de ces voies navigables n'aurait, en fait, aucun sens. C'est dans cet esprit de déperdition que le groupe de travail a entrepris, pour un certain nombre de voies navigables, l'étude des divers coûts énumérés ci-dessus.

II-4 - Ainsi qu'il a été fait dans l'étude pilote de l'axe PARIS - LE HAVRE, les divers coûts, totaux, évitables et marginaux ont été déterminés à l'exclusion de tout coût d'investissement de capacité ou de productivité (1).

CHAPITRE III - DETERMINATION DES COUTS TOTAUX.

III-1 - La détermination des coûts totaux a été faite en distinguant, dans toute la mesure du possible, - soit par examen de la comptabilité analytique, là où elle est tenue, soit par appréciation, - et pour chaque catégorie d'ouvrages constituant la voie (écluses, voie courante, - ouvrages d'alimentation en eau tels que barrages, réservoirs, stations de pompage, canalisations d'amenée, - ouvrages annexes tels que ponts mobiles, portes de garde, ponts canaux), les dépenses :

- de surveillance et de police,
- de fonctionnement,
- d'entretien courant, dépenses dont la périodicité est de l'ordre d'un à deux ans et qui correspondent à un grand nombre de petits travaux de faible montant unitaire,
- de gros entretien, dépenses dont la périodicité est de l'ordre de trois à six ans, correspondant à des travaux, souvent faits en chômage, de remplacement ou de remise en état de certains appareillages, sans aller jusqu'au remplacement d'un organe essentiel,

.../...

(1) Cf au renvoi (1) du chapitre II § 1° page 1.

- de renouvellement d'un organe essentiel, soit à l'identique, soit conformément aux normes de la technique en vigueur au moment du remplacement, dans la mesure où cette modification des normes n'entraîne pas un accroissement de capacité ou de productivité (2).

III-2-1 - En ce qui concerne le personnel, la totalité des dépenses des ouvriers auxiliaires, des éclusiers-auxiliaires et des agents des travaux publics de l'Etat a été prise en compte.

III-2-2 - A partir du grade de Conducteurs des travaux publics de l'Etat, et jusqu'à celui du Chef de la subdivision, on a disjoint, d'une manière aussi approchée que possible, les occupations autres que celles concernant le sujet de la présente étude, soit qu'elles concernent des objets autres que la navigation, tels que la pêche, les prises ou restitutions d'eau, la gestion du domaine public soit qu'elles soient relatives à l'exécution de travaux neufs.

III-2-3 - Enfin, les dépenses concernant les Arrondissements et le service ont été déterminées soit par une méthode analogue, soit, en pourcentage, sous la forme de frais généraux.

III-3-0 - En ce qui concerne les dépenses autres que celles de personnel, leur totalité a été prise en compte sous les réserves suivantes :

III-3-1 - Les réparations de dommages causés aux ouvrages ou à la voie n'ont pas été retenues lorsque les dépenses correspondantes sont remboursées par les personnes qui ont causé ces dommages.

III-3-2 - La protection des berges des rivières qui incombe en principe aux riverains (article 35 de la loi du 16 Septembre 1807) n'a été prise en compte que dans la limite de 30 % du montant global des travaux exécutés, ces 30 % étant considérés comme une subvention correspondant, forfaitairement, à l'érosion résultant du fait de la navigation.

III-4 - Les dépenses de fonctionnement des bureaux ont suivi le sort des dépenses de personnel placé à la tête des bureaux correspondants.

.../...

(2) Voir chapitre 2 § 5°.

III-5 - La comparaison des coûts totaux moyens des écluses fait ressortir une dépense de l'ordre de 30 000 F sur les écluses non mécanisées, et de 35 000 F par sas sur les écluses mécanisées (1) des voies type Freycinet, - de l'ordre de 45 000 F sur les écluses du Canal du Nord et de l'ordre de 75 000 F par sas sur les écluses des voies à grand gabarit, - sans qu'il soit d'ailleurs possible de constater une variation de ces dépenses en fonction du trafic de la voie.

CHAPITRE IV - DETERMINATION DES COUTS ELUDABLES.

IV-4 - La détermination des coûts écludables nécessite que l'on envisage quelle serait l'organisation de la voie si la navigation venait à y être supprimée, mais que tout ou partie de l'infrastructure doive être maintenue. Ce cas se présente non seulement pour les cours d'eau naturels, sur lesquels il est extrêmement probable, sinon certain, que de nombreux barrages devraient être maintenus notamment pour des raisons d'ordre général (hygiène, esthétique, alimentation des nappes phréatiques, sports nautiques ...) mais aussi pour certains canaux qui concourent à l'alimentation en eau des riverains ou au drainage des terrains avoisinants.

IV-2 - L'étude qui doit nécessairement être faite, voie par voie, en a été menée, soit à partir des coûts totaux desquels on a supprimé, poste par poste, certaines dépenses, soit à partir d'une étude théorique de la situation future envisagée.

IV-3 - Il convient de retrancher des coûts ainsi déterminés les indemnités auxquelles pourraient prétendre, les concessionnaires de ports, si l'on supprimait la navigation sur la voie les desservant. De même le détournement éventuel de la navigation sur d'autres voies peut entraîner des charges, dont il y a également lieu de tenir compte.

.../...

(1) Le rendement de ces écluses, en ce qui concerne le passage des bateaux, dépasse d'un tiers celui des écluses non mécanisées.

CHAPITRE V - DETERMINATION DES COUTS MARGINAUX D'USAGE.

V-1-0 - Comme il a déjà été signalé, la détermination des coûts marginaux d'usage constitue l'un des objets principaux de l'étude. Elle présente, aussi bien du point de vue théorique que du point de vue pratique, de multiples et grandes difficultés.

V-1-1 - On ne peut en effet donner des coûts marginaux d'usage une définition analytique qui en permette le calcul, et, dans ces conditions, leur détermination doit être basée sur une étude des dépenses variant avec le trafic, ce qui pose le double problème de savoir quelles sont ces dépenses, et comment elles varient avec le trafic, ou plus précisément en fonction d'un paramètre, lui-même lié au trafic.

V-1-2 - Il était assez tentant de chercher à déterminer sur diverses voies navigables, la corrélation pouvant exister entre le niveau des dépenses totales faites sur ces voies et le niveau du trafic. Une telle étude globale a été faite, mais n'a pas donné de résultats concluants. Le niveau des dépenses est en effet, la plupart du temps, fonction du niveau des crédits ouverts. Or, ceux-ci dépendent essentiellement de l'idée d'une éventuelle relation entre dépenses et trafic que peut avoir, a priori, le répartiteur des crédits. La corrélation entre le niveau des dépenses faites sur une voie et le trafic traduit donc plus cette idée du répartiteur, qu'une véritable relation technique de cause à effet entre les variations de trafic et les variations de dépenses qui en résultent. D'autre part, de nombreux paramètres tels que l'âge des ouvrages, le climat, la nature des sols, ont une influence souvent prépondérante sur le niveau des dépenses totales. Il aurait fallu pouvoir éliminer l'influence de ces divers paramètres ainsi que de la divergence entre les dépenses effectivement faites et celles qui auraient été nécessaires, pour que ressorte la corrélation réelle entre ces dépenses et le trafic. On conçoit que les résultats d'une telle étude n'apportant pas, ou ne pouvant pas apporter ces correctifs, aient été décevants.

V-1-3 - On est ainsi conduit à examiner, voie par voie, comment les dépenses varient en fonction du trafic. L'idéal serait de pouvoir construire une courbe sur laquelle le trafic serait porté en abscisses et les dépenses en ordonnées. Ce n'est malheureusement pas possible a priori et il est dès lors nécessaire d'examiner, poste par poste, les divers éléments qui sont intervenus dans le coût total.

V-2-0 - Les dépenses de surveillance et de police se rapportent essentiellement aux rémunérations des conducteurs des travaux publics de l'Etat (Voies Navigables).

V-2-1 - En fait, dans des nombreux services, ces rémunérations ont un caractère forfaitaire ne dépendant pas du nombre des bateaux ayant emprunté la voie. Le coût marginal correspondant est donc nul.

V-2-2 - Dans les rares services où cette rémunération varie avec le trafic, ses variations et par suite le coût marginal correspondant sont absolument négligeables.

V-3-0 - Les dépenses marginales de fonctionnement et de maintenance des écluses et des ponts mobiles comportent des éléments qui sont fonction, soit du nombre des cycles d'éclusage, soit du nombre de bateaux (chargés et vides) qui franchissent l'écluse. Parmi les premiers on trouve les dépenses d'énergie, d'ingrédients nécessaires au graissage ou au fonctionnement (huile des vérins), de renouvellement des organes mobiles (portes, ventelles, mécanismes, moteurs). Les seconds comprennent la partie variable avec le trafic de la rémunération des agents chargés de la manœuvre des ouvrages et les dépenses pouvant résulter des frottements des bateaux ou de leurs cordages sur les parties fixes des ouvrages (maçonnerie, bollards, estacades). Cette distinction conduit à examiner deux problèmes concernant les relations pouvant exister d'une part entre le nombre des cycles d'éclusage et le nombre et la nature des bateaux ayant franchi l'écluse, d'autre part entre le trafic et les dépenses de renouvellement.

V-3-1-1 - Sur les voies à petit gabarit, où tous les bateaux peuvent être considérés comme identiques, le nombre C des cycles d'éclusage est certainement fonction du nombre des bateaux chargés et vides, d'une part montants n_m , d'autre part avalants n_a , ayant franchi l'écluse dans un intervalle de temps donné (jour, mois, année). S'il n'y avait de bateaux que dans un seul sens, C serait égal au nombre de ces bateaux. Si le trafic était équilibré dans les 2 sens et égal au trafic de saturation n_M ($n_m = n_a = n_M$) C serait égal au nombre de bateaux passant dans un sens, soit à la moitié du nombre total des bateaux circulant dans les 2 sens. La formule la plus simple qui traduise cette double condition est

$$C = n_m + n_a - \frac{n_m \cdot n_a}{n_M}$$

Il est évident, a priori, qu'une telle formule ne peut donner que des résultats plus ou moins approchés, le nombre de fausses bassinées, et par suite celui des cycles variant avec les lois d'arrivée des bateaux à l'écluse. Lorsque, pour une écluse et pour une période de temps données, on connaît les valeurs de C , n_m et n_a , la formule susvisée permet de calculer n_M

$$n_M = \frac{n_m \cdot n_a}{n_m + n_a - C}$$

Comme on le verra plus loin, la valeur de n_M ainsi calculée ne correspond pas toujours à celle à laquelle on serait conduit en admettant une durée de passage des bateaux à l'écluse calculée forfaitairement sur la base (1) de 20 ou de 15 minutes par bateau (2). On peut néanmoins la considérer comme constituant une caractéristique de la voie reflétant le type de trafic qui y circule. En admettant la validité de cette formule, on peut écrire :

$$\frac{dC}{dn_m} = 1 - \frac{n_a}{n_M} \quad \text{et} \quad \frac{dC}{dn_a} = 1 - \frac{n_m}{n_M}$$

Le coût marginal par bateau serait alors égal au coût par cycle multiplié par le coefficient $1 - \frac{n}{n_M}$ où n est le nombre

de bateaux circulant en sens inverse du sens de marche considéré. Ce coefficient, voisin de 1 si n est faible, tend vers zéro lorsque n se rapproche de n_M . Ce résultat ne doit pas surprendre ;

si, en effet, le nombre n atteint la valeur de n_M , correspondant

à la saturation, les bateaux passant dans l'autre sens (dont le nombre est supposé inférieur à n_M), utiliseront les fausses bassinées qui auraient été de toute manière nécessaires et n'augmenteront pas le nombre de cycles d'éclusage (il conviendrait, évidemment, de tenir compte, pour plus de précision, du fait que les fausses bassinées durent moins longtemps que les bassinées

.../...

(1) Admise par la circulaire ministérielle, visée plus loin, du 2 Juin 1953.

(2) Suivant que l'écluse n'est pas ou est électrifiée.

utiles). Dans le même esprit, le coefficient $1 - \frac{n}{n_M}$ est plus

faible dans le sens de marche le moins chargé. Il conviendrait donc, en théorie, de prévoir des péages moins élevés dans ce sens. Toutefois, remarquant que les coûts marginaux des écluses qui sont fonction du nombre des cycles ne sont pas prépondérants, on a retenu, dans ce qui suit, la valeur maximale du coefficient susvisé. Le tableau ci-après donne, pour certaines voies de gabarit Freycinet, le résultat rapporté à une année entière, des calculs des valeurs n_M calculées en fonction des

valeurs de C, n_n et n_a , ainsi que les valeurs maxima du coefficient $1 - \frac{n}{n_M}$. Certains résultats ont été extrapolés à partir de données portant sur une durée moindre que l'année.

.../...

Voie navigable	Type d'écluse : électrifiée (E) non électrifiée (NE)	Trafic total (montants et avants chargés ou vides en nombre moyen de bateaux par an)	Pourcentage du nombre de bateaux dans le sens le moins chargé	Valeur de n_M calculée par la formule $n_M = \frac{n_m \times n_a}{n_m + n_a - C}$	Chômages éventuels au cours de la période considérée	Valeur de $1 - \frac{n}{n_M}$ correspondant au nombre de bateaux dans le sens le moins chargé	Valeur théorique de n_M (1)	Observations concernant la valeur calculée de n_M
Canal du Rhône au Rhin Sud	NE	1800	28	2800	1 mois	0,82	5800	
Canal de l'Est (B.S.)	NE	2700	42	4330	-	0,74	6200	
Scarpe supérieure	NE	4200	50	4040	-	0,48	7700	
Canal du Rhône au Rhin Nord	E	4900	44	5600	-	0,615	8400	Extrapolation
Canal de l'Est Branche Nord	NE	6600	46	7200	-	0,58	6300	-
Canal de l'Est Branche Nord	E	10 600	49	11 100	-	0,48	8400	-
Canal de la Marne au Rhin	E	13 000	50	10 100	-	0,36	8 400	Extrapolation concordante sur 2 périodes différentes

(1) calculée sur la base de 15 ou 20 minutes par bateau suivant que l'écluse est ou n'est pas électrifiée.

.../...

V-3-1-2 - Le problème est beaucoup plus difficile dans le cas d'écluses où plusieurs bateaux peuvent passer simultanément, et la difficulté est encore accrue lorsque l'écluse comporte deux ou plusieurs sas. Il convient de connaître la fonction reliant le nombre de cycles d'éclusage de chaque sas au nombre de bateaux de chaque type empruntant l'écluse. Sur le Canal du Nord, sur lequel la navigation est trop récente, on a utilisé des valeurs moyennes, ce qui enlève au calcul son caractère marginal. Sur la Moselle, où l'on connaît le nombre de bassinées utiles, et où il n'y a qu'un sas d'écluse par chute, il a été possible de faire un calcul marginal basé sur le principe admis pour les canaux type Freycinet.

V-3-2 - Certains éléments du coût marginal concernent les dépenses de renouvellement de certains ouvrages ou parties d'ouvrages. Les coûts correspondants peuvent être calculés si l'on admet que ces éléments peuvent supporter un nombre déterminé de cycles d'éclusage ou de passage de bateaux. En supposant connus les trafics futurs, on peut alors déterminer l'échelonnement des renouvellements nécessaires dans l'avenir et, par suite, leur valeur actualisée. Un accroissement marginal du trafic se produisant à une époque donnée entraîne un rapprochement des diverses échéances et, par suite, un accroissement de leur valeur actualisée, d'où le coût marginal correspondant. Si, en simplifiant le problème, on appelle Q le trafic susceptible d'être écoulé entre deux renforcements successifs entraînant chacun une dépense D , si q est le trafic annuel, supposé stable, l'intervalle entre deux renforcements est $T = \frac{Q}{q}$ et la dépense actualisée :

$$\Delta = e^{-jt} \frac{D}{1 - e^{-jT}}$$

j est le taux d'actualisation continue, t la date du prochain renforcement. Le terme $\frac{D}{1 - e^{-jT}}$ représente l'ensemble des dépenses périodiques actualisées à la date T , et e^{-jt} l'actualisation de cette dépense à la date origine. Si le trafic de l'année zéro, et celui-là seulement, augmente de dq , le nouvel échéancier sera le même, avancé de $dt = \frac{-dq}{q}$. L'augmentation des dépenses actualisées sera

$$d\Delta = -j\Delta dt = \frac{D}{q} \frac{j e^{-jt}}{1 - e^{-jT}} dq$$

et le coût marginal

$$\frac{d\Delta}{dq} = a \frac{D}{qT} \quad \text{avec} \quad a = \frac{jT e^{-jt}}{1 - e^{-jT}}$$

.../...

Le tableau ci-après donne quelques valeurs de a

Délai (en année) entre les renou- vellements succes- sifs	t = T	t = $\frac{T}{2}$	t = 0
10	0,7	0,981	1,376
15	0,5775	0,9585	1,5915
20	0,472	0,928	1,826
30	0,306	0,846	2,397
50	0,119	0,645	3,502

Lorsqu'on a affaire à un assez grand nombre d'infrastructures identiques, on peut souvent admettre que la répartition dans le temps des dates auxquelles doivent être effectuées les opérations périodiques pour l'ensemble de ces infrastructures est uniforme. Le coût marginal "moyen" de cet ensemble est :

$$\frac{D}{qT} \int_0^T a dt = \frac{D}{qT}$$

il est alors égal au coût moyen. Sauf cas particuliers, on admettra ce résultat particulièrement simple.

V-3-3-0 - Ces deux précisions étant données, il convient d'examiner le coût marginal correspondant à chacun des éléments énumérés en V-3-0 ci-dessus.

V-3-3-1 - La détermination des consommations d'énergie électrique propres à la manoeuvre d'une écluse ou d'un pont mobile ne peut souvent pas résulter directement de la simple lecture du compteur général placé au droit de l'ouvrage, car elles s'ajoutent à d'autres consommations d'énergie, dans certains cas plus importantes qu'elles-mêmes, tels que chauffage des cabines de manoeuvre, éclairage et signalisation et parfois, fonctionnement d'un barrage. On peut toutefois, en plaçant un compteur sur les moteurs eux-mêmes, - ou plus simplement, en faisant les mesures après avoir éliminé toute consommation de courant autre que celle des moteurs des écluses ou ponts mobiles, - obtenir

un résultat exact. A défaut, on aboutit, à un résultat approché par excès en déterminant ces consommations directement à partir de la puissance des moteurs utilisés et de la durée de leur fonctionnement correspondant à chaque cycle d'éclusage. Ces consommations, exprimées en kilowattheures, varient évidemment avec le type d'installation réalisé (électromécanique ou oléomécanique), avec l'ancienneté de cette installation, avec les dimensions (largeur et longueur) et la hauteur de chute de l'écluse. Par ailleurs, le coût du kilowattheure, - qui est seul à prendre en compte, à l'exclusion de toute prime fixe, pour le calcul des coûts marginaux -, varie beaucoup suivant les conditions de fourniture de l'énergie : haute ou basse tension, utilisation de la puissance installée ... Il a été tenu compte, pour chaque écluse, de prix moyen du kilowattheure correspondant à l'utilisation réelle de l'année 1967. Les résultats obtenus sur les diverses voies sont, en fait, assez concordants pour que l'on puisse en tirer quelques conclusions générales qui se trouvent résumées dans le tableau ci-après :

VOIES	Types d'écluses	Consommation par cycle en kwh	Prix du kwh en centimes	Coût par cycle en centimes	OBSERVATIONS
Type Freycinet	Electromécaniques	0,1	36	3,6	
- d° -	Oléomécaniques	0,25	36	9	
Seine	Petites écluses	0,30	9	2,7	Electromécaniques
Seine	Grandes écluses anciennes	0,40	9	3,6	
Canal du Nord	Oléomécaniques	0,45	9	4,05	
Oise	Grandes écluses	0,6	9	5,4	
Ecluse de NIFFER	Oléomécanique	2,15	9	19,35	
Seine	Grandes écluses nouvelles	2,6	9	23,4	Electromécaniques
Moselle	Oléomécaniques	4 (x)	9	36 (x)	(x) par demi-bassinée utile

V-3-3-2 - Le coût des ingrédients servant au graissage des mécanismes de manoeuvre des écluses est pratiquement très

.../...

faible car beaucoup de services assurent ce graissage avec les huiles de vidange des moteurs de leurs véhicules et considèrent la dépense correspondante comme nulle ; on peut, dès lors, sans grande erreur, admettre que leur coût marginal est égal au coût moyen. La valeur la plus élevée du coût marginal correspondant a été trouvée sur la Scarpe supérieure où elle serait de 2,4 centimes par bateau, soit 3,2 centimes par cycle.

V-3-3-3 - Les dépenses de renouvellement de l'huile des vérins dans les systèmes de commande oléomécaniques peuvent résulter de trois causes, perte par rupture de canalisation, pollution par introduction d'impuretés (rentrées d'eau résultant de la défaillance des joints des vérins) ou dégradation par laminage. Seule cette dernière cause est liée directement au trafic. En effet, les défaillances de joints entraînant des pollutions ne paraissent pas fonction du trafic, car, lorsqu'un vérin fonctionne peu, il se forme, sur les tiges sorties, d'importants dépôts qui dégradent sérieusement les joints lorsque le vérin fonctionne. Il est, dans ces conditions, très difficile de définir la partie marginale de ce coût. A défaut d'autre élément, il semble qu'on puisse la considérer comme étant égale à la moitié de la dépense totale. C'est ainsi que, sur le Canal de l'Est - Branche Nord, la totalité des dépenses de renouvellement de l'huile des vérins, quelle qu'en soit la cause, a été évaluée à 60 F par écluse et par an pour 8000 cycles d'éclusage. Le coût marginal correspondant serait, dès lors, de 0,375 centimes par cycle, soit 0,18 centimes par bateau. Sur la Moselle Canalisée, les seuls renouvellements d'huile qui aient été nécessaires jusqu'à présent résultent d'accidents et n'ont donc pas comporté d'élément marginalisable. On peut toutefois admettre que, sur la base du trafic actuel, les dépenses totales d'huile seraient de l'ordre de 7000 F tous les 10 ans. Le coût par demi-bassinée utile atteindrait ainsi 6,5 centimes.

V-3-3-4 - Sur le Canal de l'Est - Branche Nord, les portes de garde, qui ne sont manoeuvrées que quelques fois par an, n'ont pas une longévité supérieure à celle des portes d'écluses ; celles-ci durent d'ailleurs à peu près autant sur les écluses à trafic élevé que sur les autres. On pourrait en déduire que le coût marginal de renouvellement des portes est nul. Il a néanmoins semblé au Groupe de Travail qu'une telle conclusion pourrait paraître discutable pour les raisons suivantes : d'une part certaines portes anciennes, présentant un coefficient de sécurité trop faible, souffrent d'autant plus des manoeuvres que leur font subir les mécanismes de commande électromécanique qui leur ont été adjoints après coup que ceux-ci sont particulièrement brutaux ; d'autre part il est apparu que, lorsque le trafic approche de la saturation, et que, par suite, les manoeuvres se

font d'une manière plus rapide, les risques de choc des portes par les bateaux deviennent plus grands ; enfin, le renouvellement périodique des peintures peut être accéléré lorsque le frottement, ou éventuellement le choc des bateaux a endommagé les couches en place. Dans un autre ordre d'idées la longévité des portes métalliques est très grande ; celles de l'écluse des Quatres Cheminées, à GIVET, n'ont pas été changées entre 1876, date de leur construction, et 1962, soit pendant 86 ans. Compte-tenu de ces divers éléments, le Groupe de Travail a estimé qu'une fraction de la dépense de renouvellement des portes devait être considérée comme représentant un coût marginal. D'une manière plus précise, il a été admis que ce renouvellement intervenait, en moyenne, tous les 300 000 cycles et que la fraction marginalisable de son coût variait de 0 pour un trafic nul à 40 % pour le trafic de saturation de l'écluse, pris forfaitairement comme correspondant à 10 000 cycles par an pour une écluse type Freycinet. D'autre part, en ce qui concerne les voies du type Freycinet, pour lesquelles le coût de l'ensemble des portes d'une écluse est de l'ordre de 60 000 F, il a été admis que l'on tiendrait raisonnablement compte de la totalité des dépenses d'entretien et de renouvellement en comptant, pour ce coût, une dépense de 90 000 F par écluse. Dès lors, pour ces voies, le coût marginal des portes ressort, en continces, à

$$\frac{90\ 000}{300\ 000} \times \frac{100}{100} \times \frac{40}{100} \times \frac{C}{10\ 000} = 12 \frac{C}{10\ 000}$$

où C est le nombre annuel de cycles.

Eu égard à la longévité des portes, il a été convenu que, sur les voies anciennes, il serait tenu compte de la durée restante probable de vie de ces portes, dans les conditions définies au § V-3-2 ci-dessus, lorsque cette durée était susceptible d'entraîner une majoration du coût correspondant.

V-3-3-5 - Le coût qui vient d'être défini comprend le renouvellement des ventelles incorporées sur les portes. Par contre, une somme de 5 centimes par cycle, correspondant sensiblement à la moitié, supposée marginalisable, des dépenses d'entretien de ces ventelles, doit y être ajoutée. D'autre part, les dispositifs d'étanchéité et les supports des portes et ventelles semblent devoir être remplacés tous les 100 000 cycles ; la totalité de la dépense correspondante a été prise en compte, soit un coût marginal de 7 centimes par cycle sur les voies de type Freycinet. Lorsque l'alimentation du sas de l'écluse est faite par des vannes, ce qui est le cas général sur les voies à grand

gabarit, il a été admis que la moitié de la dépense de renouvellement de ces vannes correspondait à un coût marginal. La cadence de ce renouvellement a été estimée à 200 000 cycles.

V-3-3-6 - Sur les écluses à commande électrifiée, et bien que le remplacement des mécanismes de commande et des moteurs s'avère souvent nécessaire du fait de leur obsolescence et des difficultés qui en résultent pour trouver des pièces de rechange, la totalité des dépenses de renouvellement, calculée sur la base d'une durée de vie de 100 000 cycles a été considérée comme marginale. Sur les écluses à commande manuelle, que l'on ne rencontre d'ailleurs que sur les voies type Freycinet, la durée de vie des mécanismes est plus faible et ne correspond qu'à 60 000 cycles. Bien que cette somme soit supérieure à la moyenne, on a évalué à 12 000 F la valeur de renouvellement des mécanismes de manoeuvre des vantaux et ventelles de ces écluses, en sorte que le coût marginal est de 20 centimes par cycle.

V-3-3-7 - De l'ensemble de ces résultats, on peut déduire que, pour les écluses à manoeuvre manuelle du type Freycinet le coût marginal par bateau s'établit à

$$\left(1 - \frac{n}{n_M}\right) \left(0,12a \frac{C}{10\ 000} + 0,05 + 0,07 + 0,20\right) = \left(1 - \frac{n}{n_M}\right) \left(0,12a \frac{C}{10\ 000} + 0,32\right)$$

V-3-4-0 - Pour le calcul de la partie variable avec le trafic des rémunérations du personnel affecté aux manoeuvres des écluses et ponts mobiles, il est nécessaire de distinguer les diverses catégories du personnel intéressées.

V-3-4-1 - Le cas le plus simple est celui des ouvriers auxiliaires remplaçant les agents des travaux publics de l'Etat ou les éclusiers auxiliaires les jours où ceux-ci sont absents. Les salaires de ces ouvriers sont fixés uniquement en fonction de l'amplitude de la navigation ; ils ne présentent donc aucun élément marginal.

V-3-4-2 - Un cas également simple est celui des écluses tenues par des éclusiers (ou éclusières) auxiliaires. Les salaires mensuels de ces agents sont en effet calculés par une formule résultant des études d'un groupe de travail et qui est la suivante :

$$\frac{S}{100} (15 + 0,15 N + L + A + R)$$

dans laquelle S représente le salaire mensuel de l'éclusier titulaire classé dans l'échelon le plus bas, N le nombre de bateaux chargés ou vides passés dans le mois (on calcule évidemment pour

des raisons de stabilité du salaire, le nombre moyen pour les 12 mois de l'année), L, A et R étant des ternes dépendant des qualités du logement ou de la manoeuvre d'autres ouvrages. Le coût marginal d'un bateau est dès lors 0,15 S' ou S' est le coût

100

mensuel pour l'Etat d'un éclusier titulaire classé dans l'échelon le plus bas, soit une somme comprise entre 699,07 F et 729,40 F suivant la zone considérée (1). Le coût marginal par bateau-écluse est ainsi compris entre 1,05 F et 1,09 F.

V-3-4-3 - Le cas des agents des travaux publics de l'Etat chargés (généralement à raison d'un seul agent logé par ouvrage ou groupe d'ouvrages sur les voies à petit gabarit) d'une écluse ou d'un pont mobile est plus délicat. La circulaire ministérielle du 2 Juin 1953, actuellement applicable, permet de déterminer comment varie, en fonction du nombre de bateaux passés, la rémunération de ces agents. Le principe de cette circulaire consiste à calculer, pour chaque agent, une durée forfaitaire du travail effectif qui comprend, en dehors des temps nécessaires pour assurer d'autres fonctions pouvant lui être confiées, une demi heure par jour pour l'entretien de l'ouvrage et un certain nombre de minutes par bateau passé. A cette durée de travail effectif on ajoute une durée fictive, également forfaitaire, fonction de l'amplitude de l'horaire de la navigation le jour considéré. A titre d'exemple, si, dans l'écluse d'un canal à petit gabarit, il est passé - un jour où l'amplitude de l'horaire de navigation est de 12 heures, - soit 15 bateaux si l'écluse est manoeuvrée à la main, soit 20 bateaux, si elle est manoeuvrée électriquement, et si l'agent n'a pas d'autre fonction que de faire fonctionner et d'entretenir l'écluse, la durée forfaitaire de travail effectif est de 5 heures 30 minutes et la durée fictive de 3 heures, soit une durée totale de 8 heures 30 minutes donnant droit au paiement d'une demi heure supplémentaire. En fait l'application de la circulaire en question ne conduit pas à une croissance continue, en fonction du nombre de bateaux éclusés, de la rémunération supplémentaire des agents. Il existe en effet, - d'une part, un minimum journalier de bateaux (13,5 pour une écluse non électrifiée, 18 pour une écluse électrifiée) en dessous duquel cette rémunération est nulle, - d'autre part, des paliers, qui, pour les écluses électrifiées et pour une amplitude horaire de navigation de 12 heures, se situent entre 28 et 30, - 32 et 34, - 36 et 38 bateaux par jour. Au-dessus du minimum et en dehors de ces paliers, la croissance de la rémunération correspond à 15 ou 20 minutes supplémentaires par bateau, suivant que

.../...

(1) Le régime des retraites des éclusiers auxiliaires étant le régime général de la Sécurité Sociale, il n'y a pas lieu de prendre en compte, pour ces agents, le supplément que coûte à l'Etat le régime de retraite des fonctionnaires.

l'écluse est ou non électrifiée. Le décompte des heures supplémentaires est fait mensuellement (ou par quinzaine dans les 2 mois de Mars et Octobre, le quinzième jour desquels l'amplitude de la durée de navigation varie) en tenant compte, pour chaque écluse, du nombre moyen journalier des bateaux passés et, pour chaque agent, du nombre de jours de présence effective. Le graphique (p. 20) fait ressortir, pour les écluses des voies à petit gabarit, la variation du nombre des heures supplémentaires journalières en fonction du nombre de bateaux et de l'amplitude de la navigation. Il a été complété par une courbe moyenne théorique, construite dans l'hypothèse où le nombre journalier des bateaux resterait constant au cours de l'année, en pondérant les heures supplémentaires en fonction des durées annuelles d'application des diverses amplitudes de navigation ; malgré un palier intermédiaire, cette courbe théorique moyenne présente un caractère de croissance sensiblement plus régulier que les courbes correspondant aux diverses amplitudes. Il conviendra de vérifier comment, en fait, ces diverses courbes, et notamment la courbe moyenne se rapprochent des résultats réels des calculs. Sous cette réserve on pourrait chercher à se servir de cette courbe moyenne pour déterminer le coût marginal, par bateau-écluse, des primes allouées aux agents des travaux publics de l'Etat chargés d'une écluse. En effet :

- d'une part le taux moyen de la charge que représente, pour l'Etat, une heure supplémentaire est égal à environ 5,20 F pour les 14 premières mensuelles, à environ 6,20 F pour les heures au-delà de 14, (1)
- d'autre part, en moyenne annuelle, le rapport entre le nombre de jours de présence de l'agent et le nombre de jours de navigation est d'environ 0,77, en admettant que l'agent ne soit jamais malade et que la navigation soit possible 360 jours par an.

Si ce rapport de 0,77 était réparti également sur les 12 mois de l'année, on pourrait déterminer, en fonction du nombre moyen journalier de bateaux, la valeur moyenne des primes allouées aux agents :

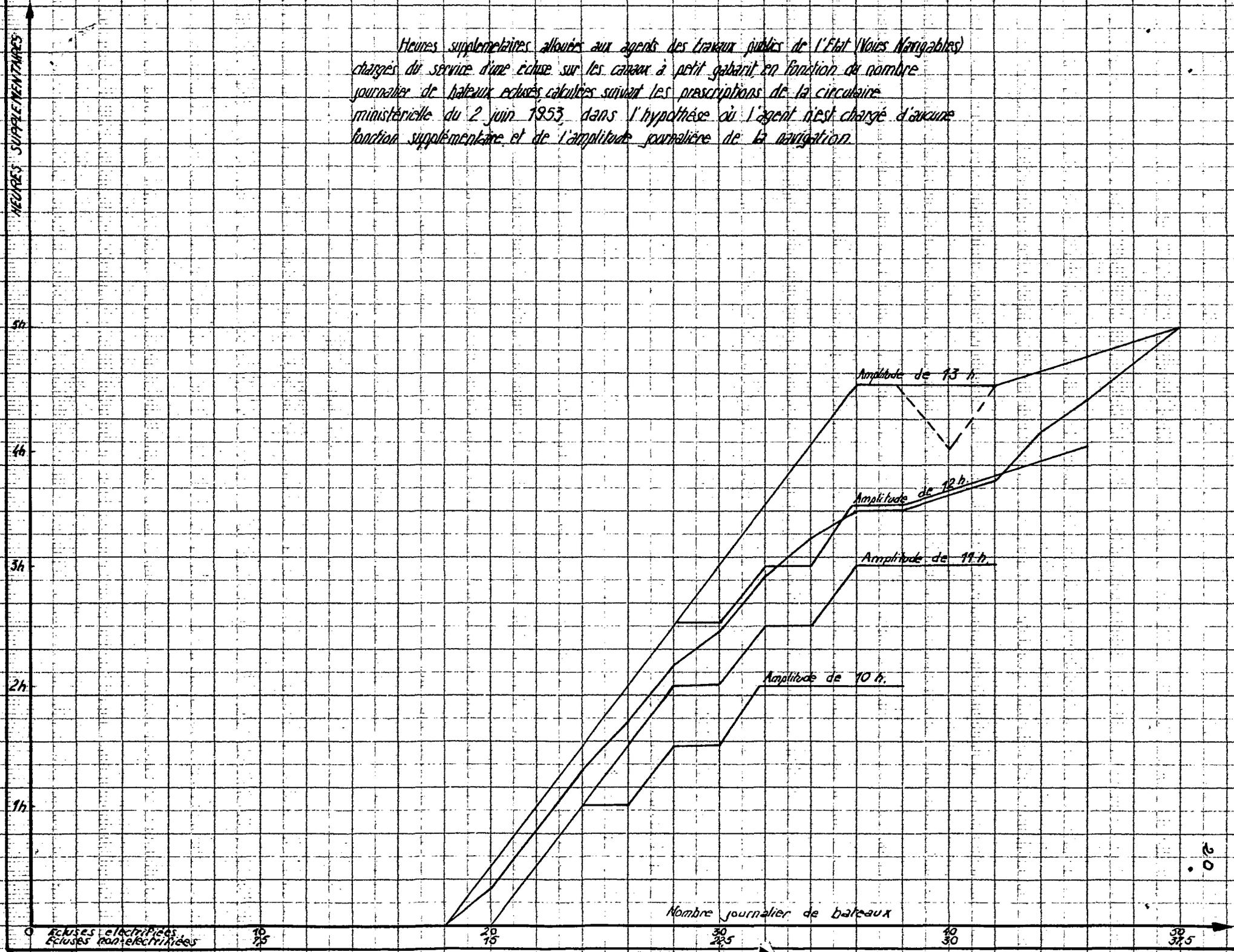
Au-dessous du plancher défini ci-dessus, les primes et par suite le coût marginal sont nuls.

.../...

(1) Les heures supplémentaires n'entrent pas en compte pour le calcul des retraites.



Heures supplémentaires allouées aux agents des travaux publics de l'Etat (Voies Navigables)
 chargés du service d'une écluse sur les canaux à petit gabarit en fonction du nombre
 journalier de bateaux échoués cabulés suivant les prescriptions de la circulaire
 ministérielle du 2 juin 1953, dans l'hypothèse où l'agent n'est chargé d'aucune
 fonction supplémentaire et de l'amplitude journalière de la navigation.



Au-dessus de ce plancher, la prime peut être calculée sur la base de 5,20 F jusqu'à $\frac{14}{30 \times 0,77} = 0,6$ heure par jour, sur la base de 6,20 F au-delà.

Ceci conduit, pour un nombre journalier de bateaux n , aux coûts marginaux ci-après applicables au bateau-écluse, sur une voie à petit gabarit, et pour des amplitudes de trafic de $\pm 20\%$, autour de valeurs moyennes, ces amplitudes paraissant, a priori, correspondre à celles des variations journalières du trafic, et étant d'ailleurs supérieures à celles des horaires de navigation.

Ecluses électrifiées	$n < 14,4$	$14,4 < n < 21,6$ (moyenne 18)	$21,6 < n < 32,4$ (moyenne 27)	$32,4 < n < 48,6$ (moyenne 40,5)
Coût marginal	0	0,41 F	1,01 F	0,49 F
Ecluses non électrifiées	$n < 10,8$	$10,8 < n < 16,2$ (moyenne 13,5)	$16,2 < n < 24,3$ (moyenne 20,2)	$24,3 < n < 36,5$ (moyenne 30,3)
Coût marginal	0	0,54 F	1,36 F	0,64 F

(La moyenne pondérée, entre les valeurs extrêmes de n pour lesquelles la prime n'est pas nulle, est respectivement 0,64 F et 0,85 F ; la moyenne pondérée générale, respectivement 0,45 et 0,60 F).

Ce tableau fait ressortir de fortes différences du coût marginal, suivant le trafic, différences que montre immédiatement l'examen de la courbe moyenne considérée. Il est bien évident, dans ces conditions, que les résultats obtenus par cette méthode sont assez peu sûrs. Aussi est-il apparu comme étant plus efficace chaque fois que cela est possible, de comparer le nombre d'heures supplémentaires effectivement allouées au cours de 2 années au nombre de bateaux passés à l'écluse pendant ces deux années. Si la variation de ce dernier n'est pas trop faible, le quotient des différences entre ces nombres donnera le nombre d'heures supplémentaires correspondant à un bateau. Il conviendra toutefois de s'assurer que ce nombre n'est pas supérieur aux maxima de $0,77 \times \frac{1}{4}$

ou $0,77 \times \frac{1}{3}$ d'heure suivant que l'écluse est ou non électrifiée, autrement dit que le coût marginal ne dépasse pas respectivement 1,19 F ou 1,59 F par bateau-écluse.

V-3-4-4 - Un calcul analogue a été fait pour les ponts mobiles où l'on admet que la durée de travail effectif correspondant au passage d'un bateau est de 12,5 minutes, soit un nombre maximum de $\frac{1}{4,8}$ heure par bateau.

V-3-4-5 - Sur certaines voies à grand gabarit, il est fait usage de méthodes analogues ; c'est ainsi que, sur la Moselle, il est compté, pour l'agent des travaux publics de l'Etat chargé de la manoeuvre de l'écluse, une demi-heure par demi-bassinée utile, quel que soit le nombre de bateaux passés au cours de cette demi-bassinée ; l'on doit alors, pour répartir la charge correspondante entre les diverses catégories de bateaux, affecter ceux-ci d'un coefficient de proportionnalité qui devrait être déterminé dans les conditions définies au § V-3-1-2 ci-dessus.

V-3-5-1 - Bien que le frottement répété des bateaux sur les maçonneries d'écluses entraîne une certaine usure de celles-ci, les réparations que l'on est amené à y faire sont toujours la conséquence de phénomènes étrangers au nombre de bateaux passés, tels que des défauts dans la mise en oeuvre des maçonneries et surtout les effets du gel. Le groupe de travail a estimé qu'il n'avait pas à prendre en compte des dépenses de cette nature dans le calcul des coûts marginaux.

V-3-5-2 - Par contre, les cornières de protection des maçonneries, les bollards des écluses ou des quais, les lisses des estacades de guidage ou d'attente subissent une usure qui nécessite leur remplacement au bout d'un certain nombre de passages de bateaux. La durée de vie de la partie rigide des estacades peut elle-même, dans une certaine mesure, être réduite du fait du choc des bateaux. Le coût marginal de ces divers organes peut être considéré comme égal à leur coût moyen ou à une fraction de celui-ci. Le Groupe de travail a finalement admis, pour les canaux du type Freycinet que :

- le coût marginal, par bateau, des bollards fixes et des cornières de protection des écluses pouvait être évalué à 10 centimes, ce qui correspond sensiblement à un renouvellement de ces organes tous les 100 000 bateaux,

- la dépense de renouvellement des lisses et poutres de couronnement des estacades est entièrement marginale et correspond à un renouvellement de ces éléments tous les 100 000 bateaux,
- la partie variable avec le trafic de la dépense de renouvellement du corps des estacades est une fonction croissante du trafic annuel ; nulle pour un trafic nul, elle serait égale à 100 % pour un trafic de saturation, évalué à 20 000 bateaux par an pour une écluse Freycinet. L'intervalle entre les renouvellements successifs varie avec le type d'estacade. Il correspond au passage de 500 000 bateaux pour une estacade en béton et d'1 000 000 de bateaux pour une estacade en palplanches.

V-3-6 - Les dépenses de pompage comportent une part indépendante du trafic ; cette part concerne essentiellement l'alimentation en eau des biefs en vue de faire face aux consommations d'eau résultant de l'évaporation, des infiltrations et des fuites aux ouvrages. Les pompes constituent, d'ailleurs, en général, un complément à une alimentation gravitaire, qui est suffisante pendant une partie de l'année. La détermination de la partie de la dépense de pompage fonction du trafic, et évidemment proportionnelle au nombre de cycles d'éclusage devra donc résulter d'une étude faite, pour chaque voie, des quantités d'eau nécessaires aux seuls éclusages.

V-4-0 - Les dépenses de maintenance de l'infrastructure des biefs des voies navigables sont :

- soit totalement indépendantes du trafic (par exemple dépenses relatives aux barrages sur les rivières canalisées, la manœuvre de ces barrages n'étant fonction que du régime du cours d'eau),

- soit plus ou moins variables avec celui-ci.

Ce sont ces dernières seules qui interviennent dans la détermination des coûts marginaux d'usage. Il est apparu au groupe de travail que seule une analyse méthodique des divers chefs de dépenses de maintenance de chaque élément d'ouvrage pourrait conduire à un résultat valable. Les divers types d'ouvrages à considérer sont :

Les ponts canaux,

les portes de garde,
les défenses de berge,
le chenal proprement dit,
les souterrains.

V-4-1 - La maintenance des ponts canaux et des portes de garde paraît bien être, comme celle des maçonneries d'écluses, indépendante du trafic.

V-4-2 - L'expérience que l'on peut avoir de défenses de berges de très bonne qualité, parmi lesquelles on peut ranger notamment les rideaux de palplanches métalliques de hauteur suffisante (1), montre que leur durée est en fait indépendante du trafic. La théorie et la pratique indiquent, à ce sujet, que les effets du batillage ne se font plus sentir à une certaine profondeur en dessous du niveau normal de l'eau (de l'ordre de 0,7 m à 1 m sur les canaux à petit gabarit) et qu'il suffit en conséquence que la partie verticale des rideaux ait une hauteur au moins égale à cette profondeur pour que les terres dans lesquelles les palplanches sont encastrées ne soient pas érodées par le passage des bateaux. Les défenses de berges en question n'interviennent donc pas dans le calcul des coûts marginaux.

.../...

(1) Les accidents survenus à des rideaux de palplanches proviennent la plupart du temps d'une hauteur insuffisante de ceux-ci, résultant souvent de l'insuffisance des crédits disponibles au moment où ces rideaux ont été construits.

V-4-3-0 - L'entretien d'une section courante de voie navigable porte à la fois sur les dragages et sur les réparations à faire aux berges non ou insuffisamment revêtues. L'ensemble des dépenses correspondantes constitue le coût d'entretien de cette section de voie. On admettra que :

- comme il a été indiqué au § V-4-2 ci-dessus, les défenses de berges nouvelles ont un coût d'entretien nul,

- les berges non revêtues ou revêtues de défenses de qualité inférieure ont un coût d'entretien b qui est, pour une part, indépendant du trafic Q , et, pour le reste, proportionnel à celui-ci ($b = b_1 + b_2 Q$).

V-4-3-1 -- Soit l km la longueur de la voie courante d'une section, c'est-à-dire la longueur totale de cette section diminuée de celle des ouvrages. La longueur des berges de la section sera $2l$. A l'époque t , la section considérée comporte, d'un côté ou de l'autre de la voie, des berges revêtues de défenses "nouvelles" ; le pourcentage de la longueur de ces berges à la longueur totale, $2l$, des berges de la section est $p(t)$, p étant obligatoirement inférieur ou égal à 1 ; la longueur des berges revêtues est donc $2l p(t)$ et, par suite, la longueur de voie restant à entretenir est :

$$l - \frac{1}{2} \times 2l p(t) = l [1 - p(t)]$$

Soit a le coût d'établissement du kilomètre de défenses de berges "nouvelles", b le coût moyen annuel d'entretien du kilomètre de section non revêtue de telles défenses (ainsi qu'il a été indiqué au § V-4-3-0 ci-dessus, $b = b_1 + b_2 Q$), j le taux d'actualisation continu (on prendra, en tant que de besoin, $j = 1,07$). Entre les instants t et $t + dt$,

- le coût des défenses de berges nouvelles mises en place est $2al \frac{dp}{dt} dt$

- le coût d'entretien des sections non (ou insuffisamment) revêtues est $[1 - p(t)] bl dt$

$$\text{soit au total : } \left[2a \frac{dp}{dt} + (1 - p) b \right] l dt = A l dt, \quad (1)$$

A étant le crédit global que l'on peut affecter, en moyenne, chaque année au kilomètre de voie courante (que les berges en soient revêtues ou non) ; A est supposé supérieur ou égal

à $(1 - p_0) b$, faute de quoi l'entretien serait compromis, d'où

$$A = (1 - p_0) b (1 + m)$$

V-4-3-2 - Si m est nul, il n'est pas réalisé de défenses de berges, p reste constamment égal à p_0 , et l'on peut admettre que le coût marginal d'usage des biefs est

$$b_2 l (1 - p_0)$$

V-4-3-3 - Si m n'est pas nul, on réalisera progressivement le programme de défenses de berges qui sera achevé l'année T pour laquelle $p(T) = 1$. Postérieurement à cette année T , le coût marginal d'usage de la voie sera nul, comme il est indiqué au § V-4-2 ci-dessus. L'intégration de l'équation différentielle (1), en tenant compte des conditions aux limites :

$$p = p_0 \text{ pour } t = 0$$

$$p = 1 \text{ pour } t = T$$

et en supposant a et b constants, conduit aux relations suivantes :

$$T = \frac{2a}{b} L \left(\frac{1 + m}{m} \right)$$

L étant le symbole du logarithme naturel, soit :

$$e^{\frac{b}{2a} T} = \frac{1 + m}{m}$$

$$\text{et } 1 - p(t, T) = \frac{A}{b} \left[1 - e^{-\frac{b}{2a} (T - t)} \right] \quad (2)$$

V-4-3-4 - On suppose qu'à l'instant t , compris dans l'intervalle $0, T$ le trafic augmente de dQ pendant un temps dt pour reprendre ensuite la valeur Q . Les dépenses d'entretien augmenteront de :

$$b_2 l (1 - p) dQ$$

On peut alors faire deux hypothèses :

.../...

V-4-3-4-1 - La première consiste à admettre que les crédits disponibles soient rigoureusement constants ; l'augmentation des dépenses d'entretien entraînera alors une diminution des dépenses de berges mises en oeuvre :

$$l dp = - \frac{b_2 l}{2a} (1 - p) d Q$$

Cette diminution de p conduira à un allongement de la durée $T - t$ du programme restant à réaliser, que l'on peut calculer en différenciant par rapport à T l'équation (2) ci-dessus, d'où :

$$- l dp = - \frac{A l}{2a} e^{-j(T-t)} - \frac{b}{2a} (T - t) d T$$

Il en résultera une dépense supplémentaire $A l d T$, au cours de l'année T , dépense qui, actualisée à l'année t , sera

$$A l d T e^{-j(T-t)}$$

soit

$$b_2 l (1 - p) e^{-j(T-t)} - \frac{b}{2a} (T - t) d Q$$

Le coût marginal d'usage de la voie courante sera dès lors

$$b_2 l (1 - p) e^{-j(T-t)} - \frac{b}{2a} (T - t) = b_2 l \frac{A}{b} \left[e^{-j(T-t)} - e^{-j(T-t)} \right] \quad (3)$$

Ce coût marginal décroît avec t et s'annule pour $t \geq T$. La tarification ne peut commodément être mise à jour tous les ans et, pour éviter des variations trop fréquentes, il peut paraître indiqué d'adopter, pour le coût marginal, un coût x fixe qui donnerait, pendant la période se terminant à l'époque T , la même recette actualisée que celle obtenue par l'application des coûts marginaux réels pendant la même période, soit

$$x = \frac{b_2 AL}{b} \frac{1}{\int_0^T e^{-jt} dt} \left[\int_0^T e^{(-j + \frac{b}{2a})(T-t)} e^{-jt} dt - \int_0^T e^{-j(T-t)} e^{-jt} dt \right]$$

ou

$$x = \frac{b_2 AL}{b} \frac{j}{1 - e^{-jT}} \left[e^{(-j + \frac{b}{2a})T} \frac{1 - e^{-\frac{b}{2a}T}}{\frac{b}{2a}} - e^{-jT} T \right]$$

soit encore, en remplaçant T et A par leurs valeurs

$$x = b_2 l (1 - p_0) f(m)$$

avec

$$f(m) = \frac{2aj}{b} (1+m) \left[\frac{1}{m} - L \frac{1+m}{m} \right] \frac{1}{\left(\frac{1+m}{m} \right) \frac{2aj}{b} - 1} \quad (4)$$

Lorsque, - ce qui est toujours le cas pour les voies navigables qui ont fait l'objet d'une étude particulière -, $\frac{2aj}{b}$ est supérieur à 1, $f(m)$ tend vers 0 lorsque m tend vers 0.

Ceci correspond au fait que, si m tend vers 0, c'est-à-dire si on ne réalise pas de défenses de berges, la durée T pendant laquelle l'entretien des biefs devra être assuré est infinie, et l'actualisation de la dépense supposée reportée à l'année T donne un résultat nul. Par ailleurs $f(m)$ tend vers $\frac{1}{2}$ si m augmente indéfiniment.

V-4-3-4-2 - La deuxième hypothèse consiste à admettre que si, à l'instant t et pour une durée dt, le trafic augmente de d Q, pour reprendre ensuite sa valeur initiale Q, les crédits d'entretien disponibles permettront de couvrir la dépense

.../...

supplémentaire occasionnée par le passage du trafic supplémen-
taire d Q :

$$b_2 l (1 - p) d Q$$

Comme dans le cas précédent, on calculera le coût fixe y qui donnerait, pendant la période se terminant à l'époque T, la même recette actualisée que celle obtenue par l'application des coûts marginaux réels pendant la même période, soit

$$y = b_2 l \frac{1}{\int_0^T e^{-jt} dt} \times \frac{A}{b} \int_0^T \left[1 - e^{-\frac{b}{2a}(T-t)} \right] e^{-jt} dt = b_2 l (1 - p_0) g(m)$$

avec

$$g(m) = (1 + m) \left[1 - \frac{1}{1 - \frac{b}{2aj}} \frac{\frac{m}{1+m} - \left(\frac{m}{1+m}\right) \frac{2aj}{b}}{1 - \left(\frac{m}{1+m}\right) \frac{2aj}{b}} \right]$$

Compte tenu de ce que $\frac{2aj}{b}$ est supérieur à 1, g(m) tend vers 1 lorsque m tend vers 0. Ceci exprime que si aucune défense de berge nouvelle n'est exécutée, le coût marginal d'usage reste égal à $b_2 l (1 - p_0)$. Par ailleurs g(m) tend vers 1/2 si m augmente indéfiniment.

V-4-3-4-3 - Ces deux formules donnent des résultats sensiblement différents : la première conduit, en moyenne, à des coûts moins élevés que la seconde ; dans l'esprit qui a guidé le travail du groupe, et qui consiste à donner des résultats aussi indiscutables que possible, la seconde formule sera retenue.

V-4-3-5 - Ce calcul théorique ne permet pas de définir, pour une voie donnée, les valeurs de b_1 et de b_2 . Il faut, dans chaque cas, faire des hypothèses en ce qui concerne la relative-
vité de ces deux coefficients, ou comparer les résultats obtenus sur diverses voies analogues.

.../...

V-4-4 - Il a été admis, par ailleurs, en ce qui concerne la répartition des coûts marginaux de maintenance de la voie entre bateaux, qu'il n'y avait pas de discrimination à faire entre bateaux chargés ou vides d'une même catégorie, et que le critère à retenir était la puissance moyenne de la catégorie de bateau considérée.

V-5 - L'exposé qui vient d'être fait montre bien à quel point la détermination des coûts marginaux d'usage des voies navigables présente des difficultés et finalement d'incertitudes.

CHAPITRE VI - COMPARAISONS ET RESULTATS.

VI-0 - Les monographies de 14 voies ou sections de voies, de caractéristiques très différentes tant par leurs dimensions que par leurs trafics, sont annexées au présent rapport (annexes 1 à 14). Ces voies ou sections comprennent :

- 9 canaux de type Freycinet sur lesquels le nombre moyen annuel de bateaux varie de 1.800 à 18.000 (1).

- 5 sections de fleuves ou rivières canalisées.

Le tableau ci-joint (annexe 15) rappelle les principaux résultats numériques de ces monographies. La dispersion de ces résultats est en soi normale et il est intéressant de les comparer et d'en déduire, dans la mesure du possible, des valeurs paraissant présenter le meilleur degré d'exactitude.

.../...

(1) La Scarpe supérieure, dont les caractéristiques et les coûts d'entretien se rapprochent beaucoup plus de celles d'un canal que de celles d'une rivière canalisée, est rangée parmi ces voies. Il en est de même, pour le calcul du coût marginal d'usage en bief, du canal de l'Est (branche Nord), où ce calcul a été fait en admettant, - ce qui est exact à 95 % -, que toutes les dépenses correspondantes concernent les seules dérivations.

VI-1 - Coût marginal d'usage du bief par bateau-kilomètre.

VI-1-1 - Ce coût est donné par la formule

$$b_2 (1 - p_0) g (m)$$

définie au § V-4-3-4 ci-dessus.

VI-1-2 - Il est bien évident que, pour une voie donnée, les données numériques figurant dans les monographies ne permettent de déterminer que la valeur de $b = b_1 + b_2 Q$, et non celle de b_2 , seule intéressante pour le calcul du coût marginal. A moins de faire des hypothèses a priori incontrôlables sur les valeurs relatives de b_1 et de $b_2 Q$, la valeur de b_2 ne semble donc pouvoir être définie que par la comparaison entre les diverses voies considérées. On est ainsi amené à chercher, à partir de cette comparaison, une valeur moyenne de b_2 qui puisse être considérée comme générale. On remarque tout de suite que cette valeur est très différente en canal et en rivière, ce qui conduit à définir b_2 , non pas pour l'ensemble des voies, mais pour chaque groupe relativement homogène de celles-ci.

a) En canal de gabarit Freycinet, un calcul fait sur l'ensemble des voies, dont on admet que la moyenne représente bien la formule $b = b_1 + b_2 Q$, conduit à prendre $b_1 = 2.000$ et $b_2 = 0,95$.

b) Dans les mêmes conditions, on peut, pour les cours d'eau canalisés, admettre que $b_1 = 400$ et $b_2 = 0,045$.

VI-2 - Coût marginal par bateau et par chute.

VI-2-1 - Il est remarquable de constater que, pour un même bateau de type Freycinet, les coûts marginaux, par bateau et par chute, ne varient qu'assez peu avec le type d'écluse (petite ou grande) et s'échelonnent de 0,45 à 1,70 F avec moyenne pondérée voisine de 1. Les différences observées résultent surtout des dépenses marginales de personnel : nulles sur les voies à faible trafic lorsque les écluses sont tenues par des agents des T.P.E., elles sont supérieures à 1 F sur ces mêmes voies, lorsque les écluses sont tenues par des éclusiers auxiliaires : dans le premier cas, les dépenses totales sont supérieures à ce qu'elles sont dans le second, c'est-à-dire varient

.../...

en sens inverse des coûts marginaux. Il y a là une situation qui peut paraître anormale.

VI-2-2 - Pour les grands automoteurs et les convois rhénans, les résultats s'écartent assez nettement suivant les voies, ce qui peut s'expliquer par le mode de calcul des coefficients d'équivalence.

VI-3 - Le pourcentage de couverture des dépenses éluables par les recettes qui résulteraient, pour le trafic 1967, de la perception de redevances égales au coût marginal d'usage, varie beaucoup d'une voie à l'autre ; le minimum de 6 % est atteint sur une voie à faible trafic où toutes les écluses sont manoeuvrées par des agents des T.P.E. qui, de ce fait, ne perçoivent pas d'heures supplémentaires. Il est suivi de près (10,5 %) par une autre voie à faible trafic où les écluses sont généralement manoeuvrées par des éclusiers auxiliaires. On trouve ensuite 12,5 % pour une voie à grand gabarit où le trafic se développe rapidement. Le maximum 41 % concerne l'Oise canalisée, suivie de près par le canal latéral à l'Aisne (40,5 %). Dans les 9 autres cas, le pourcentage considéré est compris entre 13,5 et 31,5 %.

A quelques exceptions près, ce pourcentage croît avec le trafic.

VI-4 - Les coûts à la tonne-kilomètre correspondant, pour le trafic 1967, aux recettes qui résulteraient de la perception de redevances égales au coût marginal d'usage (en centimes par tonne-kilomètre) sont intéressants à connaître, car ils pourraient, en pratique, constituer une base possible de perception des redevances. Ils reflètent d'assez près les résultats des VI-1 et VI-2 ci-dessus.

a) Voies au gabarit Freycinet.

Les coûts varient de 0,19 à 0,74 c avec une moyenne pondérée générale de 0,363 c.

b) Fleuves et rivières canalisées.

Les coûts varient de 0,045 à 0,16 c avec une moyenne pondérée générale voisine de 0,061 c.

c) Ensemble des voies.

L'ensemble des voies étudiées correspond à un trafic total de 5.940 millions de tonnes-kilomètres, soit 55 % du trafic total des voies navigables françaises, Rhin et Grand Canal d'Alsace exclus. L'ensemble des recettes correspondant à la perception de redevances égales au coût marginal d'usage serait de 7.462.500 F, soit 0,126 centime par tonne-kilomètre.

VI-5 - En admettant que ces résultats soient extrapolables aux voies qui n'ont pas fait l'objet d'études particulières, on peut se faire une idée des ordres de grandeur des coûts marginaux d'usage de ces voies.

VI-5-1-1 - En ce qui concerne les voies à grand gabarit étudiées, la recette correspondant à des redevances égales au coût marginal d'usage ressort à 2.441.000 F, dont environ 1.315.000 F correspondent aux passages des ouvrages, pour un tonnage kilométrique de 4.420 millions de tonnes-kilomètres, soit une moyenne globale de 0,0555 centime par tonne-kilomètre, dont 0,0298 pour le franchissement des ouvrages.

VI-5-1-2 - Si l'on ne tient pas compte ni du Rhin, du Grand Canal d'Alsace et du Rhône qui ont un régime particulier, ni des estuaires de fleuves où le coût marginal est nul, les voies à grand gabarit qui n'ont pas fait l'objet d'études sont : la Seine, dans sa traversée de PARIS et en aval de BAS CLEON (12 + 17 km, aucune écluse, 100,5 + 150,8 millions de t-km), le canal de TANCARVILLE (25 km, 2 écluses, 113,9 millions de t-km), la Meuse en aval de GIVET (2 km, 0 écluse, 3,3 millions de t-km), la Saône de CHALON à LYON (142 km, 5 écluses, 175,3 millions de t-km) et le Canal VALENCIENNES-DUNKERQUE (180 km, 10 écluses, 531,8 millions de t-km), au total 378 km, 17 écluses, 1.065,6 millions de t-km. Les recettes qui correspondraient au coût marginal d'usage de l'ensemble de ces voies peuvent être évaluées approximativement à 275.000 F, en ce qui concerne les biefs, et à 222.000 F pour le franchissement des ouvrages, compte tenu des longueurs moyennes des biefs respectives, ensemble 497.000 F ou 0,047 centime par tonne-kilomètre.

VI-5-2-1 - Deux rivières canalisées au gabarit Freycinet ont été étudiées, la Meuse et l'Aisne. Une moyenne pondérée des résultats obtenus conduit à un coût marginal d'usage par tonne-kilomètre de 0,061 centime en bief et 0,146 centime pour les

.../...

franchissements de chute (longueur moyenne pondérée des biefs de 5,85 km pour une longueur totale de 184,6 km).

VI-5-2-2 - Les autres rivières canalisées de gabarit Freycinet ont une longueur totale de 966 km pour 141 écluses, soit une longueur moyenne de bief de 6,85 km. Le trafic y atteint 955 millions de tonnes-kilomètres. En admettant que l'extrapolation des résultats précédents soit valable, le coût marginal d'usage de ces rivières s'établirait en centime, par tonne-kilomètre, à :

$$0,061 + 0,146 \times \frac{5,85}{6,85} \quad \text{soit } 0,186$$

La perception de péages égaux au coût marginal d'usage conduirait à une redevance globale de 1.775.000 F.

VI-5-3 - c) L'ensemble des canaux du type Freycinet a une longueur totale de 2.720 km, comporte 1.020 écluses et assure un trafic de 2.520 millions de tonnes-kilomètres.

VI-5-3-1 - Les études ont porté sur un échantillonnage de 698 km, avec 340 écluses (soit une longueur moyenne de bief de 2,05 km), assurant un trafic de 1.283 millions de tonnes-kilomètres. Elles ont conduit à un coût marginal d'usage moyen pondéré de 0,363 centime par tonne-kilomètre comprenant 0,168 centime en bief et 0,195 centime pour le franchissement des ouvrages.

VI-5-3-2 - Les voies qui n'ont pas fait l'objet d'études ont approximativement une longueur totale de 2.020 km, avec 680 écluses, soit une longueur moyenne de bief de 3 km, et assurent un trafic de 1.237 millions de tonnes-kilomètres. L'extrapolation des résultats précédents conduirait à un coût marginal d'usage de :

$$0,168 + 0,195 \times \frac{2,05}{3} \quad \text{soit } 0,30 \text{ centime par t-km.}$$

La recette qui correspondrait à la perception de péages égaux à ce coût marginal d'usage serait de 3.710.000 F.

VI-5-4 - Il est sans doute beaucoup plus délicat d'extrapoler les résultats qui précèdent aux voies navigables qui

.../...

n'atteignent pas le gabarit Freycinet, voies dont la longueur totale est de 2.213 km pour un nombre d'écluses d'environ 760 (longueur moyenne des biefs de 2,9 km) et qui assurent un trafic de 267 millions de tonnes-kilomètres. Si l'on admet cette extrapolation, on trouverait un coût marginal d'usage de 0,306 centime par tonne-kilomètre et une recette globale correspondante de l'ordre de 850.000 F.

VI-5-5 - En conclusion, et dans la mesure où les extrapolations faites aux paragraphes précédents sont valables, on peut résumer comme suit la situation des voies navigables françaises, Rhin, Grand Canal d'Alsace, Rhône et estuaires maritimes exclus :

Types de voies	Coût marginal en centime d'usage par tonne-kilomètre	Recettes globales correspondant à la perception de péages égaux au coût marginal d'usage en francs
Grand gabarit	0,054	2.940.000
Rivières canalisées au gabarit Freycinet	0,18	2.260.000
Canaux de gabarit Freycinet	0,33	8.360.000
Autres voies	0,31	850.000
	Ensemble	<u>14.410.000 F</u>

CHAPITRE VII - CÔUTS MARGINAUX EXTERNES.

VII-0 - Les coûts marginaux externes sont ceux que peuvent ressentir des tiers à l'occasion d'une circulation supplémentaire sur la voie navigable.

VII-1 - Le coût des accidents et celui des nuisances sont nuls ou totalement négligeables.

VII-2 - Seuls peuvent être valablement chiffrés et, par suite, pris en compte les coûts occasionnés au trafic routier par le fonctionnement des ponts mobiles. Leur calcul peut être conduit sur les bases suivantes :

Soit N le nombre de véhicules routiers franchissant le pont pendant la durée T (heures) de l'horaire de navigation (généralement T = 12), a et b les pourcentages de véhicules légers et de poids lourds (a + b = 1), m et n la valeur horaire d'attente d'un véhicule léger ou d'un poids lourd et p le nombre de minutes pendant lesquelles le passage d'un bateau arrête la circulation routière.

En admettant une durée moyenne d'attente de la circulation routière égale à $\frac{p}{2}$, le coût marginal externe provoqué par le passage de ce bateau est :

$$\frac{N}{T} \frac{p}{60} \times \frac{p}{2} \frac{am + bn}{60} = \frac{N}{7.200 T} p^2 (am + bn)$$

VII-3 - L'application de cette formule doit être faite pour chacun des ponts mobiles existant sur les voies étudiées. Étant remarqué que l'on ne trouve de tels ponts que sur des voies type Freycinet, on prendra systématiquement T = 12. Par ailleurs on admettra que m = 8 (francs par heure) et n = 15.

1°/ On trouve 4 ponts mobiles sur le Canal du Rhône au Rhin Sud.

Les trois premiers sont des ponts levants.

Pour le premier on peut admettre $N = 100$ $a = 0,8$ $b = 0,2$ et $p = 5$, soit un coût de 0,30 F.

Pour le second $N = 160$ $a = 0,8$ $b = 0,2$ et $p = 8$, soit un coût de 1,10 F.

Pour le troisième $N = 280$ $a = 0,8$ $b = 0,2$ et $p = 6$, soit encore un coût de 1,10 F.

Le quatrième est un pont tournant où $N = 360$ $a = 0,9$ $b = 0,10$ et $p = 12$, soit un coût de 5,20 F.

Le coût marginal externe pour l'ensemble de la voie est ainsi de 7,70 F. Il représente 14 % du coût marginal d'usage.

2°/ Sur le Canal de l'Est (branche Sud), les ponts mobiles sont au nombre de 3, dont deux donnent passage à des chemins départementaux, relativement peu fréquentés, et le troisième à un trafic routier à peu près nul (il n'est emprunté que par quelques pêcheurs à la ligne pour traverser le canal). Le nombre total de véhicules empruntant l'ensemble des deux premiers ouvrages est de $N = 500$ par jour, dont une centaine de poids lourds ($a = 0,8$ $b = 0,2$) ; la durée moyenne d'interruption pour le passage d'un bateau est $p = 5$ minutes.

Le coût marginal externe est donc, pour l'ensemble de la section de voie étudiée :

$$\frac{500}{7.200 \times 12} \times 5^2 (0,8 \times 8 + 0,2 \times 15), \text{ soit } 1,4 \text{ F.}$$

Il ne représente qu'environ 0,7 % du coût marginal d'usage.

3°/ Sur le Canal de la Marne au Rhin les ponts mobiles sont au nombre de 6 : FAINS (écluse 42 versant Marne), BAR-le-DUC (deux ouvrages), TOUL, et NANCY (deux ouvrages). Ce sont tous des ponts levants pour lesquels $p = 4$, et où la physionomie de la circulation routière est assez homogène ($a = 0,9$ $b = 0,1$).

Sur l'ensemble des quatre premiers, on peut admettre que la valeur totale de N est égale à 5.000, d'où un coût marginal externe de :

$$\frac{5.000}{7.200 \times 12} \times 4^2 (0,9 \times 8 + 0,1 \times 15), \text{ soit } 8 \text{ F.}$$

.../...

Sur les deux ponts de NANCY, la situation est un peu différente du fait que la navigation est en pratique systématiquement interrompue au moment des pointes du trafic routier, soit entre 12 et 12 h 30 d'une part, entre 13 et 13 h 30 d'autre part.

Le nombre moyen des véhicules routiers circulant pendant les heures de navigation est de 10.000 par jour. Du fait de l'interruption de la navigation pendant les heures de pointe, on peut raisonnablement admettre $N = 8.000$ répartis sur 11 heures, d'où un coût marginal externe de :

$$\frac{8.000}{7.200 \times 11} \times 4^2 (0,9 \times 8 + 0,1 \times 15), \text{ soit } 14 \text{ F pour}$$

chacun de ces ouvrages.

Il convient toutefois de déduire de ce coût celui que provoque, pour la navigation, le maintien de la circulation routière pendant deux fois une demi-heure.

Le trafic de la voie navigable étant de 40 bateaux par jour, le nombre moyen de passages est de 3,33 à l'heure. La durée moyenne d'attente, pour une interruption d'une demi-heure, est de 15 minutes.

En admettant que le coût de l'heure d'attente d'un bateau automoteur soit de 13,50 F, le coût moyen, par bateau, de l'interruption de navigation est de :

$$\frac{1}{40} \times 2 \times \frac{3,33}{2} \times \frac{13,5}{4} = 0,28, \text{ soit } 0,30 \text{ F.}$$

Le coût marginal externe provoqué par le passage d'un bateau à l'un des ponts considérés est donc de $14,00 - 0,30 = 13,70$ F.

On est donc conduit à admettre, pour l'ensemble de la section étudiée du Canal de la Marne au Rhin, un coût marginal externe de :

$8 + 2 \times 13,70$, soit 35,50 F (environ 20 % du coût marginal d'usage).

4°/ Sur la dérivation de CHAUNY du Canal de SAINT-QUENTIN, le nombre de bateaux ayant obligé à une manoeuvre du pont mobile n'a été que de 1.585 en 1967 (et encore il arrive fréquemment que deux de ces bateaux passent simultanément). Ce nombre est inférieur à 1 % du trafic du canal proprement dit.

On peut ainsi négliger, pour l'ensemble de la section, le coût marginal externe.

5°/ En conclusion, pour l'ensemble des voies étudiées, la perception d'une redevance égale aux coûts marginaux externes conduirait à une recette de :

Canal du Rhône au Rhin Sud	7,7	x	1.800	soit	14.000
Canal de l'Est branche Sud	1,4	x	2.700	soit	4.000
Canal de la Marne au Rhin	35,50	x	11.400	soit	405.000
Canal de SAINT-QUENTIN					p.m.

				Total	423.000

Ce total représente environ 5 % des recettes que procurerait la perception de redevances égales au coût marginal d'usage sur l'ensemble des voies étudiées.

VII-4-1 - Les calculs précédents, portant sur 14 ouvrages, conduisent à des résultats extrêmement diversifiés puisque, suivant l'intensité de la circulation routière et la durée de l'interruption de celle-ci par une manoeuvre du pont mobile, les coûts marginaux externes par ouvrage et par bateau varient de 0 à 13,7 F avec une moyenne de 3,19 F. On peut se demander quelle signification a cette moyenne et ce n'est donc qu'avec les plus expresses réserves qu'à défaut d'une étude particulière de chacun des 114 autres ponts mobiles existants sur les canaux français, on peut chercher à l'extrapoler.

VII-4-2 - Il convient d'autre part de connaître, pour chacune des voies sur lesquelles ces ouvrages existent, le nombre moyen annuel de bateaux chargés ou vides qui nécessitent leur manoeuvre. Or les statistiques officielles ne donnent que les tonnages transportés et le chargement moyen des seuls bateaux chargés. Il y a donc lieu de faire une seconde hypothèse concernant le chargement moyen de l'ensemble des bateaux chargés et vides naviguant sur une voie. On peut raisonnablement admettre, en ce qui concerne les canaux de gabarit Freycinet, que ce chargement moyen est celui constaté sur l'ensemble des voies étudiées, soit 170 T.

VII-4-3 - Le calcul des recettes R que procurerait la perception, sur un canal comportant des ponts mobiles, de péages égaux aux coûts marginaux externes, consisterait donc, si l'on admet les deux hypothèses ci-dessus, à appliquer la formule :

$$R = 3,19 n \frac{T}{170} ,$$

dans laquelle n est le nombre de ponts mobiles existant sur la voie et T le tonnage kilométrique empruntant la voie divisé par le nombre de kilomètres (tonnage moyen).

VII-4-3-1 - Ce calcul donnerait pour les 97 ponts mobiles existants sur les canaux de gabarit Freycinet, autres que les 14 ouvrages étudiés, une recette de l'ordre de 970.000 F, soit au total, pour l'ensemble de 111 ponts mobiles existant sur ces canaux, une recette de l'ordre de 1.400.000 F, représentant 16,7 % des recettes correspondant aux coûts marginaux d'usage correspondants.

VII-4-3-2 - Sur les voies à grand gabarit (canal du HAVRE à TANCARVILLE), un calcul mené sur des bases similaires conduirait à une valeur de l'ordre de 50.000 F (2 ouvrages), soit 1,7 % des recettes qui correspondraient aux coûts marginaux.

VII-4-3-3 - On trouverait une valeur du même ordre (50.000 F) sur les voies à petit gabarit (15 ouvrages) où le trafic est faible mais où le chargement moyen des bateaux chargés et vides est sensiblement inférieur à 170 T ; cette valeur correspondrait à 6 % des recettes que donnerait, sur ces voies, la perception de péages égaux au coût marginal d'usage.

VII-4-3-4 - En moyenne les coûts marginaux externes sur l'ensemble des voies navigables (de l'ordre de 1.500.000 F) représenteraient donc 10,5 % des coûts marginaux d'usage, mais il convient de considérer ce résultat comme sujet à de très importantes réserves.

CHAPITRE VIII - COUTS MARGINAUX DE CONGESTION.

VIII-1 - Généralités.

VIII-1-1 - La théorie marginaliste montre que, pour réaliser l'optimum économique, les utilisateurs d'une infrastructure de transport doivent, en plus des coûts marginaux d'usage et des coûts marginaux externes, payer des coûts marginaux de congestion, ou coûts sociaux, qui trouvent leur origine dans la gêne mutuelle des divers utilisateurs de cette infrastructure. D'une manière plus précise, le coût de congestion dû à un élément de trafic supplémentaire est égal au coût supplémentaire que cet élément cause à l'ensemble du trafic préexistant, du fait notamment des pertes de temps qu'occasionne sa présence.

VIII-1-2 - A ce point de vue, la navigation intérieure s'apparente, dans la plupart des cas, à la route ; comme sur celle-ci, la circulation y est libre et n'est soumise qu'à un nombre limité de règles (vitesse maximum) ; départs, temps de parcours, vitesse de circulation sont des variables plus ou moins aléatoires ou plus ou moins liées. Il est toutefois nécessaire de noter que, si la circulation est en principe libre sur les voies navigables, elle ne s'effectue, en dehors du Rhin et de la Moselle, que pendant un nombre limité d'heures par jour (11 heures en hiver, 13 heures en été). En dehors de ces horaires, toute navigation est, soit interdite (petites voies), soit réglementée et soumise à des péages (Basse Seine). La circulation des bateaux est donc, en général, essentiellement discontinue, si bien que les temps de parcours, évalués au niveau, non d'un seul ouvrage ou d'une courte section de voie, mais d'un itinéraire, résultent souvent beaucoup plus de la volonté du marinier et de la qualité de son matériel que de l'importance du trafic et des pertes de temps qui peuvent en résulter, tout au moins pour les voies dont la saturation n'est pas chronique. D'autre part, le nombre relativement restreint de bateaux circulant sur de nombreuses voies fait que l'influence des "individus" est beaucoup plus grande sur les voies navigables que sur les routes et qu'il est par suite beaucoup plus difficile d'obtenir des résultats statistiques valables.

VIII-1-3 - Lorsque la saturation de la voie est jugée excessive, l'Administration peut être conduite à mettre en place une réglementation de la circulation conduisant à une régulation

.../...

du trafic. Cette régulation, qui peut aller jusqu'à imposer de véritables horaires pour le passage de chaque élément de trafic - le problème des coûts de congestion est alors analogue à celui des chemins de fer -, n'est encore qu'exceptionnelle en France. Elle n'existe que sur :

- la Basse Seine où une certaine programmation de passage aux écluses est réalisée

- la Haute Seine où sont installés des centres régulateurs

- le Canal de l'Aisne à la Marne où ont été instaurés des horaires de navigation.

VIII-1-4 - Une organisation de cette nature doit tendre à rendre minimum le coût total, pour la collectivité, de l'utilisation de l'infrastructure. Il serait dès lors utile d'examiner dans quelle mesure une partie des coûts de congestion que l'on peut mettre en évidence sur certaines sections de voies navigables supportant un trafic de bateaux de différentes catégories ne résulte pas, en fait, des règlements en vigueur qui fixent les règles de priorité, de trématage et de passage aux écluses.

VIII-2 - Calcul des coûts marginaux de congestion.

VIII-2-1 - Si on considère une section de voie ou un ouvrage utilisé par N bateaux identiques, le coût total de franchissement supporté par chaque usager peut être mis sous la forme :

$$C_b + t^*$$

où :

C_b représente l'ensemble des coûts fixes supportés par l'usager lors du franchissement de la section (dépenses de propulsion, main-d'oeuvre, etc...).

t^* représente l'ensemble des coûts supportés par l'usager liés au temps de franchissement. Tous les coûts liés aux attentes et aux interactions entre les trafics sont, en particulier, inclus dans t^* . L'évaluation du paramètre t^* peut être difficile si on veut y intégrer tous les coûts liés au temps et notamment les variations de rémunération du personnel navigant.

Le coût marginal de congestion est :

$$N \frac{dt^*}{dN}$$

VIII-2-2 - Pour une voie utilisée par des bateaux de catégories différentes (i) en nombre (ni) tels que les coûts liés aux temps de franchissement soient t*i, le coût marginal de congestion est :

$$A_i = \sum_{j=1}^{j=h} n_j \frac{dt^*j}{dni}$$

VIII-2-3 - Pour le calcul des coûts marginaux de congestion, on peut se contenter de définir t* comme le produit d'un temps par une valeur du temps. Pour cette dernière, les chiffres utilisés sont ceux de l'étude-pilote PARIS-LE HAVRE, - qui avaient été établis d'après les études faites par la Direction des Ports Maritimes et des Voies Navigables et le S.A.E.I. dans le cadre des travaux du groupe de confrontation des coûts de transport -, convenablement réévalués. Le paramètre de valorisation comprend les termes suivants :

A. Le coût C_p^m de l'heure d'utilisation du bateau qui couvre les dépenses variables avec son utilisation, c'est-à-dire :

1°/ Une partie des charges financières du moteur correspondant à l'amortissement qui dépend du nombre d'heures d'utilisation effective.

2°/ La majeure partie de l'entretien du moteur.

3°/ Les dépenses de carburants et lubrifiants.

4°/ Les primes de navigation (suppléments de salaire attribués pendant les heures de navigation effective).

5°/ Une majoration pour frais généraux, dans la mesure où une partie de ces frais ont un caractère marginal. Cette dernière majoration pourra être laissée de côté en pratique, étant donné sa faible importance et le degré d'approximation des calculs.

.../...

Les études effectuées ont montré que l'on pouvait supposer que :

$$C_p^m = C_p^{hn} \left(0,25 + 0,75 \frac{P}{P_0} \right)$$

où :

C_p^{hn} est le coût d'utilisation horaire à la puissance P_0 .

P_0 est la puissance nominale et P la puissance effectivement développée par le moteur.

B. Le coût C_p^h de "mise à disposition" horaire de l'élément propulsif qui comprend donc :

- 1°/ Les charges financières de la coque.
- 2°/ Une partie des charges financières du moteur.
- 3°/ L'entretien de la coque et une partie de l'entretien du moteur.
- 4°/ Les assurances.
- 5°/ Les salaires et charges sociales de l'équipage.
- 6°/ Une majoration pour frais généraux (cf. remarque ci-dessus en A. 5°/).

C. Le coût cb^h de "mise à disposition" des barges accouplées à l'élément propulsif.

La prise en compte de ces coûts se justifie par le fait que si la durée de rotation était augmentée d'une heure, il serait en général nécessaire, pour effectuer les mêmes transports, d'accroître la flotte I d'une quantité égale à $\frac{I}{N}$ si N est le nombre normal annuel d'heures d'utilisation. On voit donc l'importance dans la valorisation du temps de l'existence ou de la non-existence d'une surcapacité chronique de la flotte. Des hypothèses faites à ce sujet dépend en fait la valeur des coûts de congestion en navigation intérieure.

VIII-2-4 - Dans l'étude-pilote PARIS-LE HAVRE, le coût d'immobilisation des marchandises transportées a été négligé. Cette hypothèse paraît fondée car ces coûts, s'ils existent (1), sont très faibles par rapport aux autres éléments de dépense. On le négligera donc également.

VIII-2-5 - Le temps sera valorisé par la formule suivante :

$$V = k (C_p^h + mC_b^h) + 0,25 C_p^{hn}$$

où k est un paramètre fonction de la surcapacité de la flotte (k = 1 si celle-ci est nulle ; k a été pris égal à 0,7 pour la Basse Seine) et m représente le nombre de barges du convoi. Il n'y a pas lieu de distinguer les divers éléments du temps marginal de franchissement des écluses pour la valorisation. En effet, pendant le temps d'inversion (t_1^{inv}) et le temps d'attente (t_t^{at}), le moteur est en général au ralenti (P = 0).

VIII-3 - Corrélations entre le temps de parcours et le trafic.

VIII-3-1 - Le problème fondamental des études des coûts de congestion est donc la détermination d'une relation entre temps de parcours et trafic des diverses catégories de bateaux empruntant une section de voie navigable. Les considérations qui ont été exposées au § VIII-1 ci-dessus montrent la très grande difficulté qu'il y a à mettre en évidence des corrélations significatives entre les temps de parcours et l'importance et la composition du trafic à un niveau ayant une signification économique, c'est-à-dire sur un itinéraire d'une longueur comprise, par exemple, entre 100 et 200 km. Les mesures qui ont pu être faites sur certaines des sections de voies navigables étudiées dans le présent rapport n'ont, la plupart du temps, pas permis de mettre en évidence de telles corrélations entre le nombre de bateaux présents sur une longueur de voie, leur type et le temps de parcours. Une étude systématique, étalée sur plusieurs

.../...

(1) Le stockage flottant est un des avantages de la navigation intérieure.

mois, devrait être entreprise pour voir dans quelle mesure les résultats théoriques, qui sont donnés ci-après, qui ont généralement servi aux calculs des coûts marginaux de congestion et qui mettent en évidence des valeurs relativement élevées de ces coûts, approchent la réalité.

VIII-3-2 - En ce qui concerne les voies de gabarit Freycinet, il existe fréquemment des sections, où les écluses n'ont qu'un seul sas, dont le temps moyen de parcours est inférieur à la journée, sur lesquelles les biefs sont assez courts et ne comportent pas de ports, et où, dès que le trafic atteint une certaine valeur, s'établit une sorte d'autorégulation, les bateaux attendant, s'il y a lieu, aux écluses d'entrée. Les variations en fonction du trafic du temps de franchissement proprement dit de ces sections (écluses d'entrée non comprises) peuvent parfois être mises en évidence. Nuls pour un trafic nul, ces temps augmentent avec le trafic jusqu'à une certaine valeur de celui-ci ; mais, lorsque ce trafic approche du débit de saturation de l'écluse la plus lente, la meilleure exploitation de la voie est obtenue par une régulation de la navigation sur la section considérée (1). La marche des bateaux est alors fixée par un "graphique de régulation" et leur temps de parcours a une valeur constante qui ne dépend que des caractéristiques de la voie : longueur des biefs et durée du cycle d'éclusage de l'écluse la plus lente. Le coût social du parcours de la section tend alors vers zéro, des coûts sociaux ne se manifestant qu'aux écluses d'entrée. Il y a donc, pour le parcours et la section considérée et dans la mesure où une régulation de trafic est instaurée, un maximum du coût social correspondant à un trafic inférieur à celui de saturation.

VIII-3-3 - On peut également remarquer que le coût social est nul sur un fleuve non canalisé, dont la largeur est telle, - comme sur le Rhin en aval de STRASBOURG -, que le trématage puisse pratiquement s'effectuer sans difficulté. Les temps de parcours des divers types de bateaux ne dépendent plus

.../...

(1) L'organisation scientifique du trafic sur une voie navigable à grande circulation. La régulation de la navigation par Louis ALVIN - Consortium pour l'aménagement et la modernisation de la Seine et des voies adjacentes (1958).

alors des trafics, mais seulement de leurs propres caractéristiques (chargement, puissance) ou des conditions extérieures (vitesse du courant, cote des eaux, réglementation).

VIII-3-4 - Il est enfin particulièrement intéressant de mettre en évidence des coûts de congestion sur de grandes voies, à exploitation industrielle, où coexistent des matériels de productivité différente et où la recherche d'une productivité maximale au niveau des entreprises montre que les utilisateurs prennent en considération la valeur du temps. En dehors des cas visés aux §§ VIII-3-2 et VIII-3-3 ci-dessus où le coût social est nul, et de ceux où il a été possible de déterminer directement une relation entre temps de parcours et trafic, l'étude de telles relations est très complexe. On l'a abordée en se limitant aux écluses proprement dites, laissant de côté les temps de parcours en bief qui sont pratiquement, en général, peu variables avec le trafic. Or les temps de franchissement des écluses dépendent de nombreux facteurs dont certains sont des données exogènes pratiquement invariables (temps d'ouverture et de fermeture des portes, temps d'inversion, dimensions des écluses et des bateaux) et d'autres ne sont déterminés qu'en fonction de la situation à un instant donné, donc de façon endogène (temps d'attente, répartition des bateaux entre les écluses d'un même groupe, composition des bassinées, temps de mise en place dans l'écluse). On a essayé de recourir à des études analytiques menées d'après les principes suivants :

VIII-3-5 - Le cas simple d'une écluse unique séparant deux biefs d'une voie navigable empruntée par un seul type de bateau se rencontre très fréquemment en France sur les canaux de type Freycinet où circulent des automoteurs ou des péniches de 38,25 m x 5 m. Suivant la terminologie classique de la théorie des phénomènes d'attente (1), il est possible de distinguer :

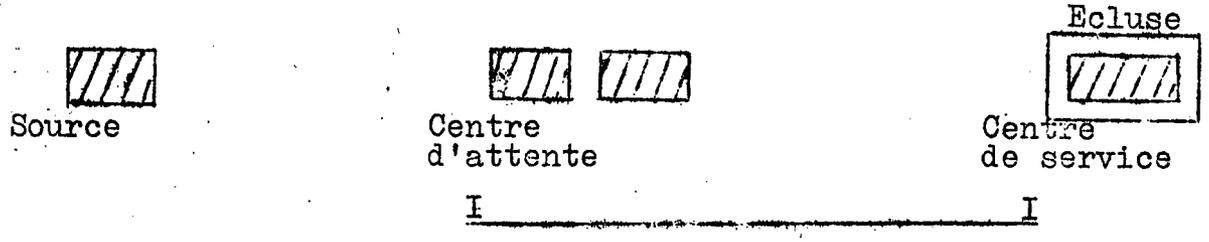
- des arrivées d'unités (les bateaux) à des intervalles de temps irréguliers ou réguliers, dans un système. L'origine de ces unités, extérieure au système, sera appelée "source" (il s'agit ici de l'écluse ou du bief précédent) ;

.../...

(1) A. KAUFMANN et R. CRUON - Les phénomènes d'attente - Théorie et applications - DUNOD - PARIS (1961).

- un système comprenant un "centre d'attente" (le garage ou simplement l'extrémité du bief avoisinant l'écluse) et un "centre de service". Ce dernier est constitué dans le cas présent par une "station" unique, l'écluse.

Le service d'une unité comprend l'ensemble des opérations nécessaires au passage de cette unité dans l'écluse (remplissage éventuel du sas et ouverture des portes, mise en place du bateau, fermeture des portes, inversion du sas, ouverture des portes et manoeuvre de sortie) : la durée du service est aléatoire de sorte que les unités peuvent avoir à attendre avant que la station soit disponible. Elles séjournent alors dans le centre d'attente en constituant une "file d'attente". Compte tenu de la définition du service donnée ci-dessus, nous considérons que le passage du centre d'attente au centre de service est instantané.



En fait le phénomène est plus complexe puisque des bateaux circulent dans les deux sens. Il faut considérer indépendamment deux sources et deux centres d'attente (amont et aval) alimentant un centre de service unique. Dans ces conditions, la loi de distribution de la durée du service ne peut plus être déterminée a priori. Cette durée dépend en effet de la situation de l'écluse à l'instant où commence le service de l'unité considérée : suivant qu'à cet instant l'écluse est prête du côté opposé ou du côté même où se présente le bateau, il faut inclure ou non dans le temps de service le temps nécessaire à la réalisation d'une fausse bassinée. Les durées de service ne sont donc pas mutuellement indépendantes ni même, du fait de l'existence de deux sources, indépendantes des lois d'arrivées. En raison de ces restrictions, une approche analytique du problème ne semble possible que dans des cas très particuliers, par exemple trafic nul dans l'un des deux sens, ou à condition de faire des hypothèses simplificatrices dont l'ampleur modifierait la nature même du phénomène que l'on veut représenter.

VIII-3-6 - Il est donc apparu nécessaire de se tourner vers d'autres méthodes, de type plus expérimental. En fait, pour

.../...

établir les coûts marginaux de congestion correspondant aux diverses voies étudiées, on ne dispose à l'heure actuelle que des résultats provenant des études suivantes :

- une étude pratique faite sur la Haute Seine
- une étude théorique faite par simulation dans le cas d'une écluse simple à petit gabarit
- une étude pratique faite sur une section du canal de l'Aisne à la Marne (régulation du trafic)
- une étude faite d'après une méthode de simulation testée faite sur la Basse Seine.

VIII-3-7 - Mesures directes.

Suivant une première orientation, - inspirée de méthodes utilisées pour l'étude des courbes vitesse-débit en matière de circulation routière -, on peut partir d'observations directes ; on mesure au cours d'une série d'enquêtes, et sur le plus grand nombre de situations possibles,

des temps :

- temps d'attente
- temps de franchissement des écluses
- temps de parcours des biefs

et les débits correspondants :

- nombre de bateaux de chaque catégorie qui se sont présentés à l'écluse
- nombre de bateaux de chaque catégorie ayant franchi l'écluse.

Une telle méthode a pu être appliquée sur la Haute Seine et sur le canal Saint-Denis, sans qu'il ait été nécessaire cependant d'effectuer des enquêtes particulières sur le terrain. En effet, il existe sur chacune de ces voies un centre régulateur qui établit des relevés systématiques retraçant la marche de l'ensemble des bateaux. Les résultats de l'étude concernant la Haute Seine sont exposés dans l'annexe 16 au présent chapitre.

VIII-3-8 - L'utilisation de données correspondant à des situations réelles offre certes de nombreux avantages. Elle est cependant limitée en raison du coût élevé et de la lourdeur des enquêtes à réaliser, et de la dépendance où se trouve l'observateur de certains facteurs qu'il cherche précisément à analyser : par exemple les trafics effectivement observés pendant l'enquête peuvent être assez différents des trafics moyens sur la voie considérée, et leurs variations insuffisantes pour permettre une analyse détaillée de leurs effets, même si l'époque et la durée de l'enquête ont été choisies avec soin.

VIII-3-9 - Aussi est-il souhaitable de compléter les études par mesure directe au moyen d'analyses plus systématiques. Les méthodes de simulation offrent à ce sujet des possibilités très intéressantes. Le principe des méthodes de simulation repose sur la construction d'un modèle du phénomène étudié, ici le franchissement d'un groupe d'écluses. Les modèles mathématiques de simulation, qui nécessitent l'utilisation de calculateurs électroniques, consistent en un ensemble de relations définies entre des paramètres et des variables caractéristiques de l'état d'un système. Dans le cas présent d'un modèle de voies navigables, les paramètres sont, par exemple, les dimensions des bateaux et des écluses et les temps de service liés à l'infrastructure. Les paramètres sont des données intangibles du modèle. Les variables définissent l'état des écluses : écluse ouverte du côté aval ou amont, ou en cours d'inversion, présence ou absence de bateaux. Les arrivées de bateaux sont introduites, tour à tour, dans le modèle sous forme de données traitées successivement par le modèle. Les arrivées sont obtenues à partir de lois d'arrivées mesurées ou supposées. Les relations logiques permettent de décrire le fonctionnement du système et, par là, de simuler dans un temps très court la vie du système réel pendant une longue période. Au moyen d'une méthode de simulation du passage d'un bateau par une écluse simple à petit gabarit, il a été possible d'obtenir des courbes donnant l'attente moyenne par bateau en fonction d'un indice de trafic. La durée du demi-cycle pour cette écluse théorique a été prise égale à 12 minutes (soit 20 minutes centésimales), la durée de la bassinée étant de 4 m 45 s (8 minutes centésimales). Ces chiffres représentent des valeurs moyennes pour des écluses mécanisées. L'indice de trafic i est le rapport du nombre de bateaux dans les deux sens de circulation au nombre de bateaux maximal dans les deux sens à saturation, pris égal à 60 bateaux/jour. L'exploitation simulée par le programme est une exploitation optimale où l'on perd le moins de temps possible (il a été admis par exemple que l'éclusier pouvait voir venir un bateau d'assez loin pour que le bateau n'attende pas s'il y avait une fausse bassinée à faire). Les points obtenus pour chaque simulation se groupent

sur une courbe (annexe 17) ayant sensiblement l'allure d'une droite sur la plage (0,80 %). Comme l'on doit s'y attendre, la courbe présente une pente très forte près de la saturation, mais l'on ne peut pas accorder aux valeurs obtenues dans cette zone plus qu'une valeur indicative. Sur la plage (0,60 %) le coefficient angulaire de la droite représentative est 0,139 minutes centésimales/bateau, soit pour un trafic de 30 bateaux/jour (environ 1,2 million de plus par an) une attente moyenne de 2,5 minutes par bateau. Autour de ce point l'attente moyenne est égale à l'attente marginale. Pour un indice de trafic égal à 0,8, la pente est de 0,266 minutes centésimales/bateau, correspondant à une attente moyenne de 4,5 minutes/bateau. D'après les courbes obtenues, l'attente moyenne atteindrait 9 minutes pour un indice de trafic de 0,95, et l'attente marginale 2,32 minutes centésimales/bateau.

Au point de vue coût, les résultats suivants correspondent à $V = 13$ F/heure pour un automoteur de canal avec $k = 0,7$ (1), soit 13 centimes/minute centésimale.

Indice du trafic	Nombre journalier de bateaux	Variation de l'attente en fonction du nombre de bateaux	Attente moyenne	Coût marginal de congestion
i	N	$\frac{dt}{dN}$	$N \frac{dt}{dN}$	$C^m = VN \frac{dt}{dN}$
0,2	12	0,139	1,67	21,6 cent/bateau/écluse.
0,5	30	0,139	4,18	54 cent/bateau/écluse.
0,8	48	0,266	12,7	1,67 F/bateau/écluse.
0,95	57	2,32	137	18 F/bateau/écluse.

Le dernier chiffre ($i = 0,95$) paraît considérablement élevé.

.../...

(1) Il est rappelé que k est un coefficient dépendant de la surcapacité de la flotte.

VIII-3-10 - Etude pratique sur une section du canal de l'Aisne à la Marne.

VIII-3-10-1 - Des courbes "vitesse-débit" ont pu être établies pour la section du canal de l'Aisne à la Marne qui va de COURCY à BEUVRY-au-BAC (9 écluses, 11 km). Elles concernent une voie ayant un fort trafic et où d'importants amas de bateaux se formaient en l'absence de toute régulation, et dont la capacité maximum est de 50 bateaux/jour dans les deux sens. Les courbes données en annexe (n° 18) montrent :

a) avant régulation,

- une pente régulière entre $i = 0,4$ et $i = 0,5$ égale à 4,3 minutes par bateau supplémentaire (le temps de parcours augmente de 1/2 heure entre 20 et 27 bateaux) ;

- l'existence des deux paliers entre $i = 0,5$ et $i = 0,7$, entre $i = 0,8$ et $i = 0,9$;

- la très forte croissance des temps de parcours pour un indice de trafic $i = 0,7$ (35 bateaux en l'absence de toute régulation). La pente est voisine de 10 minutes/bateau supplémentaire. (La pente moyenne entre $i = 0,4$ et $i = 0,9$ est voisine de 3 minutes/bateau supplémentaire).

b) après la mise en place de la régulation,

- des durées de parcours quasiment constantes sur toute la plage $i = 0,5$ et $i = 0,9$, seule une variation de 10 minutes pouvant être mise en évidence entre ces deux points, ce qui correspond à une pente moyenne de 0,5 minute par bateau supplémentaire.

VIII-3-10-2 - En termes de coût, on obtient les résultats suivants pour $i = 0,6$, soit $N = 30$:

a) avant régulation : 19,5 F par bateau ;

b) après régulation : 3,3 F par bateau, soit 17 % de la moyenne précédente.

VIII-3-10-3 - Ces résultats montrent que les coûts de congestion peuvent être très élevés en l'absence de toute organisation du trafic. Ils sont alors beaucoup plus élevés que l'étude théorique ne le laissait prévoir (19,5 F contre 4,90 F si on supposait que les coûts par écluse s'ajoutent). Comme l'exploitation du modèle de simulation au voisinage de la saturation le laissait penser, l'attente moyenne diminue et est pratiquement constante lorsque l'arrivée des bateaux ne suit plus une loi de hasard mais provient d'une régulation.

VIII-3-10-4 - L'examen de ce cas particulier montre que, sur une section de voie navigable où la régulation est pratiquée, le coût marginal de congestion est inférieur à la somme des coûts cumulés correspondant aux écluses rencontrées, calculés sur la base de l'étude théorique par simulation visée en 3-9 ci-dessus. Le rapport de ces coûts ressort à 67 % dans le cas du canal de l'Aisne à la Marne avec des biefs d'une longueur moyenne de l'ordre du kilomètre. Il n'en serait pas nécessairement de même pour une section de même nature sur laquelle il n'y aurait aucune régulation.

VIII-3-11 - Basse Seine (1).

Les coûts marginaux de congestion ont été déterminés grâce à l'exploitation d'un modèle complet de simulation de fonctionnement d'un groupe d'écluses (2). Le coût marginal de congestion imputable à une catégorie de bateau i a été calculé d'après la formule suivante :

$$C_{0_i} = \sum_j C_j Q_j A_{ij}$$

où C_j = coût unitaire de franchissement par écluse d'un bateau de la catégorie j ,

Q_j = nombre moyen d'arrivées par heure de bateaux de la catégorie j ,

.../...

(1) Ce paragraphe reprend les résultats de l'étude-pilote.

(2) Voir l'étude du franchissement des écluses, D.P.M.V.N. 1967.

$A_{ij} \frac{t_i}{q_i}$ = augmentation du temps moyen de franchissement des bateaux de la catégorie j lorsque le trafic de la catégorie i s'accroît d'une unité par unité de temps.

Les calculs ont été effectués à partir d'une série de simulations comprenant 200 périodes de six heures chacune. Les variables observées sont le temps moyen de franchissement et le nombre moyen d'arrivées pour chaque catégorie de bateaux, variables dont on a pu étudier la corrélation au moyen d'analyses de régression. Les trois catégories de bateaux suivantes ont été retenues :

Catégorie 1	convois poussés	100 x 12
		140 x 12
		160 x 12
Catégorie 2	automoteurs de Seine	40 x 7
		60 x 7
		100 x 12
Catégorie 3	caboteurs	40 x 7 (1)
	automoteurs de canal	40 x 5
		80 x 5

Les ajustements statistiques qui ont été retenus sont de la forme suivante :

$$t_i = t_i^0 + a_1^1 q_1 + a_1^2 q_2 + a_1^3 q_3$$

où t_i = temps de franchissement de la catégorie i (temps d'attente + temps d'inversion),

t_i^0 = constante du temps de franchissement,

q_j = nombre moyen de bateaux de la catégorie j passés dans l'heure.

.../...

(1) Les caboteurs ont été regroupés, en vue du calcul des coûts marginaux de congestion, avec les automoteurs de Seine au vu des résultats statistiques qui conduisent à des coefficients d'interaction sensiblement égaux pour ces deux catégories de bateaux.

Les régressions conduisent parfois à des temps de passage négatifs. Il a été admis que le temps minimum de franchissement était toujours égal à la somme des temps de manoeuvre et du temps d'inversion, ce qui justifie le fait que le coût de congestion est nul si le temps de franchissement calculé par les formules ajustées se trouve être inférieur au temps minimum. Les valeurs des coefficients d'interaction ai 1, ai 2, ai 3, déterminées par les ajustements statistiques, conduisent aux valeurs suivantes, exprimées en francs, des coûts marginaux de congestion par groupe d'écluses et par catégorie de bateaux :

Groupe d'écluses	Convois poussés en F	Automoteurs de Seine Caboteurs en F	Automoteurs de canal en F
{ CHATOU	10	7	3,50
{ BOUGIVAL	12	7	3,50
{ ANDRESY	62,83	25,99	21,29
{ CARRIERE	18,13	13,07	3,45
MERICOURT	12,22	10,22	11,04
NOTRE-DAME DE			
LA GARENNE	7,52	5,52	6,22
AMFREVILLE	10,10	4,40	7,28

Les résultats obtenus diffèrent notablement d'un groupe d'écluses à un autre en raison :

- de différences de niveau de trafic entre les groupes
- de la diversité des infrastructures.

Les coûts de congestion peuvent paraître élevés pour les convois poussés, surtout à ANDRESY, mais il ne faut pas oublier que, pour pouvoir être comparés, ces coûts doivent être rapportés à la tonne transportée et que les convois poussés ont des charges utiles bien supérieures à celles des automoteurs de Seine et des automoteurs de canal. En outre, plusieurs circonstances ont provoqué jusqu'ici un coût de congestion plus élevé à ANDRESY qu'aux autres groupes d'ouvrages :

a) Péages différents à ANDRESY et à CARRIERE (jusqu'au 1er janvier 1968).

.../...

b) Ouvrages d'ANDRESY et de CARRIERE faisant partie de la même chute, mais non groupés à proximité les uns des autres.

Il résulte de ces circonstances que l'exploitation du groupe ANDRESY-CARRIERE n'a pu, jusqu'ici, être parfaitement coordonnée et que les attentes des convois poussés à ANDRESY se trouvent artificiellement augmentées.

La récente uniformisation des péages à ANDRESY-CARRIERE va permettre une meilleure coordination et remédier à ces inconvénients.

VIII-3-12 - Quelques résultats pour les sections de voies navigables faisant l'objet de l'étude :

VIII-3-12-1 - Canaux au gabarit Freycinet.

VIII-3-12-1-1 - L'étude théorique, par les méthodes de simulation, du franchissement d'une écluse à petit gabarit, a conduit au résultat que, pour un indice de trafic au plus égal à 0,6, le coût marginal était égal au produit par 1,8 centime du nombre journalier des bateaux. La valeur de $\frac{dt^*}{dN}$ ne dépendant que de cet indice, ce résultat est valable aussi bien pour des écluses électrifiées que pour des écluses manoeuvrées à la main.

Sur la base d'une utilisation de la voie d'environ 320 jours par an, cette donnée est applicable tant que les trafics annuels ne dépassent pas des valeurs de l'ordre de 11.500 bateaux pour des écluses électrifiées et de 7.500 bateaux pour des écluses non électrifiées.

En fait, l'étude ne porte que sur des indices de trafics supérieurs à 0,3 qui correspondent à des trafics annuels respectivement égaux à 5.750 et 3.750 bateaux.

Il semble bien difficile, pour des trafics inférieurs, de mettre en évidence des variations de temps de parcours en fonction du nombre des bateaux. Trop d'éléments interviennent alors (réactions personnelles des marins par exemple) qui font varier ces temps sans raison valable.

D'ailleurs, pour ces trafics, les coûts marginaux seraient très faibles, de l'ordre de 0,20 F par bateau et par écluse, et il n'est pas du tout évident qu'il faille multiplier cette somme par le nombre des écluses, du fait que de nombreuses

.../...

sections de ces voies ne comportent pas de ports et ne sont affectées qu'au transit.

VIII-3-12-1-2 - Le groupe de travail a donc estimé qu'il convenait de considérer comme nuls les coûts marginaux de congestion sur les trois voies suivantes, à faible trafic :

Canal du Rhône au Rhin Sud (trafic moyen 1.800 bateaux par an)

Canal de l'Est branche Sud (trafic moyen 2.700 bateaux par an)

Canal du Rhône au Rhin Nord (trafic moyen 4.150 bateaux, écluses électrifiées).

VIII-3-12-1-3 - Sur la Scarpe supérieure, où le trafic moyen est faible (3.000 bateaux en moyenne), la répartition inégale de ce trafic entre les écluses a conduit à rechercher quel pourrait être le coût marginal de congestion de l'écluse la plus chargée (CORBEHEM). La répartition du trafic à cette écluse (17 bateaux par jour en moyenne) est influencée par la bourse d'affrètement dont elle est proche, en sorte que l'on peut admettre que, pendant 2 jours par semaine, le trafic atteint 22 bateaux, et qu'il n'est que de 15 les autres jours. Sur la base précédemment définie, le coût marginal n'en est pas moins très faible, de l'ordre de 30 centimes. L'expérience directe montre qu'il n'y a pratiquement pas d'attente à l'écluse pendant 5 jours par semaine et que les 2 autres jours cette attente est de l'ordre de 1,5 heure au total, soit "en moyenne" 0,9 F par bateau franchissant l'écluse ces mêmes jours. Le coût moyen de congestion serait alors $0,9 \times \frac{2}{7}$, soit une valeur très voisine du coût marginal calculé par une autre méthode. Les autres écluses comportant un trafic plus faible (puisque le trafic moyen est la moitié de celui passant à l'écluse de CORBEHEIM), on peut, pour cette voie, admettre que le coût marginal de congestion n'est pas significatif par rapport au coût marginal d'usage (20,10 F).

VIII-3-12-1-4 - Sur le canal de l'Est branche Nord, où les biefs en rivière sont relativement longs et où existent plusieurs zones portuaires, on peut admettre que les coûts marginaux de congestion des diverses écluses s'ajoutent, leur valeur moyenne, calculée sur les bases définies en ci-dessus, s'élevant à 0,40 F environ par écluse ; pour l'ensemble de la voie, le coût ainsi calculé serait de 10 F (25 écluses), soit 18,7 % du coût marginal d'usage de la section.

VIII-3-12-1-5 - A défaut d'autre renseignement, le coût marginal de congestion du canal latéral à l'Aisne entre BERRY-au-BAC et l'Aisne canalisée, où le nombre des écluses est de 6 et où le trafic est de l'ordre de 30 bateaux par jour, peut être évalué à :

$$\frac{6 \times 1,8 \times 30}{100} = 3,24 \text{ F, soit } 13,7 \% \text{ du coût marginal d'usage.}$$

VIII-3-12-1-6 - Le trafic sur la section étudiée du canal de la Marne au Rhin est très variable d'un secteur à l'autre.

a) Sur les secteurs extrêmes VITRY-le-FRANCOIS - TROUSSEY et DOMBASLE GONDREXANGE, le trafic est essentiellement un trafic de transit ; il est inférieur à 30 bateaux par jour. Ce trafic s'écoule, pratiquement sans à coups, tout le long de la section et, si l'on tenait compte d'un coût marginal de congestion à chacune des écluses d'extrémité de la section, on serait conduit à prendre en considération une valeur de l'ordre du franc pour l'ensemble de ces deux secteurs.

b) Sur le secteur central DOMBASLE LIVERDUN toutes les écluses sont doubles et le trafic (de l'ordre de 40 bateaux par jour) est très fluide.

c) Les phénomènes de congestion s'observent par contre sur deux secteurs TROUSSEY TOUL et TOUL LIVERDUN.

c1) Entre TROUSSEY et TOUL, où le nombre moyen de bateaux est de 42 par jour, le coût marginal de congestion à l'écluse d'entrée peut être calculé par la méthode générale visée en a1 avec un indice de trafic de 0,7, soit une somme de 1,36 F par bateau. Les passages aux écluses d'extrémité du secteur étant systématiquement relevés, on a pu mettre en évidence, d'une manière plus ou moins approchée, le temps de parcours du dit secteur en fonction du trafic. Dans la zone de trafic correspondant au trafic moyen, la valeur de $\frac{dt}{dN}$ est de l'ordre de 3 minutes par bateau pour l'ensemble de la section, soit un coût marginal de congestion de 27,1 F. Cette valeur pourrait sans doute être précisée par une étude s'étalant sur une longue période.

c2) Entre TOUL et LIVERDUN, où subsistent deux écluses électrifiées à simple sas, et où le trafic est de l'ordre de 36 bateaux par jour ($i = 0,6$), le calcul, fait sur la base rappelée

.../...

en a1, conduit à un coût marginal de 0,65 F par écluse, soit 1,30 F pour le secteur.

d) Ainsi le coût marginal de congestion pour un bateau empruntant l'ensemble de la section étudiée du canal de la Marne au Rhin peut être évalué à 31 F, soit 18 % du coût marginal d'usage.

VIII-3-12-1-7 - Sur le canal de SAINT-QUENTIN, une corrélation a été directement étudiée entre le temps du parcours et le nombre des bateaux. Pour un trafic de l'ordre de celui qui franchit actuellement ce canal (environ 35 par jour), l'accroissement de la durée du parcours totale est de 0,11 heure par bateau supplémentaire. Le coût marginal de congestion ressort ainsi à environ 50 F par bateau, soit 85 % du coût marginal d'usage.

VIII-3-12-1-8 - Sur le canal du Nord, l'insuffisance des points représentatifs des données disponibles permet difficilement un calcul précis. On peut toutefois admettre, sur la base d'hypothèses vraisemblables, un coût marginal de congestion de l'ordre de 85 F, soit 2,27 fois le coût marginal d'usage.

VIII-3-12-2 - Fleuves et rivières canalisées.

VIII-3-12-2.1 - Sur l'Aisne canalisée, où aucune mesure directe n'a encore été faite, le trafic moyen est de l'ordre de 26 bateaux par jour. Une valeur approchée du coût marginal de congestion peut être définie par la formule générale donnée en a1 ci-dessus, soit :

$$\frac{1,8}{1,00} \times 26 \times 7 \text{ (écluses) ou } 3,30 \text{ F.}$$

Ce coût représente environ 24,5 % du coût marginal d'usage.

VIII-3-12-2-2 - Aucune trace de congestion n'apparaît, pour le trafic 1967, sur la Moselle canalisée, qui a été aménagée pour supporter un trafic sensiblement plus important.

VIII-3-12-2-3 - L'Oise canalisée présente, à chaque chute, deux sas, dont un grand, ce qui équivaut à au moins trois petits sas. Etant remarqué que la présence de plusieurs sas

.../...

facilite beaucoup le passage du trafic et que la congestion est, de ce fait, beaucoup plus forte pour un trafic Q passant dans un seul sas que pour un trafic 2 Q passant dans deux sas, on peut admettre, d'après les résultats précédents, qu'un ordre de grandeur du coût de congestion sur l'Oise canalisée est de 5 F (7 écluses), soit 34 % du coût marginal d'usage.

VIII-3-12-2-4 - La Seine amont a fait l'objet d'études relatées ci-dessus, mais les modifications très prochaines de l'infrastructure conduisent à la conclusion que les résultats de ces études vont très prochainement être beaucoup trop élevés. Ils conduiraient à un coût marginal de congestion de l'ordre de 95 F, qu'il paraît convenable de ramener à environ 40 F, soit 4,35 fois le coût marginal d'usage.

VIII-3-12-2-5 - Sur la Seine aval, le total des coûts marginaux de congestion, calculés sur la base des moyennes pour chaque groupe d'écluses, conduit aux résultats approchés suivants :

- Convois poussés	80 F
- Automoteurs de Seine et caboteurs ...	45 F
- Automoteurs de canal	40 F

VIII-3-12-2-5 - Récapitulation.

Les valeurs ainsi calculées donnent, pour l'ensemble des voies étudiées et pour le trafic 1967, un coût marginal de congestion qui, pour les canaux de gabarit Freycinet, s'élèverait au total à 2.880.000 F, soit 57,5 % du coût marginal d'usage, et, pour les fleuves et rivières canalisées, à 5.130.000 F, soit 2,1 fois le coût marginal d'usage.

Pour l'ensemble, le coût marginal de congestion serait légèrement supérieur (1,07) au coût marginal d'usage.

VIII-4 - Essais de généralisation.

VIII-4-1 - Les études particulières qui viennent d'être exposées montrent que les coûts marginaux de congestion sont fonction d'assez nombreux paramètres : trafic et nombre de bateaux, nombre, dimensions et mode de manoeuvre des écluses, longueur des biefs ... Il est, dans ces conditions, difficile de chercher à extrapoler les résultats obtenus.

VIII-4-2 - On peut toutefois remarquer que, sur les voies de gabarit Freycinet où le trafic ne dépasse pas une certaine limite (de l'ordre de 60 % du trafic de saturation), il a été généralement admis que le coût marginal de congestion par bateau et par écluse était proportionnel au nombre moyen N de bateaux annuels et, d'une manière plus précise, égal, en millimes, à $0,055 N$. Les recettes qui proviendraient de péages égaux à ces coûts marginaux seraient donc égales, en millimes, à $0,055 n N^2$, n étant le nombre des écluses. Comme pour le calcul des coûts marginaux externes, on peut prendre, pour valeur de N , le quotient par 170 du trafic moyen (en tonnes-kilomètres par kilomètre). Par ailleurs, et ainsi qu'il a été justifié, il convient de ne tenir compte que des voies où ce trafic moyen dépasse 0,5 million de tonnes-kilomètres par kilomètre. On est ainsi conduit à admettre, comme ordre de grandeur des recettes que procureraient des péages égaux aux coûts marginaux de congestion :

- pour les rivières canalisées de gabarit Freycinet, y compris la Meuse et l'Aisne, qui ont fait l'objet d'une étude spéciale, 510.000 F, soit 22,5 % des recettes correspondant au coût marginal d'usage ;
- pour les canaux de gabarit Freycinet, y compris ceux qui ont fait l'objet d'une étude particulière, 3.940.000 F, soit 47 % du coût marginal d'usage.

VIII-4-3 - Par analogie avec ce qui a été admis sur les voies de gabarit Freycinet où le trafic est réduit, on peut admettre que le coût marginal de congestion est nul sur les voies dont le gabarit est inférieur au gabarit Freycinet, leur trafic moyen étant toujours très faible.

VIII-4-3-1 - En ce qui concerne celles des voies à grand gabarit sur lesquelles le trafic est à peu près exclusivement assuré par des bateaux de type Freycinet (Saône, canal VALENCIENNES-DUNKERQUE), il paraît raisonnable d'adopter la même formule en comptant une écluse de 12 m de large et de 100 à 140 m de long comme équivalant à une écluse à deux sas de gabarit Freycinet. On est ainsi conduit à des coûts marginaux de congestion de :

- 1,00 F par bateau franchissant la section et 7.500 F pour l'ensemble du trafic, sur la Saône en aval de CHALON
- 4,55 F par bateau franchissant la section et 76.000 F pour l'ensemble du trafic, sur le canal de VALENCIENNES à DUNKERQUE.

VIII-4-3-2 - A titre de valeur approchée, un calcul analogue donnerait, pour le canal de TANCARVILLE au HAVRE, un coût de 1,50 par bateau de 300 T et une recette totale de 40.000 F.

VIII-4-3-3 - Pour l'ensemble des voies à grand gabarit, la recette totale qui résulterait de la perception de péages égaux au coût marginal de congestion s'élèverait à environ 5.250.000 F, soit 1,78 fois le coût marginal d'usage.

VIII-4-4 - Pour l'ensemble des voies navigables françaises, elle serait de 9.700.000 F, soit 67,5 % du coût marginal d'usage.

VIII-5 - Conclusions du groupe de travail.

VIII-5-1 - Ainsi qu'il vient d'être indiqué, les coûts marginaux de congestion calculés sur les bases exposées ci-dessus sont, pour l'ensemble des sections de voies étudiées, sensiblement égaux à la somme des coûts marginaux d'usage et des coûts marginaux externes.

VIII-5-1-2 - Il est loin d'en être de même en ce qui concerne les infrastructures ferroviaires et routières.

VIII-5-1-3 - Pour les premières, "les coûts de congestion de l'infrastructure sont pratiquement inexistantes ; les raisons en sont les caractéristiques de la technique ferroviaire, la politique d'investissement suivie et le fait que les investissements de productivité ont, en général, comme sous-produit, un accroissement de la capacité, enfin et surtout la "faiblesse du trafic sur la plupart des lignes" (second rapport de la Commission d'étude des coûts d'infrastructures - Les coûts d'infrastructure de la S.N.C.F. - Novembre 1968).

VIII-5-1-4 - En ce qui concerne les secondes, le rapport de mars 1967 concernant la tarification de l'usage, par les véhicules utilitaires, de l'infrastructure routière en rase campagne définit le coût social imputable aux poids lourds d'après "l'augmentation du temps moyen de parcours kilométrique d'un véhicule léger dû à l'existence d'un débit mixte comprenant des poids lourds" (§ II-341), c'est-à-dire d'après "le nombre d'heures perdues par les véhicules légers en raison de la

"coexistence des poids lourds" (§ II-342). Ce rapport a donc pris en considération, en ce qui concerne les usagers des infrastructures routières, deux ensembles, celui des "poids lourds", qu'il répartit d'ailleurs, d'après leur tonnage utile, en trois catégories, et celui des "véhicules légers", sensiblement plus important en nombre. Les coûts marginaux de congestion dus aux "poids lourds" sont donc, en quelque sorte, les coûts marginaux "externes" qu'ils causent aux véhicules légers. En effet, comme l'indique l'annexe 3 au premier rapport de la Commission (§ 2, 2), l'effet de gêne mutuelle entre canions n'a pu être discerné en raison du petit nombre (15 % environ) de ces véhicules dans la circulation générale. Compte tenu de ce fait il semble bien de toute manière que, même si l'on pouvait pousser la précision plus loin, l'élément "gêne causée aux véhicules légers" et, par suite, l'élément "coût marginal externe" resterait prépondérant. Les compléments d'étude demandés par la lettre adressée le 8 novembre 1968 par le Ministre des Transports au Président de la Commission d'étude des coûts d'infrastructure permettront peut-être une "prise en compte, d'une manière plus complète, des coûts sociaux" dus aux poids lourds sur les infrastructures routières. En tout état de cause, dans l'état actuel des calculs, le coût marginal social des poids lourds normalement chargés ne représente qu'une fraction du coût marginal d'usage, et leur incidence sur le coût marginal total reste modérée.

VIII-5-2 - Le groupe de travail a donc cherché, d'une part, les raisons de ces importantes divergences, d'autre part, les conséquences qui lui semblaient devoir en être tirées.

VIII-5-2-1 - L'une des causes évidentes de l'importance des coûts de congestion réside évidemment dans la présence d'écluses qui, dans la plupart des cas, ne permettent que le passage alterné des bateaux. Mais la politique d'investissement en matière de voies navigables (chacun des plans successifs n'a été que très partiellement exécuté) est certainement aussi responsable du degré de congestion trop élevé constaté.

VIII-5-2-2 - Contrairement au coût marginal d'usage, qui représente le montant des dépenses faites par la collectivité gestionnaire de l'infrastructure pour permettre le passage d'un élément de trafic supplémentaire, et au coût marginal externe, qui représente la gêne causée aux tiers par ce même élément de trafic, le coût marginal de congestion présente le caractère d'une incitation pour l'utilisateur, à ne pas emprunter la voie. Il est certain que l'utilisateur supplémentaire, tout en supportant les effets sur son propre prix de revient de la gêne mutuelle, ne

supporte pas la totalité de l'augmentation du coût collectif du transport que provoque son insertion dans le trafic : le coût marginal de congestion traduit précisément cette différence. On ne saurait cependant trop attirer l'attention sur la difficulté de faire comprendre aux bateliers qu'ils doivent, conformément à la théorie de l'optimum économique, acquitter une redevance d'autant plus lourde qu'ils sont eux-mêmes plus gênés. Il faut s'attendre de leur part à une résistance, d'ordre psychologique, qu'il ne faut pas sous-estimer. Il était certainement plus facile de faire comprendre aux transporteurs routiers qu'ils doivent acquitter des coûts de congestion parce que ceux-ci correspondent, dans leur cas, à une gêne qu'ils causent à une autre catégorie d'usagers de la route.

VIII-5-2-3 - Poussant plus loin ses réflexions le groupe de travail a remarqué que la théorie marginaliste suppose que dans l'ensemble de l'économie les conditions de concurrence parfaite et de minimisation des coûts sont réalisées.

Or il est certain que la navigation intérieure, en raison de la faible importance relative de son trafic dans l'ensemble des transports de marchandises et de la limitation de ses initiatives que lui impose un réseau peu développé et de caractéristiques médiocres dans ses parties anciennes, est exposée à une concurrence sélective de la part des autres moyens de transport.

D'autre part la structure sociale particulière de la batellerie, qui a conduit à l'exploitation réglementée des voies navigables, la soumet à des contraintes spéciales qui l'empêchent de réaliser une minimisation correcte de ses coûts.

Deux des conditions essentielles de la taxation au coût marginal ne sont donc probablement pas réalisées pour elle.

Certes l'amélioration du réseau navigable entreprise depuis une dizaine d'années et la réforme de structures qui vient d'être engagée par le ministère des Transports sont de nature à faire évoluer la position concurrentielle de la navigation intérieure dans un sens favorable. Mais il s'agit d'une action de longue haleine dont les effets ne peuvent se faire sentir dans le court ou le moyen terme.

Enfin il ne faut pas oublier que la navigation intérieure acquitte, pour le financement des infrastructures nouvelles, des taxes de péage, dites taxes de la loi Morice, alors que la Commission d'étude des coûts d'infrastructure a exclu la perception de taxes de même nature pour les autres moyens de transport, du moins au stade actuel de ses investigations.

Il apparaît ainsi que de nouvelles raisons s'ajoutent à celles invoquées au § 2-2 précédent pour conseiller une grande prudence dans l'application des calculs effectués dans le présent rapport. Un accroissement brutal des charges pourrait conduire à une crise économique et sociale grave de la profession batelière dont les effets indirects seraient plus coûteux pour la nation que les avantages qu'elle pourrait procurer.

VIII-5-2-4 - Sans doute le caractère incitatif d'un péage égal au coût marginal de congestion pourrait-il conduire la profession, soit à mieux s'organiser, soit du moins à mieux accepter les contraintes de régulation de trafic que pourrait souhaiter lui imposer l'Administration. Mais, avant d'imposer des taxes dont la rigidité probable risquerait de rendre la suppression ultérieure assez difficile, il semblerait bien préférable de définir d'abord les contraintes devant tendre à diminuer la congestion et de n'imposer les péages correspondant à la congestion actuelle que si les usagers de la voie refusaient de se soumettre volontairement aux exigences correspondantes.

VIII-5-2-5 - Enfin il ne semble pas que le trafic sur les voies navigables autres que celles à grand gabarit soit susceptible d'une progression importante. Dès lors, la mise en application de péages égaux aux coûts marginaux de congestion risque de provoquer une régression du trafic.

VIII-5-2-6 - Compte tenu de ces diverses considérations, compte tenu également du fait que les méthodes utilisées pour le calcul des coûts marginaux de congestion laissent subsister des marges d'erreurs importantes, le groupe de travail estime qu'il serait opportun de ne pas mettre en recouvrement les péages correspondants.

CHAPITRE IX -- CONCLUSIONS GENERALES.

IX-1 - Les quatre chapitres précédents ont permis de déterminer des valeurs des coûts marginaux d'usage, externes et de congestion, pour diverses voies navigables. Cette détermination comporte un large degré d'incertitude, notamment en matière de coûts marginaux de congestion. Les extrapolations qui ont été

faites des résultats ainsi obtenus sont, a fortiori, encore beaucoup plus incertaines et ne semblent pas pouvoir conduire à des résultats autres que des ordres de grandeur, notamment en ce qui concerne les coûts marginaux externes et de congestion.

IX-2 - Il est extrêmement intéressant de comparer les recettes qui correspondraient à ces coûts marginaux à celles qui sont actuellement perçues sur la navigation intérieure et qui sont essentiellement, d'une part, les taxes de la loi Morice, d'autre part, les péages spécifiques à certaines voies (Moselle).

IX-2-1 - Les taxes générales de la loi Morice s'appliquent à toutes les voies navigables françaises, à l'exception du Rhin, du Grand Canal d'Alsace, de la Moselle en aval de THIONVILLE et des canaux de la ville de PARIS. Leur montant s'est élevé, en 1967, à 8.868.353 F, somme à laquelle s'ajoute une recette sans affectation spéciale de 117.000 F ; ce total de 8.985.353 F correspond à un tonnage kilométrique de 10.839 millions, en sorte que la valeur moyenne des taxes générales ressort à 0,083 centime par tonne-kilomètre. La répartition du montant de ces taxes entre les diverses voies peut, sans grande erreur, être faite sur cette dernière base.

IX-2-2 - En dehors des taxes générales, le montant des taxes particulières à certaines voies perçues en 1967 a atteint les valeurs ci-après :

- Basse Seine	6.809.033 F
- Haute Seine	907.627 F
- Canal du Nord	2.993.331 F
- Canal de SAINT-QUENTIN	277.413 F
	<hr/>
	10.987.404 F

IX-2-3 - Le tableau ci-après donne, par catégorie de voies, la comparaison, en millions de francs, entre les redevances qui correspondraient à la perception de péages égaux aux coûts marginaux d'usage, externes ou de congestion, coûts dont la valeur est sujette aux très importantes réserves formulées au § IX-1 ci-dessus, et le montant des taxes provenant de la loi Morice et des péages sur la Moselle.

Catégorie de voies	Redevances qui correspondraient aux coûts marginaux				Taxes provenant de la loi Morice et des péages sur la Moselle			Rapport
	d'usage	externes	de congestion	Total	générales	particulières	totales	col. 8 col. 5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(millions de F)							
Grand gabarit	2,94	0,05	5,25	8,24	5,25	8,35	13,60	1,645
Gabarit Freycinet								
Rivières	2,26	-	0,51	2,77	0,99	-	0,99	0,357
Canaux	8,36	1,40	3,94	13,70	2,31	3,27	5,58	0,407
Autres voies	0,85	0,05	-	0,90	0,22	-	0,22	0,245
Total	14,41	1,50	9,70	25,61	8,77	11,62	20,39	

IX-3-1 - Il montre que les voies à grand gabarit paient actuellement des taxes très largement supérieures à l'ensemble des coûts marginaux d'usage, externes et de congestion qui les concernent.

IX-3-2 - En ce qui concerne les voies de gabarit Freycinet, et malgré les taxes particulières importantes perçues sur les canaux du Nord et de SAINT-QUENTIN qui, globalement, doublent les taxes générales correspondantes, le pourcentage de couverture n'est que de 40 % si l'on considère l'ensemble des coûts marginaux et de 55 % si, conformément aux propositions du groupe de travail, on ne tient pas compte des coûts marginaux de congestion (cf. § VIII-5).

IX-3-3 - Ce pourcentage est encore plus faible (24,5 %) sur les voies de gabarit inférieur au gabarit Freycinet.

IX-4 - En conclusion de ses travaux, il est apparu au groupe de travail :

IX-4-1 - Que les taxes et péages actuellement perçus sur les voies à grand gabarit (en dehors du Rhône, du Grand Canal d'Alsace et du Rhin) dépassant très largement (de 64 % d'après les valeurs calculées) le montant des redevances qui correspondraient à la perception de péages égaux à l'ensemble des coûts marginaux (d'usage, externes et de congestion) afférents à cette catégorie de voies, il n'y a pas lieu d'y percevoir d'autres taxes.

IX-4-2 - Que les taxes et péages actuellement versés par la navigation intérieure sur l'ensemble des voies navigables françaises (en dehors du Rhône, du Grand Canal d'Alsace, du Rhin et des canaux de la ville de PARIS) dépassent largement (de 28 % d'après les valeurs calculées) le montant des redevances qui correspondraient à la perception de péages égaux aux coûts marginaux d'usage et externes (à l'exclusion des coûts marginaux de congestion), afférents à ces voies, et atteignent à 3 % près le montant de ces redevances, majorées de celles qui correspondraient aux coûts marginaux de congestion sur les seules voies à grand gabarit.

IX-4-3 - Que, dans ces conditions, conformément aux propositions faites au § VIII-5, et compte tenu du développement prévisible des taxes particulières sur les voies à grand gabarit (en particulier sur le canal DUNKERQUE-DENAIN), le système de taxation actuel, accepté par les usagers, ne semble pas devoir être modifié.