

MINISTERE
DES TRAVAUX PUBLICS
ET DES TRANSPORTS

Service
des Affaires Economiques
et Internationales

S.A.E.I. N° 2757

COUTS ET TARIFS DE TRANSPORTS

APPLICATIONS CHIFFREES DE DIVERS CONCEPTS

Observatoire Economique
et Statistique des Transports
DISSEMINATION
Ref. CDAT
8910

Décembre 1963.

COUTS ET TARIFS DE TRANSPORTS

APPLICATIONS CHIFFREES DE DIVERS CONCEPTS

SOMMAIRE DU DOSSIER :

Note introductive.

Nomenclature des divers concepts de coûts et de tarifs utilisés.

- | | | |
|-----------|---|--|
| Note N° 1 | : | Canal du Nord. |
| Note N° 2 | : | Canal de Bourgogne. |
| Note N° 3 | : | Chemin de fer. |
| Note N° 4 | : | Route. |
| Note N° 5 | : | R.A.T.P. |
| Note N° 6 | : | Calcul approximatif du coût de développement relatif à l'écoulement du trafic de migrations alternantes par véhicules individuels entre le centre de Paris et le Boulevard Périphérique. |
| Note N° 7 | : | Tarifification optimale d'une autoroute urbaine. |



NOTE INTRODUCTIVE

relative aux calculs de coûts et de tarifs
de transport

Le dossier ci-joint vise à présenter des illustrations chiffrées des diverses conceptions possibles des coûts de transport. Le résultat numérique des calculs qu'il contient n'est pas à considérer en lui-même comme fournissant la valeur absolue du coût d'une certaine "unité de trafic" pour un mode de transport ou une voie déterminée, et encore moins comme permettant d'effectuer des comparaisons entre modes de transport. Il est essentiellement destiné à illustrer les différents concepts de coûts, à montrer leurs ordres de grandeur respectifs dans plusieurs cas concrets et à mettre en évidence les mécanismes de calcul et les "modèles" à utiliser pour les évaluer. L'analyse des résultats obtenus et des difficultés rencontrées devrait permettre de préciser l'opinion que l'on peut se faire sur le bien-fondé et le caractère plus ou moins opérationnel de ces différentes notions.

Les coûts évalués dans le dossier ci-joint peuvent être regroupés en trois grandes catégories :

a) les coûts globaux ou totaux relatifs à un programme de production déterminé à partir desquels on peut calculer, en les rapportant à l'unité de trafic, des coûts moyens, lorsqu'il est possible de considérer que le programme de production prévu est composé d'unités économiquement identiques ;

b) les coûts marginaux ou différentiels, dont le principe consiste à comparer les coûts globaux relatifs à deux programmes distincts (la différence entre les deux programmes pouvant parfois être infinitésimale) ; dans cette série se rangent en particulier les coûts de développement et de récession ;

c) enfin, les tarifs ou séries de tarifs que l'on peut qualifier d'optimaux au sens de la théorie de l'optimum de gestion ; la condition d'une gestion optimale suffit, à elle seule, pour déterminer ces tarifs : mais on peut imposer à la politique tarifaire des conditions supplémentaires, telles que l'équilibre budgétaire ou une certaine péréquation dans le temps ou dans l'espace ; ces conditions supplémentaires conduisent en général à un nouveau système de tarifs, "optimal" dans le cadre des contraintes supplémentaires ainsi imposées.

Si le calcul du "coût total" afférent à un programme de production ne pose, en principe, pas de difficulté, il n'est possible d'évaluer des coûts moyens que si l'ensemble des prestations fournies sont économiquement identiques. La notion de "coût moyen" suppose pratiquement qu'il n'y ait qu'une seule catégorie de prestations fournies, et elle considère comme identiques les prestations produites à des périodes différentes, ce qui n'est admissible en toute rigueur qu'en cas de constance de la production en qualité et en quantité. Lorsque des services différents sont fournis au cours du même processus de production, il est nécessaire de procéder à une ventilation largement arbitraire de certaines dépenses, si l'on tient encore à définir un coût moyen par type de services produits.

Les calculs de "coûts marginaux" ou "différentiels" échappent au contraire à cette difficulté, puisque l'on peut toujours se borner à comparer des programmes ne différant entre eux qu'en ce qui concerne la production d'une seule catégorie de biens.

De même, les "tarifs optimaux" sont également parfaitement définis dans le cas de productions multiples.

Il existe par ailleurs une distinction essentielle entre les calculs de coûts totaux ou marginaux, et ceux concernant les "tarifs optimaux" : elle repose sur le rôle joué par l'analyse de la demande.

Les calculs de coûts totaux et de coûts marginaux résultent uniquement de considérations techniques relatives aux fonctions de production (pour les différents niveaux de production prévus) et de la connaissance des prix des divers facteurs de production intervenant dans les prix de revient. Ils visent simplement à déterminer, pour un programme donné, la solution minimisant le coût global, en vue d'orienter les choix des usagers et de la puissance publique.

Le calcul de "tarifs optimaux" fait intervenir, de manière essentielle, la considération des courbes de demande : on a défini en effet ce concept, dans les Notes qui l'ont utilisé, comme le tarif obtenu à un instant donné en considérant à la fois la courbe de la demande et la capacité de l'infrastructure existante. Ce tarif est égal en dehors des périodes de saturation de l'ouvrage, au coût partiel (en général assez faible). Lorsque la demande a tendance à s'établir à un niveau supérieur à la capacité de l'installation, le "tarif optimal" est égal au coût partiel majoré de la somme (rente) nécessaire pour égaliser la demande à la capacité existante. La difficulté principale du calcul à l'avance des "tarifs optimaux" réside dans le fait que leur mise en oeuvre exige, en principe, une connaissance préalable des courbes de demande, laquelle est rarement donnée. On peut admettre toutefois que, dans le cadre de procédures décentralisées de fixation des tarifs, des approximations successives permettraient de les déterminer progressivement.

Compte tenu des classements opérés tant par le Comité d'experts gouvernementaux placé auprès de la Commission de la Communauté Economique Européenne de Bruxelles que par diverses instances nationales, quatre groupes de coûts ont été calculés dans la plupart des Notes jointes, correspondant aux notions de charges effectives, de coûts moyens, de coûts de développement et de coûts de régression. Dans chaque groupe de coûts, plusieurs variantes, résultant d'approches ou de méthodes différentes, peuvent être utilisées ; elles ont été, quand c'était possible, évaluées distinctement. Enfin la notion de "tarif optimal" a fait l'objet de deux applications chiffrées.

La nomenclature des divers concepts de coûts utilisés dans les calculs, et l'indication des Notes où ils se trouvent respectivement utilisés, figurent sur une feuille séparée jointe au dossier.

On trouvera ci-dessous les définitions détaillées de ces différents concepts, repérés par les mêmes symboles que ceux figurant dans les Notes ci-jointes.

A. CHARGES EFFECTIVES

Cette expression peut recouvrir deux concepts différents.

A1. Dépenses réelles

Les "dépenses réelles" relatives à un exercice donné sont fonction de l'ensemble d'un programme de production. Elles représentent l'ensemble des sommes effectivement déboursées pendant l'exercice considéré quelque soit leur mode de financement. Il est possible de les ramener à l'unité de trafic si l'ensemble de la production de cet exercice peut être mesuré avec une unité commune. A l'échelle d'une infrastructure de transport, la mise en application de ce concept rencontre de sérieuses difficultés : en effet la majeure partie des dépenses est effectuée au moment de la construction de l'ouvrage, à un moment où il n'existe pas encore de trafic. Cette notion est généralement employée à l'échelle d'un réseau où elle peut avoir une certaine signification.

A2. Charges budgétaires

On entend par "charges budgétaires" le montant des charges annuelles ayant grevé le budget (de l'Etat ou d'une entreprise) pendant une année : ce montant n'est différent de celui des "dépenses réelles" que lorsque des emprunts viennent étaler, dans le temps, pour le maître d'oeuvre, le poids financier réel de l'investissement, car il ne faut tenir compte alors que des annuités de remboursement effectivement versées.

...

B. COUTS MOYENS

Plusieurs types de "coûts moyens" peuvent être calculés.

B1 et B2. Coût moyen actuel

On calcule le "coût moyen actuel" d'une production déterminée en divisant le coût total de l'exercice par le trafic enregistré pendant cet exercice. Le "coût total", (1), quant à lui, s'obtient en additionnant les dépenses d'exploitation et les charges de capital de l'exercice considéré, ces dernières étant calculées par annuités constantes d'intérêt et d'amortissement. Dans les Notes ci-jointes, les annuités de capital ont été calculées, chaque fois que cela était possible, successivement :

- sur la base de la valeur de reconstruction des installations (coûts B1), et
- sur la base de la valeur de récupération ou de revente de celles-ci (coûts B2).

Ces deux évaluations définissent les limites supérieure et inférieure de la valeur économique d'une infrastructure, entendue selon le concept du "coût total" (1).

B'1 et B'2. Coût moyen futur.

Le "coût moyen futur" d'un programme de production donné est égal au quotient des dépenses futures actualisées à prévoir, majorées de la valeur de l'équipement existant à l'instant initial de la période couverte par le programme étudié, par la somme actualisée des trafics futurs.

La valeur de l'équipement initial peut elle-même être évaluée de diverses façons :

- soit sur la base de la valeur de reconstruction (coûts B'1 dans les Notes ci-jointes),

...

(1) Tel qu'il a été défini dans les travaux du Comité d'experts gouvernementaux placé auprès de la Commission de la C.E.E. à Bruxelles.

- soit sur la base de la valeur de récupération (coûts B'2).

Ces deux évaluations encadrent la "valeur économique" de l'équipement initial, au sens donné à ce terme par le Comité d'experts gouvernementaux placé auprès de la Commission de la C.E.E. à Bruxelles.

C. COÛTS DE DEVELOPPEMENT (1).

Le calcul d'un coût de développement repose sur la comparaison de deux programmes futurs de production, qui diffèrent entre eux par le volume prévu pour l'une des productions de ce programme : le "coût de développement" de la production supplémentaire est en effet égal au quotient du supplément actualisé de dépenses, notamment d'infrastructure, qu'il faudra engager pour permettre sa réalisation, par le nombre d'unités supplémentaires à produire.

C1. Coût marginal de développement

Pour des différences très petites entre les deux programmes de production, le coût de développement est un coût marginal.

C2. Coût moyen de développement

Lorsque, au contraire, les deux programmes de production diffèrent sensiblement, le coût de développement apparaît comme un coût différentiel marqué.

En particulier, si le programme de production de référence concerne une hypothèse de stagnation du trafic, - c'est-à-dire si l'on se place dans la perspective d'une

...

- (1) La définition du coût de développement envisagée dans les Notes ci-jointes est plus restrictive que celle utilisée dans divers autres documents émanant du S.A.E.I., notamment dans la note SAEI n° 2 467 relative à la politique générale des transports.

Le présent dossier vise en effet à définir des procédures précises de calcul, alors que dans les autres documents, et notamment dans la Note n° 2 467, il s'agissait d'un concept plus général.

d'une expansion plus ou moins forte du trafic par rapport au niveau atteint à un moment donné, - le "coût moyen de développement" représente la somme actualisée de dépenses, ramenée à l'unité de trafic, qu'il sera nécessaire d'effectuer pour faire face à l'expansion attendue.

Lorsque les accroissements de capacité s'effectuent de façon discontinue, on est conduit, pour calculer le coût de développement, à comparer des programmes de production qui diffèrent entre eux d'une quantité strictement égale aux capacités supplémentaires à installer (par exemple, le nombre de places d'un wagon supplémentaire accroché à un train, ou le nombre de voitures supplémentaires que permettrait d'écouler une nouvelle bande de circulation sur une autoroute). On qualifie d'"adapté" le coût de développement défini de cette manière.

D. COUTS DE REGRESSION

Lorsqu'une décision de fermeture à terme a été prise pour une infrastructure de transport, il n'y a plus de raison d'imputer aucune charge nouvelle d'infrastructure aux usagers de la voie pendant la période où elle reste ouverte : le "coût de régression" ne comporte que les frais d'exploitation du matériel et, éventuellement, quelques dépenses de fonctionnement et d'entretien du capital immobilisé, lorsque l'on désire, sans renouveler véritablement l'ouvrage, en prolonger quelque peu la durée d'utilisation ou permettre à celle-ci de devenir plus intense.

Selon qu'il s'agit de variations du niveau de production très faibles, ou au contraire importantes, pouvant conduire à envisager la fermeture de l'ouvrage, le coût de régression peut être qualifié de "marginal" (D1) ou de "moyen" (D2).

E. TARIFICATION DANS LE CAS DES GRANDES DISCONTINUITES.

En cas de très grande discontinuité dans les investissements d'infrastructure, les concepts de coût proprement dits sont délicats à appliquer concrètement. Il est intéressant d'évaluer, dans cette situation, non plus le coût, mais le "tarif optimum" auquel conduirait l'application stricte de la théorie de l'optimum économique de gestion. Ce tarif est, à tout instant, celui qui aboutit à la meilleure utilisation possible de l'infrastructure : il est donc nul ou très faible tant que celle-ci n'est pas saturée, et ensuite il est fixé au niveau - généralement croissant avec le temps - qui permet de maintenir le trafic au volume de saturation.

Ce "tarif optimum théorique " (E1) a fait l'objet de deux calculs chiffrés dans le présent dossier. Aucune évaluation, par contre, n'est proposée pour le même tarif lorsqu'il doit, en outre, obéir à des contraintes supplémentaires, telles que la constance dans le temps ou l'équilibre budgétaire (E2).

Les divers exemples rassemblés dans les Notes ci-jointes ont été choisis en fonction de plusieurs considérations, à savoir :

- illustrer aussi largement que possible les divers concepts de coûts utilisables dans la politique des transports,
- mettre principalement l'accent sur le problème, essentiel et controversé, de l'évaluation et de l'imputation des charges d'infrastructure,
- être relatifs à une gamme étendue de moyens de transport.

Le délai relativement bref de mise en forme des exemples étudiés a parfois conduit à des schématisations qui seraient abusives dans une étude opérationnelle, mais qui permettent de montrer clairement les caractéristiques essentielles de chacune des solutions expérimentées.

Les divers concepts utilisés, qui s'échelonnent de l'utilisation presque brute des données financières, réalisée dans la notion de "charges effectives", jusqu'à la conception élaborée du coût de développement et, surtout, du "tarif optimum" revêtent une valeur croissante dans l'optique de la recherche d'une politique optimale des transports. Les difficultés du calcul concret, sans croître proportionnellement, sont toutefois plus sensibles dans les systèmes plus élaborés.

La notion de "coût de développement", dans le sens qui lui a été donné dans la présente Note, offre un avantage essentiel, lorsque les discontinuités de l'équipement ne sont pas accentuées, pour traduire dans la politique fiscale et tarifaire les coûts futurs des infrastructures.

Dans les autres cas, si cette notion conserve une valeur en tant que langage synthétique permettant de comparer les différents programmes de gestion destinés à faire face à un même accroissement du trafic, et constitue une terminologie commode dans le cadre des études de bilans actualisés, son utilité sur le plan de la politique tarifaire est moins immédiate : elle doit alors être suppléée par le concept de "tarif optimum".

Celui-ci fait l'objet d'une première analyse poussée dans les Notes n°s 1 et 7, qui ont trait à des investissements assez fortement discontinus. La Note n° 1, notamment, montre clairement l'intervention décisive de la courbe de demande et de son évolution dans le temps pour fixer le tarif optimal. L'exemple choisi dans cette Note illustre également l'influence, pour cette détermination, de choix corrects en ce qui concerne la date de réalisation des investissements. Mais le calcul des tarifs optimaux, au sens de la théorie, se heurte à une sérieuse difficulté dans la mesure où la courbe de demande est généralement très mal connue, et ne pourrait être mieux appréciée que par des approximations successives, toujours délicates sur le plan pratique.

L'ensemble des concepts expérimentés dans le présent dossier doit, sans nul doute, faire l'objet d'études plus poussées et plus complètes. Le S.A.E.I. est disposé à les entreprendre en coopération avec les services intéressés. Il souhaiterait recevoir, à cette fin, les critiques et les suggestions des lecteurs des Notes ci-jointes.

NOMENCLATURE DES DIVERS CONCEPTS DE COUTS ET DE TARIFS UTILISES.

A - Charges effectives

- A₁ Dépenses réelles Note N° 4
A₂ Charges budgétaires Notes N° 1, 2, 4, 5

B - Coûts moyens

- B₁ Coût moyen actuel (basé sur la valeur de reconstruction) Notes N° 1, 2, 3, 4, 5
B₂ Coût moyen actuel (basé sur la valeur de récupération) Notes N° 1, 2, 3
B₁ Coût moyen futur (basé sur la valeur de reconstruction) Notes N° 1, 3, 4
B₂ Coût moyen futur (basé sur la valeur de récupération) Notes N° 1, 3

C - Coûts de développement

- C₁ Coût marginal de développement Notes N° 1, 2, 3, 4
C₂ Coût moyen de développement Notes N° 1, 2, 3, 4, 5, 6

D - Coûts de régression

- D₁ Coût marginal de régression Notes N° 2, 3
D₂ Coût moyen de régression Note N° 2

E - Tarification dans le cas de grandes discontinuités

- E₁ Tarif optimum théorique Note N° 1, 7
E₂ Adaptation de cette notion dans le cas de contraintes (constance des tarifs, équilibre budgétaire) non calculé

NOTE N° 1

CANAL DU NORD

L'objet de la présente étude est de montrer sur un exemple concret, à quels résultats numériques conduisent les diverses notions de coût envisagées par le Comité d'Experts gouvernementaux placé auprès de la Commission de la C.E.E. et dans divers travaux entrepris en France.

Ces données relatives aux coûts sont complétées par un calcul du niveau du tarif optimum au cours du temps, résultant de l'application stricte de la théorie de l'optimum de gestion, puis de son application sous deux contraintes différentes :

- maintien du niveau des péages constant au cours du temps,
- contrainte d'équilibre des coûts et des recettes en valeur actualisée,

et combinaison de ces deux contraintes.

L'attention du lecteur est attirée sur plusieurs hypothèses fondamentales sous-jacentes à toute l'étude :

- 1°- On suppose l'avenir parfaitement connu;
- 2°- L'environnement extérieur du canal (existence et tarification des infrastructures concurrentes) est schématisé de façon synthétique dans les hypothèses concernant la demande;
- 3°- La demande est supposée réagir de façon parfaitement instantanée aux variations des tarifs pratiqués (il n'y a pas de phénomènes d'hystérésis ou d'anticipation).

Le lecteur devra se garder, en raison de l'incertitude qui entoure la connaissance de certains éléments de la structure des coûts et de la schématisation de la demande, de tirer des conclusions concernant la valeur absolue des chiffres obtenus.

./...

I - GENERALITES.

1. Caractéristiques générales du canal :

Il relie le Nord de la France à la région parisienne et est appelé à remplacer le canal de Saint-Quentin. Ses extrémités, ARLEUX sur le canal de la Sensée et PONT-l'EVEQUE sur le canal latéral à l'Oise, sont distantes de 93,710 kilomètres.

Les travaux sur ce canal ont commencé en 1908 et ont été interrompus en 1914. Ils ont repris en 1958.

- Capacité : 2 x 350 T. à l'enfoncement de 2,20 m. = convoi poussé de 700 T.
- Cuvette : section mouillée 79,5 m².
- Ecluses : dimensions 6 x 91,90 m.
nombre 19 de 6 m. de chute en moyenne.
- Souterrains : 2 souterrains
 - La Panneterie de longueur 1 100 m. à voie unique,
 - Ruyaulcourt de longueur 4 350 m. comportera une section à voie unique de 1 600 m. à chaque extrémité et une partie centrale de 1 150 m. à double voie.
- Nombre de ponts : 55 ponts route,
3 ponts rail.

2. Calcul des valeurs de reconstruction et de récupération.

a) Valeur de reconstruction :

- terrains	14	MF.
- terrassements	50,4	MF.
- étanchéité, défense de berges	58,2	MF.
- écluses	147,4	MF.
- tunnels	46,3	MF.
- chemin de service	3,75	MF.
- maisons éclusières	1	MF.
- ponts	29,5	MF.
	<hr/>	
TOTAL arrondi ..	350	MF.
	<hr/>	

./...

b) Valeur de récupération :

(estimation)

15 MF.

3. Dépenses d'entretien et d'exploitation.

Suivant le type de la navigation, elles sont en Millions de Francs, T étant le trafic annuel en Millions de Tonnes :

- navigation de jour : $C_{12} = 1,4 + 0,1 T$

- navigation de nuit et de jour : $C_{24} = 1,9 + 0,11 T$

- navigation de nuit et de jour : $C_{24}^1 = 2,3 + 0,15 T$

après doublement des écluses.

(Sources : Groupe central de confrontation des coûts du chemin de fer et de la navigation intérieure).

Les coûts d'entretien et d'exploitation par tonne et par tonne-kilomètre retenus dans la présente étude, sont indiqués sur le Tableau suivant en fonction du tonnage annuel.

Trafic	Coût à la Tonne en Francs	Coût à la Tonne- Kilomètre en centimes
3 (jour)	0,57	0,603
4 (jour)	0,45	0,48
5 (jour)	0,38	0,405
6 (jour et nuit)	0,42	0,445
7 (jour et nuit)	0,38	0,405
8 (jour et nuit)	0,35	0,37
9 (jour et nuit)	0,32	0,34
10 (jour et nuit)	0,30	0,32

4. Coût de doublement des écluses : 165 Millions de F.

II - CALCUL DES DIVERS COUTS

Les divers coûts envisagés dans la note introductive peuvent être évalués de la manière suivante :

A - Charges effectives.

A₁ - Dépenses réelles : non calculé.

A₂ - Charges budgétaires :

Ce coût est donné par l'emprunt de 140 Millions de F. émis par l'Office National de la Navigation sur 20 ans à 5,25 %. Les annuités sont constantes et égales à 11 MF. par an. Ce qui donne les coûts suivants pour les différents trafics susceptibles de se produire (ces coûts sont constants annuellement pendant les 20 premières années, ils sont nuls au-delà) :

Trafic annuel	Coût à la Tonne en Francs	Coût à la TK. en centimes
4	2,75	2,94
5	2,2	2,42
6	1,83	2,04
7	1,57	1,75
8	1,37	1,53
9	1,22	1,36
10	1,1	1,17
11	1	1,07

./...

B. Coûts moyens

B₁ - Coût moyen actuel (basé sur la valeur de reconstruction).

Ce coût est calculé à partir d'une annuité constante de 24,4 MF. par an (la durée de vie de tous les éléments a été prise infinie par simplification, - taux d'intérêt 7 %). On obtient par unité de trafic en fonction du trafic de l'année :

Trafic de l'année en Millions de Tonnes :	Coût par T. en Francs :	Coût par TK. en centimes :
4	6,05	6,45
5	4,85	5,3
6	4,02	4,5
7	3,45	3,85
8	3,02	3,36
9	2,68	3
10	2,52	2,56

B₂ - Coût moyen actuel (basé sur la valeur de récupération)

Il est égal à 4 % du coût moyen actuel basé sur la valeur de reconstruction.

B' - Coûts moyens futurs

B'₁ - Coût moyen futur (basé sur la valeur de reconstruction).

Ce coût est calculé de telle sorte qu'il soit constant par unité de trafic. L'hypothèse de progression de trafic est la suivante : le trafic croît de 5 % par an jusqu'à la saturation du canal et alors il reste constant. On arrive en fonction du trafic initial au Tableau suivant :

./...

Trafic initial	Coût par T. en Francs	Coût par TK en centimes
3	3,04	3,2
4	2,9	3,1
5	2,8	3
6	2,54	2,7
7	2,48	2,64

B'_2 - Coût moyen futur (basé sur la valeur de récupération).

Il est égal à 4 % du coût précédent.

C - Coûts de développement.

C_1 - Coût marginal de développement :

Il est calculé pour une variation instantanée d'amplitude et de durée petites par rapport à la perspective de trafic considérée.

Il est égal à 0,1 F/T pour la navigation de jour
et à 0,11 F/T pour la navigation continue.

C_2 - Coût moyen de développement :

Les hypothèses sur la progression du trafic sont les suivantes : trafic initial T_0 variable, puis progression de 5 % par an (ce chiffre peut paraître optimiste mais il ne s'agit que d'une illustration et il ne faut donc pas attacher trop d'importance à cette hypothèse). Ce coût est calculé dans l'hypothèse où on décide de procéder au doublement des écluses lorsque la saturation du canal est atteinte.

Le tableau suivant donne en fonction du trafic initial T_0 , la date de saturation, le coût moyen de développement par Tonne et par TK, les dépenses et les recettes actualisées à l'instant initial en ne tenant compte que du trafic saturant.

./...

To annuel (en mil- lions de Tonnes)	Date de saturation	Coût moyen de développement (en Francs par Tonne)	Coût moyen de développement (en centime par TK)	Recettes actualisées (1) (en millions de Francs).	Dépenses (1) actualisées (1) (en Millions de Francs.)
3	1990	1,75	1,85	148	417
4	1984	1,87	1,98	200	436
5	1979,5	2,5	2,66	295	454
6	1975	3,56	3,78	450	472
7	1972	5,3	5,61	715	500

(1) Les recettes et les dépenses sont calculées en supposant que le niveau de trafic se stabilise après la saturation à un niveau légèrement supérieur au niveau du trafic saturant.

Un deuxième Tableau à double entrée, qui figure ci-dessous, donne le coût moyen de développement en centimes par TK suivant le trafic en 1965 et suivant l'année à laquelle on le calcule. Ce Tableau montre que dans le cas où la discontinuité de l'investissement est importante et où l'on envisage seulement l'avenir relativement proche, la notion du coût moyen de développement peut présenter sous cette forme certaines difficultés d'application.

Mil- lions de Tonnes 1965	Année de calcul				
	1965	1970	1975	1980	1985
3	1,85	1,95	2,50	3,8	6,4
4	1,98	2,60	4,8	6,6	-
5	2,66	4,4	7,2	-	-
6	3,78	6,2	-	-	-
7	5,61	8,4	-	-	-

D - Coût de régression.

Sans objet.

E - Cas des grandes discontinuités.

E₁ - Tarif optimum théorique :

Ce problème ne peut être traité sans aborder le problème de la date optimum de doublement des écluses. Le principe du calcul est le suivant :

- 1. hypothèse : on se donne la courbe de demande et la déformation dynamique de cette courbe avec le temps.
- 2. Le tarif appliqué est celui qui limite le trafic au trafic saturant la voie d'eau.
- 3. On trouve la meilleure date de doublement des écluses en optimisant les recettes pour la collectivité.

Le détail des calculs est donné en annexe. Les résultats sont les suivants :

La saturation apparaît à la 5ème année et il faut, suivant les hypothèses choisies, ne doubler les écluses qu'aux 19, 23 ou 30ème années. Si on prend l'hypothèse la plus vraisemblable à notre avis, on double à la 30ème année et le péage à partir de la 5ème année est égal à :

$$p = 0,07 (n - 4.6)$$

n étant le numéro de l'année. Sa variation est donnée par la courbe jointe.

E₂ - Adaptation de cette notion dans le calcul des contraintes supplémentaires.

Calcul non effectué.

./...

TABLEAU RECAPITULATIF
DONNANT LE PEAGE EN CENTIMES PAR T.K. DANS LE CAS D'UN TRAFIC
INITIAL DE 4 MILLIONS DE TONNES ET D'UNE PROGRESSION
DE TRAFIC DE 5 % POUR LES DIVERSES SOLUTIONS

	1965	1969	1973	1976	1979	1981	1984
Trafic en millions de tonnes	4	5	6	7	8	9	10,3
A ₂	3,4	2,8	2,45	2,15	1,9	1,75	1,5
B ₁	6,9	5,6	4,9	4,2	3,7	3,7	2,8
B' ₁	3,6	3,5	3,55	3,5	3,4	3,34	3,32
B' ₂	0,6	0,5	0,55	0,5	0,47	0,44	0,42
C ₂	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98

III - COMMENTAIRES.

L'étude faite, bien que certaines données numériques utilisées soient discutables (en particulier les données concernant le trafic, sa progression et la courbe de demande), permet cependant de mettre en valeur les avantages et les inconvénients des diverses méthodes d'évaluation des coûts de transport :

1°- Les méthodes A (charges effectives), B (coûts moyens), C et D (coûts de développement et de régression), présentent une lacune commune : elles ne tiennent pas compte de la courbe de la demande; la progression de trafic retenue dans les calculs ne fait pas intervenir les relations tarif-traffic. On aurait pu penser à entreprendre un calcul par approximations successives (1) : mais cette méthode, applicable dans certains cas, ne l'est pas dans d'autres. Il faut

./...

-
- (1) A partir du trafic prévu T_0 , on trouve par la méthode choisie un tarif p_0 correspondant à une demande de trafic T_1 qui n'est en général pas T_0 ; on évalue par la même méthode un nouveau tarif p_1 à partir de T_1 et ainsi de suite jusqu'à ce que le trafic trouvé T_n corresponde à la demande pour le trafic p_n .

en effet qu'il y ait convergence des calculs, c'est-à-dire, qu'il existe une limite non infinie pour le tarif. Or cette condition n'est réalisée que lorsque la courbe indiquant le tarif en fonction du trafic dans le cas considéré coupe la courbe de demande. Dans le cas présent, cette condition n'est remplie ni pour la méthode A_2 , ni pour les méthodes B.

Dans le même ordre d'idée, les coûts A et B sont décroissants avec le trafic, ce qui interdit de les utiliser pour calculer des tarifs si l'on désire orienter correctement le trafic et l'écouler au moindre coût pour la collectivité : on aboutirait en effet de cette manière, dans le cas de concurrence entre deux voies, à charger celle qui serait déjà saturée.

2°- La méthode A_2 présente la particularité, non seulement d'avoir un coût A_2 décroissant avec le trafic, mais encore de conduire à un tarif nul au bout de 20 ans (ce qui correspond par hasard dans le cas choisi, à la date de saturation); les résultats auxquels elle conduit dépendent en outre directement du mode de financement adopté.

3°- La méthode des coûts totaux conduit à une fourchette très importante selon la manière dont les coûts ont été évalués, - valeur de reconstruction ou valeur de revente (de 1 à 6 ou de 1 à 10 suivant la variante). La méthode B_1 (coût moyen actuel) aboutit à un coût très élevé (6,9 centimes par T.K.) pratiquement inapplicable, car il tarifierait immédiatement le trafic. La méthode B'_1 (coût moyen futur) donne des coûts d'un niveau moins aberrant.

4°- La méthode des coûts moyens de développement (C_2) présente la propriété d'être très sensible à l'hypothèse du niveau de trafic initial et au taux de progression de trafic prévu. Elle conduit à des coûts différents suivant l'année à partir de laquelle on décide de l'appliquer. Elle peut aboutir, ou non, suivant les hypothèses de trafic, à l'équilibre budgétaire (cf Tableau C_2). Elle permet un calcul par approximations successives. Dans le cas choisi, le péage obtenu par ce procédé serait voisin de 1 centime par T/K.

5°- La méthode E est entièrement satisfaisante du point de vue théorique, mais elle ne tient pas compte de la contrainte d'équilibre budgétaire et serait difficile à appliquer pratiquement pour deux raisons principales :

- a) elle nécessite la connaissance de la courbe de la demande de trafic, qui est difficilement appréciable;
- b) elle entraîne en principe une augmentation progressive du niveau des péages, suivie de leur abaissement brutal. Cette politique tarifaire serait très délicate à mettre en oeuvre.

ANNEXE

Tarification optimum dans le cadre de l'application
stricte de la théorie de l'optimum de gestion.

1°- Hypothèses :

On a admis que la courbe de demande était donnée par la formule

$$T = K e^{-\frac{p}{p_0}}$$

T est le trafic s'écoulant lorsque le tarif est p .

Cette formule a été choisie en particulier par la Commission des Comptes des Transports de la Nation (voir p. 69 de l'annexe au cinquième rapport général : les obligations de service public de la S.N.C.F.). Dans le cas présent \therefore , elle n'est qu'approximative, aucune étude sérieuse de la question n'ayant été faite. Elle a l'avantage de mettre en valeur les points suivants :

- trafic limité pour un tarif nul,
- forme logique.

De plus, elle se prête facilement aux calculs.

La déformation considérée de cette courbe avec le temps est une homothétie de rapport e^{rt} avec $r = 0,05$, t étant exprimé en années.

Pour déterminer les paramètres de cette formule, on a choisi les points suivants :

$p = 0$	$T = 8 \text{ MT}$
$p = 1 \text{ centime}$	$T = 4 \text{ MT}$
	$- 0,7 p + 0,05 t$
on trouve ainsi $T = 8 e$	$T \text{ en MT}$
	$p \text{ en centimes.}$

On a de plus admis que la saturation se produirait pour $t = 5$ (ce qui revient, en supposant que le trafic se développe régulièrement avec un taux de 5 %, à prendre pour trafic initial 8). Rappelons en effet que la tarification optimum s'obtient en limitant la demande au niveau de saturation du trafic. Initialement la voie n'est pas saturée par la demande correspondant au tarif nul : le trafic est donc égal à 8 MT à la mise en service.

./...

2°- Tarif optimum :

A partir de $t = 5$ ans (chiffre arrondi) on applique donc le tarif :

$$p = 0,07 t + 2,9 - 1,4 \text{ Log } 10 = 0,07 t - 0,32$$

3°- Le problème est alors de savoir quand il faut procéder au doublement des écluses.

La résolution de la question provient de la comparaison de deux nombres : la différence de recettes R_1 et R_2 pour la collectivité pour l'année dans les deux hypothèses et le coût de doublement D des écluses : la date cherchée est telle que

$$R_2 - R_1 = i D \quad i \text{ étant le taux d'intérêt.}$$

La démonstration de cette formule est simple : le bilan actualisé de l'ensemble de l'utilisation du canal, de la mise en service à une date assez lointaine fixe (par exemple la date de saturation de l'ouvrage, doublement des écluses exécuté) en fonction de la date du doublement t est :

$$B(t) = \int_0^t R_1(\tau) e^{-i\tau} d\tau + \int_t^{t_1} R_2(\tau) e^{-i\tau} d\tau = D e^{-it}$$

$$\frac{dB(t)}{dt} = R_1(t) e^{-it} - R_2(t) e^{-it} + i D e^{-it} = 0$$

ce qui donne bien la formule précitée.

Calculons $R_1(t)$ et $R_2(t)$. Chacun est la différence de deux termes, la recette pour la collectivité et les dépenses d'entretien et d'exploitation.

on a :

$$R_1(t) = V_1(t) - C_1(t)$$

$$C_1 = 3,1 = \sqrt{1,9 + 0,11 \times 10}$$

$$V_1(t) = \int_0^{10} v(T) dT$$

$v(t)$ étant la recette correspondant au tarif pour lequel le trafic est T .

$v(t) = 0,075 t + 3,1 - 1,5 \text{ Log } T$ en F par T transitant par le canal

donc $\underline{V_1(t) = 0,75 t + 11,5}$ donc $\boxed{R_1 = 0,75 t + 8,4}$

./...

et
$$\underline{R_2(t) = V_2(t) - C_2(t)}$$

$$\underline{C_2 = 2,3 + 1,2 e^{0,05 t}}$$
 (ou $\underline{C_2 = 5,3}$ si le canal est saturé)

$$V_2(t) = \int_0^8 0,05 t v(t) dt$$

donc $\underline{V_2(t) = 11,5 e^{0,05 t}}$ et $\boxed{R_2 = 10,3 e^{0,05 t} - 2,3}$

Finalement l'équation donnant + s'écrit

$$10,3 e^{0,05 t} - 10,7 - 0,75 t = 11,5$$

ou $11,5 e^{0,05 t} - 13,7 - 0,75 t = 11,5$ si le canal est saturé pour la solution trouvée,

ce qui donne $\underline{t = 30 \text{ ans}}$

Le produit total actualisé jusqu'à l'année de doublement est alors 50 MF.

Nous allons refaire le même calcul pour une courbe de demande modifiée par affinité, c'est-à-dire passant par les points

$P = 2,3 \text{ centimes} \quad T = 4 \text{ M.T.}$

on trouve

P	t	Produit actualisé
1	30	55 MF
2	23	70 MF
3	19	75 MF

N O T E N° 2CANAL DE BOURGOGNE

(Section Joigny - Dijon)

La présente Note se propose d'illustrer, par des exemples concrets, les différentes notions de coût et de tarif que l'on peut considérer pour un canal du type Freycinet où le trafic est peu important.

I. GENERALITES -1- Description sommaire du canal -

Le canal assure la liaison entre la région parisienne et la vallée de la Saône. Son départ se trouve sur l'Yonne à Joigny et son débouché dans la Saône à St. Jean de Losne. Ses éléments essentiels sont :

Longueur : 242 km
 Altitude de départ : 80 m
 Point le plus haut (tunnel de Pouilly en Auxois) : 370 m
 Altitude d'arrivée : 184 m
 Nombre d'écluses : 189
 Taille des écluses : 38,50 x 5,20
 Nombre de ponts : 2 voies 34
 1 voie 54
 Voies ferrées 17
 Tunnel : 3,4 km
 Trafic en 1961 : 165.000 T.

Nous n'envisagerons pas dans cette note la section Dijon-St. Jean de Losne qui a un caractère très différent du reste du canal. Sur la section Joigny-Dijon, les éléments sont les suivants (pour ceux qui sont différents des éléments précités) :

Longueur : 213 km
 Altitude d'arrivée : 230
 Nombre d'écluses : 164
Nombre de ponts : 2 voies 29
 1 voie 47
 Voies ferrées 11
Trafic en 1961 : 33,6 millions de tonnes-kilomètres.

2- Des différents coûts envisageables -

Pour un canal de ce type, trois avenir sont envisageables : la fermeture immédiate, le maintien dans l'état actuel indéfiniment, la mise à un gabarit supérieur. La fermeture à terme pour des raisons techniques n'est pas à envisager car le maintien du canal dans un état voisin de l'état actuel serait nécessaire dans le cas de la fermeture pour assurer l'alimentation en eau des sections extrêmes si on les maintenait en service. On a exclu également la dernière hypothèse dans cette note. Pour choisir entre les deux autres solutions et pour donner l'éventail des résultats numériques auxquelles conduisent dans ce cas bien particulier les différentes notions de coût qui font l'objet de l'ensemble de l'étude, on doit étudier les différents coûts suivants :

- les dépenses réelles qui sont évaluées à partir des dépenses annuelles faites pour exploiter le canal et le maintenir en état,

- le "coût total" calculé dans l'optique des études du Sous-Comité chargé des études de coût d'infrastructure dans le cadre de la C.E.E., et qui nécessite la connaissance de la fourchette "coût basé sur la valeur de reconstruction à l'identique" - "coût basé sur la valeur de récupération",

- les coûts marginaux de développement et de régression qui seront calculés à partir de légères variations de trafic et qui sont dans ce cas à peu près nuls.

Enfin, il faut évaluer l'économie qui serait faite en cas de fermeture du canal à la circulation.

Notons que la notion de coût comptable n'a pas grand sens dans ce cas ; on peut considérer que le coût comptable n'est autre que le coût moyen correspondant à l'hypothèse retenue, c'est-à-dire en fait le coût moyen de maintenance.

3 - Les éléments du calcul -

Les prix unitaires retenus sont identiques à ceux retenus par le groupe de confrontation "voie d'eau - chemin de fer".

1°) Voie courante

a) Valeur de reconstruction et de récupération

Terrain : 1 F le m² (récupération 0,1 F) (20 m² au m)
 Terrassements : 2,75 F le m³ (50 m³ au m)
 Défense de berge sur 1/3 de la longueur (180 F pour 1 m de canal)
 Etanchement sur 1/3 de la longueur : 18 F le m²
 Chemin de service : 40.000 F au km

.../.

On obtient ainsi :

	<u>Reconstruction</u>	<u>Récupération</u>
Terrains	4,85 M.F.	0,485 M.F.
Terrassements	33,2 M.F.	
Défense de berge	14,5 M.F.	
Étanchement	17,4 M.F.	
Chemin de service	9,65 M.F.	
<u>Total</u> (pour les 242 km de canal)	79,5 M.F.	0,485 M.F.

pour la section considérée 70 M.F. et 0,425 M.F.

b) Entretien

3.500 F par km de voie soit 0,745 M.F.

2°) Ecluses

1) Construction : On n'a pas construit d'écluses de ce type depuis longtemps. On peut évaluer ce coût à 400.000 F par mètre de chute, soit : 160 M.F.

2) Fonctionnement :

Exploitation : 4.000 F par an par écluse soit 0,66 M.F.
Entretien normal par an : 2.500 F par an par écluse, soit 0,41 M.F.

3°) Ouvrages d'art :

1. pont : pont route : 2 voies 0,33 M.F.
1 voie 0,105 M.F.
pont fer par voie 1 M.F.
soit au total 28 M.F.

2. tunnel : Estimation de 24 M.F.
Entretien 1.000 F par km

4°) Divers :

Alimentation : nous ne tiendrons pas compte de ce poste par manque d'information
Maisons éclusières - valeur de construction 20.000 F
- valeur de récupération 2.000 F
- entretien et location compris dans le coût d'exploitation de l'écluse.

5°) Economie réalisée en cas de fermeture : Cette économie peut être grossièrement évaluée à 1,5 MF par an.

6°) Trafic en 1961 : 34 millions de tonnes kilométriques. Ce trafic est supposé rester constant dans l'avenir.

II. CALCUL DES DIVERS COÛTS -

Le tableau suivant indique les résultats des calculs des différents coûts suivant la nomenclature précisée dans la Note introductive :

Différents types de coûts	Total pour la section con- sidérée en millions de Fr.	Coût par T.K. en centimes
A ₂	1,8	5,4
B ₁ et B' ₁ (1)	20	64,9
B ₂ et B' ₂ (1)	0,06	5,6
C ₁ et C ₂	sans objet	sans objet
D ₁	0	0
D ₂	1,5	4,4
E	sans objet	sans objet

(1) Pour calculer ces coûts B, on a ajouté les coûts d'entretien et d'exploitation aux coûts provenant des valeurs de reconstruction et de récupération. Dans l'hypothèse retenue de stabilité du trafic, il y a égalité entre B₁ et B'₁ d'une part, et entre B₂ et B'₂ d'autre part.

III. COMMENTAIRES -

Il est possible, à la lumière de ces résultats numériques, de formuler diverses remarques :

1°) La notion de coût total apparaît, dans l'exemple choisi, totalement dénuée de signification : ce coût, calculé selon la valeur de reconstruction, s'élève en effet à 65 centimes par tonne-kilomètre, alors que le coût d'exploitation d'un automoteur est de l'ordre de 4 à 5 centimes par tonne-kilomètre.

2°) De même, l'ampleur de la fourchette entre les coûts totaux basés sur la valeur de reconstruction et sur la valeur de récupération est considérable (respectivement 5,5 et 65 centimes par tonne-kilomètre), ce qui réduit très sensiblement la valeur opérationnelle de cette notion.

.../.

3°) Le niveau élevé du coût moyen de regression (4,4 centimes par tonne-kilomètre), auquel il faut ajouter les charges terminales et les coûts d'exploitation pour obtenir le prix de revient complet du transport, conduit à poser la question de la fermeture du canal. Toutefois aucune conclusion ne peut être tirée sur ce point : une étude approfondie des moyens de remplacement et de la consistance du trafic serait nécessaire pour apprécier valablement l'intérêt d'une fermeture éventuelle ; cette étude devrait concerner également la section St-Jean de Losne-Dijon dont l'ouverture au trafic nécessite le maintien en état d'une partie de la section Joigny-Dijon.

4°) Dans la mesure où l'on déciderait, pour une raison étrangère à la considération des coûts, de maintenir le canal en service, il n'y aurait pas lieu d'instaurer une tarification qui n'aurait d'autres conséquences que de tarir presque complètement le trafic. Dès lors, pour couvrir les dépenses d'entretien, de fonctionnement et de renouvellement, il serait nécessaire de prévoir une subvention.

DECEMBRE 1963

NOTE N° 3Chemin de fer

La présente Note a pour objet de présenter des évaluations chiffrées des différents types de coûts du transport ferroviaire de marchandises.

L'exemple choisi est théorique, mais il lui a été appliqué des coûts d'exploitation et d'infrastructure résultant des études les plus récentes du S.A.E.I. et du groupe central de confrontation des coûts de transport par chemin de fer et par navigation intérieure.

I - GENERALITES.

1 - Définition du trafic étudié.

Trafic de pondéreux équilibré à 100 %.

Le profil de la ligne permet de former des trains de

1 600 tonnes brutes en traction Diesel

2 000 tonnes brutes en traction électrique
(25 000 volts)

Trains utilisés à 100 % de leur charge offerte.

Wagons chargés à 100 % de leur capacité.

2 - Autres éléments de base de l'étude.

Les calculs ont été faits pour différents régimes, permanents de trafic, dont chacun permet d'écouler un trafic total déterminé.

Les coûts donnés incluent les charges d'immobilisation du capital relatif aux installations non renouvelables et renouvelables, auxquelles viennent s'ajouter les dépenses annuelles de surveillance et d'entretien et les coûts de traction proprement dits.

Les différentes catégories de voies de chemin de fer retenues dans les calculs sont les suivantes :

.../

- 1 a : Ligne à 1 voie, non régulée, cantonnement téléphonique traction Diesel,
- 1 b : Ligne à 1 voie, régulée, block manuel de voie unique, traction Diesel,
- 1 c : Ligne à 1 voie, régulée, block manuel de voie unique, traction électrique (25 k v),
- 1 e : Ligne à 1 voie, régulée, commande centralisée de trafic, traction électrique (25 k v),
- 2 b : Ligne à 2 voies, régulée, block manuel de double voie, traction électrique (25 k v),
- 2 d : Ligne à 2 voies, régulée, block automatique lumineux, traction électrique (25 k v),
- 2 e : Ligne à 2 voies, régulée, block automatique lumineux, banalisation et télécommande traction électrique (25 k v).

II - CALCUL DES DIVERS COUTS.

A - Charges effectives

Sans objet

B - Coûts moyens

B_1 ou B'_1 - Coûts moyens actuels (basés sur la valeur de reconstruction des immobilisation).

.../

Catégories de lignes ferroviaires	Limites économiques de la capacité d'utilisation (en millions de tonnes)	Coût total en milliers de francs	Coût moyen en centimes par tonne-kilomètre
1 a	0 8,8	62 118	1,34
1 b	8,8 18	118 164	1,34 0,91
1 c	18 32,9	164 218	0,91 0,66
1 e	32,9 38,3	228,5 248	0,69 0,65
2 b	38,3 87,6	298 475	0,78 0,54
2 d	87,6 131,4	478 628	0,55 0,48
2 e	131,4 153,3	660 739	0,50 0,48

B₂ ou B'₂ - Coûts moyens futurs (fondés sur la valeur de récupération).

Les chiffres se déduisent de ceux du tableau précédent en évaluant les charges de capital des immobilisations non renouvelables, uniquement sur la base de la valeur de récupération de celle-ci.

Catégories de lignes ferroviaires	Limites économiques de la capacité d'utilisation (en millions de tonnes)	Coût total en milliers de francs par an	Coût moyen en centimes par tonne-kilomètre
1 a	0 8,8	49 105	1,19
1 b	8,8 18	105 151	1,19 0,84
1 c	18 32,9	151 205	0,84 0,62
1 e	32,9 38,3	226 235	0,69 0,61
2 b	38,3 87,6	281 448	0,73 0,51
2 d	87,6 131,4	451 611	0,52 0,46
2 c	131,4 153,3	643 722	0,49 0,47

C - Coûts de développementC₁ - Coût marginal de développement :

Catégories de lignes ferroviaires	Limites économiques de la capacité d'utilisation. (en millions de tonnes)	Coût marginal de développement (en centimes par tonne-kilomètre)
1 a	0 - 8,8	0,61
1 b	8,8 - 18	0,50
1 c	18 - 32,9	0,37
1 e	32,9 - 38,3	0,36
2 b	38,3 - 87,6	0,36
2 d	87,6 - 131	0,35
2 e	131,4 - 153,3	0,36

C₂ - Coût moyen de développement :

On a calculé des coûts moyens de développement dans deux hypothèses différentes concernant les extensions de capacité, et en supposant l'adaptation du trafic à celle-ci :

a) Ligne à voie unique exploitée en traction électrique : passage du block manuel à la commande centralisée du trafic (Catégorie 1e). Augmentation de la capacité de la ligne de 5,4 millions de tonnes/an (elle passe de 32,9 à 38,3 millions de tonnes).

.../

Accroissement de coût annuel(1) : 30 000 F

Accroissement trafic annuel : 5,4 millions de tonnes

Coût moyen de développement : 0,55 centimes par tonne-kilomètre.

b) Ligne à deux voies, régulée, fonctionnant en traction électrique et avec block automatique lumineux. Passage à la banalisation et à la télécommande.

Accroissement de capacité annuelle : 22 millions de tonnes

Accroissement de coût annuel : 79 000 F

Coût moyen de développement : 0,36 centimes par tonne-kilométrique brute.

D - Coûts de régression

D₁ - Coût marginal de régression.

Les réductions de dépenses résultant d'une légère diminution du trafic seraient identiques aux accroissements constatés en cas d'augmentation du trafic, tels qu'ils figurent sur le tableau C₁ ci-dessus.

D₂ - Coût moyen de régression.

Sans objet.

E - Cas des grandes discontinuités.

Non calculé.

(1) Dans le calcul du coût de développement adopté tel qu'il est présenté ici, il revient au même de raisonner sur des coûts ou des trafics actualisés d'une part, ou sur des coûts de trafics annuels. Le passage de l'une à l'autre notice s'effectuant très simplement en multipliant par le taux d'actualisation.

TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS COÛTS CALCULES

Types de coûts	Valeur des coûts (en centimes par tonne-kilomètre) :
A	Sans objet
B ₁ et B' ₁	de 1,34 à 0,48
B ₂ et B' ₂	de 1,19 à 0,47
C ₁	de 0,61 à 0,36
C ₂	Hypothèse a de développement : 0,55 (1) Hypothèse b de développement : 0,36
D ₁	de 0,61 à 0,36 (identique à C ₁)
D ₂	Sans objet
E	Non calculé

(1) Par tonne-kilomètre brute remorquée.

III - COMMENTAIRES.

1) Les coûts calculés dans la présente étude sont des coûts de traction proprement dits : ils correspondent aux charges d'infrastructure majorés des coûts d'acheminement, qui comprennent les coûts relatifs au matériel de traction ferroviaire et à son utilisation. Un calcul réduit aux seuls coûts d'infrastructure aurait manqué d'intérêt, notamment en ce qui concerne les opérations d'électrification des lignes qui procurent à la fois un gain de capacité et un abaissement des coûts d'acheminement (en d'autres termes, ce type d'investissement a des effets conjoints sur la capacité et sur la productivité).

En rajoutant aux coûts d'infrastructure un terme relatif au coût d'acheminement, on estompe en valeur relative l'écart existant entre les coûts moyens basés sur la valeur de reconstruction (B_1 et B'_1) et ceux fondés sur la valeur de récupération (B_2 et B'_2) des immobilisations non renouvelables.

2) Il convient par ailleurs de souligner que, pour pouvoir procéder à l'illustration chiffrée des divers concepts de coûts, il a fallu faire l'hypothèse que la ligne étudiée ne servait à acheminer qu'une seule catégorie de trafic, à savoir un trafic de pondéreux opéré par trains complets. Par rapport aux conditions pratiques d'utilisation des lignes de chemin de fer, cette hypothèse est tout à fait irréaliste : dans la pratique se posent des problèmes très complexes de productions liées (différents types de trafic de voyageurs et de marchandises), qui n'ont pu être abordés dans la présente étude. Il faut donc se garder de toute exploitation inconsidérée des résultats chiffrés, qui n'ont de valeur qu'entre eux et non pas en comparaison avec ceux d'autres Notes.

On constatera, de même, l'importance tout à fait inhabituelle des densités de trafic. Cette situation résulte de la nature même du trafic étudié.

3) Les tableaux B_1 ou B_2 mettent en valeur l'importance du phénomène de rendement croissant à long terme dans le domaine de traction ferroviaire. On remarque l'abaissement régulier du coût moyen à la tonne-kilomètre au fur et à mesure que l'équipement de la ligne, se renforce et que le trafic se développe; la légère hausse de ce coût après chaque palier de modernisation disparaît si le trafic continue à croître.

Le même phénomène est également mis en relief par la comparaison des coûts de développement calculés en C_2 avec les coûts moyens actuels enregistrés dans la phase qui précède immédiatement l'extension de capacité étudiée et qui figurent sur le tableau B_1 :

- dans l'hypothèse C_2 a) : - coût moyen 0,66 F (catégorie de ligne ferroviaire 1c sur le tableau B_1)
 - coût de développement 0,55 F
- dans l'hypothèse C_2 b) : - coût moyen 0,48 F (catégorie de ligne ferroviaire 2d sur le tableau B_1)
 - coût de développement 0,36 F

NOTE N°4

R-O-U-T-E

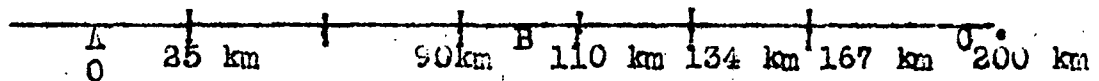
I - GENERALITES -

Un modèle, aussi proche que possible d'un exemple effectif, permet d'analyser des éléments de coût résultant de diverses études de la Direction des Routes et du S.A.E.I. et d'aboutir à des résultats chiffrés illustrant les différents concepts de coûts.

Modèle

Soit une route reliant trois villes notées A, B et C.

A l'année 0, le trafic observé est le suivant:



Sections	1	2	3	4	5	6
	0-25 km	25-90 km	90-110 km	110-134 km	134-167 km	167-200 km
Circulation moyenne journalière	1 500	1 700	2 600	2 250	3 000	3 500

Ces chiffres comprennent 12% de poids lourds.

Hypothèses

1) La circulation augmente de 10% par an sur chaque tronçon pendant 10 ans. Ensuite, elle n'augmente plus.

2) On fait des élargissements sur place. Les seuils de capacité admis sont ceux de la Direction des Routes:

- passage de 2 à 3 voies : 4.800 véh./jour.
 - " " 3 à 4 " 7.800 "

Les coûts d'élargissement admis sont:

- passage de 2 à 3 voies 300 000 F/Km
 - passage de 3 à 4 voies 500 000 F/Km

3) On suppose que la route actuelle est dimensionnée pour supporter le trafic à l'année 0: elle est donc partout à 2 voies.

On étudie le problème de passer successivement de 2 à 3, puis de 3 à 4 voies. On néglige l'entretien.

.....

Evolution du trafic

Unité: véhicule/jour

Sections	1	2	3	4	5	6	
Circul.moy.jour l'année	0	1 500	1 700	2 600	2 250	3 000	3 500
	1	1 650	1 870	2 860	2 475	3 300	3 850
	2	1 815	2 055	3 145	2 720	3 630	4 235
	3	1 995	2 260	3 460	2 995	3 990	4 658
	4	2 195	2 485	3 805	3 295	4 390	5 124
	5	2 415	2 735	4 185	3 625	4 830	5 636
	6	2 655	3 010	4 605	3 985	5 315	6 200
	7	2 920	3 310	5 065	4 385	5 850	6 820
	8	3 210	3 640	5 570	4 820	6 430	7 502
	9	3 530	4 005	6 130	5 205	7 075	8 250
	10	3 885	4 405	6 745	5 725	7 785	9 080

Echéancier des élargissements

Sections	1	2	3	4	5	6
Années 4			2			2 à 3 voies
5					2 à 3 voies	
6						
7			2 à 3 voies			
8				2 à 3 voies		3 à 4 voies
9						
10					2 à 4 voies	

Les travaux seront supposés effectués l'année précédente immédiatement le seuil de passage de 2 à 3 voies et de 3 à 4 voies.

.....

Echéancier des dépenses

Unité: M.F.

Sections	1	2	3	4	5	6
Années						
3						9,9
4					9,9	
5						
6			6,0			
7				7,2		16,5
8						
9					16,5	
Total			6,0	7,2	26,4	26,4
Total général						66,0

Nombre de véhicules-km parcourus

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Milliers de véh. km journalier	468,5	515,5	567,0	623,5	686,0	754,5	830,0	913,0	1004,5	1105,0	1215,5
Millions de véh. km annuels	171,0	198,1	206,9	227,6	250,4	275,4	302,9	333,2	366,6	403,3	443,7

.....

II - CALCUL DES DIVERS COÛTS -

Bien que très schématique, ce modèle permet de calculer plusieurs concepts de coûts tels que définis dans la note introductive.

On passera successivement en revue les divers calculs possibles.

A - CHARGES EFFECTIVES -

-A 1 Dépenses réelles

Ce coût varie selon l'année de référence considérée: il s'agit du quotient des dépenses réelles par la circulation exprimée en véhicule -kilomètres.

Belon l'année, on trouve : (en centimes/véh-km).

Années	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	n
A 1	0	0	0	4,3	3,9	0	12,0	17,1	0	4,1	0	0	0

la valeur 0 qui figure sur le tableau précédent tient au fait que les dépenses d'entretien ont été négligées dans le modèle; dans la réalité, il n'en est pas ainsi, mais ces dépenses d'entretien sont relativement très faibles et, en première approximation, on peut retenir le résultat trouvé.

On remarquera les fluctuations très importantes de ce coût; dans la pratique, il paraît absurde, pour une infrastructure donnée, de traduire dans un tatif de telles fluctuations.

A 2 Charges budgétaires -

Ce coût est le même que celui calculé ci-dessus (A 1) car on suppose que les dépenses, n'étant pas financées par emprunt, ne sont pas étalées dans le temps.

.....

B - COÛTS MOYENS.

- B 1 . Coût moyen actuel (basé sur la valeur de reconstruction) /

Ce coût, quotient d'une annuité constante d'amortissement de la route (durée de vie de l'infrastructure: 100 ans) par la circulation annuelle exprimée en véhicules-kilomètres décroît à mesure que celle-ci se développe et varie par conséquent suivant l'année à laquelle on le calcule. A partir de l'année 10, toutefois il reste constant, puisque le trafic ne s'accroît plus.

Un tableau en indique les valeurs suivant l'année de référence.

Années	en cent/véh-km)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	n
B1	4,9	4,5	4,0	3,9	3,9	3,6	3,4	3,6	3,3	3	2,8	2,8	2,8

On notera que ce coût varie dans des proportions très importantes et pratiquement du simple au double entre l'année 10 et les suivantes et l'année 0.

B 2 - Coût moyen actuel (basé sur la valeur de récupération).

Non calculé.

B' 1 + Coût moyen futur (basé sur la valeur de reconstruction).

C'est le quotient du coût de l'infrastructure par la somme actualisée des divers trafics annuels.

On trouve 2,9 centimes / véh.km.

De par son mode de calcul, il reste constant pendant toute la période considérée.

.....

- B' 2 - Coût moyen futur (basé sur la valeur de récupération)

Non calculé.

C - COUTS DE DEVELOPPEMENT

-C1 - Coût marginal de développement.

Il est nul, car l'on a négligé l'entretien et on n'a pas fait de distinction entre poids lourds et véhicules individuels. Ce résultat tient au modèle: il n'en est pas de même dans la réalité.

-C 2 - Coût moyen de développement

C'est le quotient des dépenses actualisées par la somme actualisée du trafic supplémentaire annuel à partir de l'année 0.

On trouve 1,6 centimes / véh.km supplémentaire.

D - COUTS DE REGRESSION

Sans objet.

E - TARIFICATION DANS LE CAS DES GRANDES DISCONTINUITÉS

Dans objet.

.....

TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS COÛTS CALCULÉS:

Dif- férents types de coût.	Valeur des coûts, en centimes par véhicule-kilomètre												
	Ce coût varie suivant l'année de référence: il vaut:												
A 1	Années:	0	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème	7ème	8ème	9ème	10ème	11ème
	A1 =	0	0	0	4,3	3,9	0	2,0	7,1	0	4,1	0	0
A 2	Ce coût est le même que A 1, puisqu'on a supposé que la route n'était pas financée sur emprunt.												
	Ce coût moyen actuel varie avec l'année de base												
B1	Années:	0	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème	7ème	8ème	9ème	10ème	11ème et suiv.
	B1 =	4,9	4,5	4,0	3,9	3,9	3,6	3,4	3,6	3,3	3	2,8	2,8
	Il diminue au fur et à mesure que le trafic croît.												
B2	Sans objet - Non calculé												
B'1	2,9 cent.véh.km												
B'2	Sans objet - Non calculé.												
C1	0												
C2	1,6 cent/véh.km supplémentaire												
D1 et													
D 2	Sans objet												

COMMENTAIRES

1) On notera avec intérêt les fluctuations très importantes que présente le coût dans l'optique des dépenses réelles (A1).

2) Sur cet exemple, le coût marginal de développement est nul.

3) On notera également que, dans le cas considéré, le coût moyen de développement (C 2) est inférieur aux coûts moyens actuel (B1) et futur (B'1) et qu'il ne permettrait donc pas d'atteindre l'équilibre budgétaire.

On peut l'expliquer par le fait que les dépenses ainsi que les trafics pris en compte ne sont pas les mêmes. Pour B 1 et B'1 les dépenses comprennent toute l'infrastructure; pour C2, on ne tient compte que des dépenses effectuées à compter de l'année 0.

En ce qui concerne les trafics, il en est de même: pour B1 et B'1. On a tenu compte de tout le trafic, tandis que pour calculer C 2 on a seulement retenu le supplément de trafic à partir de l'année 0.

Les résultats obtenus ne seraient pas les mêmes, en particulier, si l'on avait poussé la croissance de trafic jusqu'à nécessiter la création d'une seconde route parallèle. On aurait constaté alors un net accroissement du coût moyen de développement (0 2).

NOTE N° 5RESEAU FERRE DE LA R. A. T. P.I - GENERALITES

L'étude ci-jointe concerne plus particulièrement la ligne n° 4 du réseau ferré de la R.A.T.P..

La ligne n°4 est actuellement parcourue par des trains de 5 voitures sur bandages fer; le développement du trafic de pointe a obligé la R.A.T.P. à prévoir le passage sur pneumatique et l'allongement des trains à 6 et même 7 voitures.

La présente étude ne prétend pas être exhaustive et n'aborde que quelques données du problème. Elle est fondée sur la comptabilité même de la Régie, dans la mesure où celle-ci pouvait donner les renseignements recherchés.

On trouvera une évaluation de différentes notions de coût, dont les valeurs peuvent être comparées sur un tableau récapitulatif figurant à la fin de la présente Note.

.....

II- CALCUL DES DIVERS COUTS

A - Charges effectives

A1 - Dépenses réelles

Sans objet

A2 - Charges budgétaires

1) Ensemble du réseau ferré

L'étude porte sur l'ensemble du réseau ferré de la R.A.T.P.
(14 lignes) à l'exception de la ligne de SCEAUX, puis sur la ligne N°4

Années 1960, 1961 et 1962 (F 63)	1960	1961	1962
1) Dépenses d'impression des titres de transport	3 748 559	6 123 483	925 230
2) Energie de traction et transformation	33 132 870	33 532 843	35 485 666
3) Entretien du matériel roulant	28 050 721	29 385 185	33 817 171
4) Accidents	281 542	618 177	323 222
5) Entretien des voies et ouvrages d'art	8 199 742	9 187 220	10 339 419
6) Entretien des bâtiments, stations et accès	8 468 438	8 490 015	8 168 755
7) Entretien des signaux	2 235 268	2 372 677	2 528 980
8) Equipement et entretien divers	9 435 328	9 855 469	11 223 699
9) Dépenses des trains (y compris conducteur et chef de train)	72 489 988	79 177 213	90 817 970
10) Dépenses des stations	80 903 952	86 103 198	95 648 019
Total des dépenses d'exploitation (1 à 10)	246 946 408	264 845 480	289 178 131
11) Renouvellement du matériel roulant	16 115 395	13 375 260	14 625 232
12) Renouvellement des installations fixes	49 399 188	43 629 308	48 168 319
13) Dépenses générales du réseau	27 745 266	27 111 078	35 258 810
14) Quote-part des frais généraux de la Régie	26 390 323	29 365 964	35 034 952
Total des dépenses	366 596 580	378 327 090	422 265 444
Nombre de voyageurs	1 166 132 360	1 113 259 675	1 130 133 886
Dépense par voyageur	0,314	0,340	0,373
Dépense par voyageur km (1)	0,059	0,064	0,070

(1) La distance moyenne parcourue par un voyageur est égale à 5,3 km

....

REMARQUES CONCERNANT LES RUBRIQUES 11 à 14

11) Renouvellement du matériel roulant

La durée de vie du matériel est évaluée à 40 ans. On remplace le matériel ancien par des voitures sur pneumatiques. Il n'est pas tenu compte des charges financières.

La R.A.T.P. ventile les dépenses réelles par ligne en fonction d'une annuité théorique calculée en fonction de la durée de vie du parc et de son âge réel.

12) Renouvellement des installations fixes

Outre le renouvellement autorisé, ce poste comprend les charges financières relatives à ces installations.

La ventilation par ligne est également réalisée suivant une clé analogue à 11).

13) Dépenses générales du réseau

Elles comprennent les dépenses de direction du réseau ferré, services centraux, laboratoires, etc....

La R.A.T.P. ventile ces dépenses par ligne au prorata des dépenses d'exploitation.

14) Quote-part des frais généraux de la Régie

Il s'agit des frais des Services Centraux de la Régie.

La R.A.T.P. répartit ensuite ces dépenses par ligne au prorata des dépenses d'exploitation.

CONCLUSIONS :

Les dépenses d'exploitation ont augmenté de 1960 à 1962. Les quatre derniers postes n'ont pas suivi dans la même proportion.

Le réseau ferré de la R.A.T.P. est bénéficiaire puisque la recette par voyageur s'élève à 0,37 f (y compris les indemnités versées par l'Etat).

.....

2)- LIGNE N° 4

Afin de voir si l'on peut extraire des bilans comptables annuels de la R.A.T.P. un coût valable, il faut examiner poste par poste la ventilation des dépenses selon les diverses lignes de métro.

1) Dépenses d'impression de titres de transport.

Ces dépenses sont proportionnelles aux recettes, réparties par ligne en fonction du mouvement des voyageurs, à la suite de comptages.

2) Dépenses d'énergie de traction et transformation

Par ligne on impute le produit des k w h B.T. consommés par le prix moyen du k w h B.T. qui tient compte de l'achat de l'énergie H.T., de l'entretien et de la conduite des sous-stations, etc..

3) Dépenses d'entretien du matériel roulant

31) Grandes révisions - Elles se font à kilométrage donné.

Les dépenses sont ventilées par ligne en fonction de voitures-km fictifs, calculés à partir des voitures-km réels indexés suivant le type de matériel.

32) Petit entretien - Il est fait hebdomadairement.

Les dépenses sont ventilées par ligne en fonction de voitures-km fictifs, calculés avec d'autres indices que ci-dessus.

4) Dépenses d'accidents -

Elles sont réparties par ligne en fonction du nombre d'accidents survenus dans les trains et les stations.

Cette ventilation paraît plus arbitraire, mais le poste est très faible et par suite l'incidence en est négligeable.

5) Dépenses d'entretien de la voie et des ouvrages d'art.

51) Voie

Elles comprennent l'entretien et les transports de nuit; elles sont réparties par ligne au prorata des tonnes-kilomètres.

52) Ouvrages d'art -

La répartition se fait suivant la longueur des lignes.

.....

6) Dépenses d'entretien des bâtiments, stations et accès.

61) Bâtiments La répartition se fait au prorata du nombre de voitures en service par ligne.

62) Stations et accès- La répartition se fait suivant le nombre de points d'arrêt par lignes.

7) Dépenses d'entretien des signaux.

La répartition est effectuée en fonction de l'activité des lignes.

8) Dépenses d'entretien des installations fixes.

Il s'agit des installations d'éclairage et de chauffage, téléphone, ascenseurs, escaliers mécaniques, etc..

La répartition se fait suivant l'activité des lignes.

Cette clé paraît moins bien correspondre à la réalité.

9) Dépenses de trains-

91) Dépenses fixes - Ce sont les dépenses des agents qui n'exercent pas leur activité dans les trains. La répartition se fait en fonction du service à assurer.

92) Dépenses variables Elles comprennent les dépenses des conducteurs et chefs de trains (réparties suivant les heures de travail) et celle des matières, entreprises et éclairage des trains répartis suivant les voitures-km parcourus par ligne.

10) Dépenses des stations.

Elles comprennent les dépenses de salaires des agents répartis suivant le service à assurer, l'entretien des machines à billet réparti suivant ce nombre, et le contrôle des recettes, ainsi que les dépenses diverses (éclairage, entreprises, etc..), réparties en fonction du nombre de stations par ligne.

Au total, on peut donc penser que pour les dépenses d'exploitation le bilan par ligne a un sens; il n'en est plus de même pour les dépenses de renouvellement comme on l'a vu. Etant donné l'incidence moindre des quatre derniers postes, on peut tenter le bilan pour une ligne donnée, la n°4 par exemple, pour essayer de dégager un ordre de grandeur.

A noter également que le nombre de voyageurs empruntant une ligne est mal connu, ainsi que la distance moyenne de parcours effectuée sur la ligne en question. On ne tentera donc pas un calcul de coût par voyageur-km.

L I G N E N° 4

Unité: Francs 1963

	1960	1961	1962
1) Dépenses d'impression des titres de transport	371 857	644 803	97 982
2) Energie de traction et transformation	3 100 217	3 079 601	3 231 705
3) Entretien du matériel roulant	2 175 425	2 273 278	2 620 764
4) Accidents	26 472	51 140	26 430
5) Entretien des voies et ouvrages d'art	585 896	651 154	741 867
6) Entretien des bâtiments, stations et accès	676 982	683 479	642 165
7) Entretien des signaux	147 528	161 342	174 500
8) Equipement et entretien divers	759 668	795 511	907 605
9) -Dépenses des trains	5 712 327	6 253 604	7 149 055
10) Dépenses des stations	6 922 320	7 344 590	8 148 455
Total des dépenses d'exploitation	20 478 692	21 938 502	23 740 528
11) Renouvellement du matériel roulant	1 398 495	1 164 718	1 273 565
12) Renouvellement des installations fixes	3 175 115	2 804 258	3 096 000
13) Dépenses générales du réseau	2 300 850	2 245 749	2 894 627
14) Quote-part des frais généraux de la Régie	2 188 488	2 432 533	2 876 249
TOTAL des dépenses	29 541 640	30 585 760	33 880 970
Nombre estimé de voyageurs (1)	117 000 000	118 000 000	120 000 000
Dépenses par voyageur	0,252 F	0,259 F	0,275 F

CONCLUSIONS

Ces résultats sont plus faibles que ceux obtenus pour l'ensemble du réseau. C'était prévisible puisqu'il s'agit d'une ligne très saturée, sur laquelle des travaux sont prévus, mais non encore entrepris. Mais si l'on reprenait un bilan pour 1965, année où des travaux importants seront en cours sur la ligne 4, le rapport serait naturellement inversé.

(1) Nombre de voyageurs = $\frac{\text{Recette brute de la ligne}}{\text{Recette brute moyenne du réseau ferré}} \times \text{nombre total de voyageurs}$

.....

B. COÛTS MOYENS -

B1 - Coût moyen actuel (basé sur la valeur de reconstruction).

La R.A.T.P. a entrepris de réévaluer un coût de construction de la ligne n° 4; ce coût est basé sur les techniques modernes de forage de tunnels; le matériel roulant a été réévalué après les prix du métro sur pneumatiques.

Les renseignements communiqués par la R.A.T.P. sont relativement succincts et ne permettent pas une décomposition en de nombreux postes.

Au 1er Janvier 1963, le coût de reconstruction de la ligne n°4 serait le suivant:

-infrastructure	425 M.F.
-superstructures diverses	175 M.F.
-matériel roulant	95 M.F.

695 M.F.

Annuellement, les charges qui en résultent sont les suivantes:

-infrastructure	(durée de vie: 100 ans (valeur de récupération : 0 (annuité	29, 75 M.F.
-superstructures diverses	(durée de vie : 50 ans (Valeur de récupération: 10% (annuité	12,56 M.F.
-matériel roulant	(durée de vie: 40 ans (valeur de récupération: 5% annuité	10,,09 M.F.
-dépenses d'exploitation (1962)		23,74 M.F.

Total général 76,14 M.F.

Nombre de voyageurs en 1962: 120 millions

Coût moyen actuel par voyageur: 0,63 F. en 1962

.....

BI) Coût moyen actuel (basé sur la valeur de récupération).

La R.A.T.P. a reçu le 1er Janvier 1949 un actif créé par les Sociétés qui l'ont précédé.

Une partie des installations qui existent ont été établies après 1949.

Toutes ces valeurs ont été actualisées pour 1963 par l'application de coefficients publiés par le Ministère des Finances.

Le tableau suivant résume la situation au 1er Janvier 1963.

I - Installations fixes

1/ Gros-œuvre

tunnels	197.708.651
traversées s/fluviales	78.925.489
divers	31.871.724
gares	<u>4.068.255</u>

312.574.119

arrondi à 312,6 millions F.

2) Voie

rails , appareils de vpie	8.279.907
barres de courant	1.916.757
alimentation courant de traction	2.601.158
installations électriques	2.565.870
signalisation	<u>3.623.941</u>

18. 987.633

arrondi à 19,0 Millions F.

3) Divers

(téléphones-escaliers et portillons automatiques, etc...)

7.003.865

arrondi à 7 millions F.

Total des installations fixes

338,6 millions F.

.....

II - Matériel roulant

44 trains de 5 voitures dont
2 motrices M4, 1 voiture du
type A et 2 voitures du type
B.

41.405.786

arrondi à 41,4 Millions F.

(Atelier de ST-OUEN
(au prorata des voitures
examinées: 61%)

7.098.222

III- Canalisations H.T.

arrondi à 7,1 Millions F

2.579.520
arrondi à 2,6 Millions F

(Sous-stations
(au prorata des kwh
fournis)

9.748.046

arrondi à 9,7 Millions F

Total général

arrondi à 399,4 Millions F

Annuellement les charges sont les suivantes:

Millions de F.

I- Installations fixes

1/ Gros - Oeuvre { durée de vie : 100 ans 21,88
 { valeur de récupération : 0
 { annuité

2- Voie { durée de vie : 25 ans
 { valeur de récupération: 5%
 { annuité 1,54

3/ Divers { durée de vie : 25 ans
 { valeur de récupération: 5%
 { annuité 0,59

Total pour les installations fixes 24,01

II- Matériel roulant

{ durée de vie: 40 ans
{ valeur de récupération: 5%
 annuité 3,08

III- Atelier de ST-OUEN

{ durée de vie : 5 ans
{ Valeur de récupération: 20%
 annuité 0,50

Canalisation H.T.

(durée de vie: 50 ans
{ Valeur de récupération: 0
{ annuité 0,18

Sous-Station

(durée de vie: 50 ans
{ valeur de récupération: 20%
{ annuité 0,70

Total général

28,47 M.F.

IV- Dépenses d'exploitation (1962)

23,74 M.F.

V- Total des dépenses d'exploitation
et des charges fixes

52,21 M.F.

VI- Nombre de voyageurs transportés (1962)

120 M.

VII- Coût total pour voyageur transporté

0,435 F.

CONCLUSION-

Ce coût par voyageur est naturellement plus élevé que le coût
purement comptable, nettement moins cependant que le coût moyen ac-
tuel, basé sur la valeur de reconstruction.

B') Coûts moyens futurs

Non calculés.

.....

C- COUTS DE DEVELOPPEMENT

01 - Coût marginal de développement

Non calculé

02 - Coût moyen de développement

Afin d'éviter de compter dans le coût de développement le coût de l'adaptation qui consiste à passer du matériel fer ordinaire de la R.A.T.P. au matériel sur pneumatiques, on considérera, en premier stade, seulement le coût du passage de trains de 5 voitures sur pneumatiques à 6 voitures sur pneumatiques. Ainsi, en première approximation, la qualité du service rendu restera comparable.

q) On a calculé d'abord un coût moyen de développement dit "adapté"-
On suppose que le trafic sature immédiatement la capacité supplémentaire offerte.

a) Coûts d'allongement des stations, des trains

- Stations

24 stations sur 26 doivent être allongées.

Les accès de 9 stations doivent être remaniés 59,4 M.F.

-Matériel roulant

Le passage de trains de 5 à 6 voitures entraîne l'achat de 40 motrices supplémentaires de coût unitaire de 0,52 M.F.

20,8 M.F.

80,2 M.F.

b) Capacité supplémentaire offerte à l'heure de pointe

A l'heure de pointe la capacité des trains de 5 voitures sur pneumatiques (sans surcharge) atteint 25.000 voyageurs.

A 6 voitures cette capacité est portée à 28.800 voyageurs/heure

On a donc une capacité supplémentaire de 3.800 voyageurs/heure

La pointe dure environ 4 heures dans les deux sens par jour.

La pointe dure 280 jours par an.

La capacité annuelle supplémentaire s'élève donc à 8.512.000 dans les deux sens.

c) Coût d'exploitation supplémentaire

-Entretien des voies et ouvrages d'art.

Suivant les courbes annexées, on voit qu'il y a une relation (1) linéaire entre les dépenses annuelles d'entretien et les voitures-km.

(1) Cette relation résulte en partie des hypothèses de ventilation des dépenses entre les différentes lignes.

.....

Le nombre de voitures-km atteindra 15,6 millions au lieu de 13 actuellement.

-Energie de traction et de transformation -

On a extrapolé les dépenses correspondant à l'année 1962 pour ce poste, compte tenu du fait que l'on mette une motrice de plus par train.

-Entretien du matériel roulant

L'entretien est ventilé suivant des voitures-km fictifs déterminés par des indices de correspondance entre divers types de matériel. On a ainsi pu extrapoler le coût d'entretien.

Remarque importante -

Les chiffres avancés ci-dessous sont déduits des constatations comptables pour du matériel fer et non sur pneumatiques. La R.A.T.P. ne possède par encore de chiffres pour ce type de voitures. On peut penser que le résultat trouvé est trop fort. Mais le résultat final ne serait guère modifié que de quelques %.

Récapitulation

1/	Dépenses d'impression des titres	
2/	Energie de traction et de transformation	600.000
3/	Entretien du matériel roulant	1.000.000
4/	Accidents	-
5/	Entretien des voies et ouvrages d'art	150.000
6/	Entretien des bâtiments, stations et accès	-
7/	Entretien des signaux	30.000
8/	Equipement	-
9/	Dépenses des trains	-
10/	Dépenses des stations	-
		<hr/>
		1.780.000 F

arrondi à 1,78 M.F.

a) Total des dépenses annuelles d'accroissement de la capacité -

-infrastructure	(durée de vie : 100 ans (valeur de récupération: 0 annuité	4,16
-matériel roulant	(durée de vie : 25 ans (valeur de récupération: 5% annuité	1,65
-exploitation		1,78
		<hr/>
		7,59 M.F.

....

e) Coût moyen de développement par voyageur supplémentaire de pointe.

Il s'élève à 0,89 F.

CONCLUSION -

Il s'agit d'un coût moyen de développement adapté.
On a en effet explicitement supposé que le trafic saturait immédiatement la capacité supplémentaire offerte.

On notera que le voyageur considéré n'est pas le même que celui considéré par les concepts de coûts définis en A. et B.

.....

¶ - Pour approcher davantage la réalité, on a retenu dans un deuxième calcul les hypothèses suivantes de trafic destinées à schématiser un développement idéalisé du trafic de pointe de la ligne n° 4 à partir d'une capacité horaire de 25.000 voyageurs.

1ère hypothèse: taux annuel d'accroissement de 1% pendant les dix premières années et de 0,5% pendant les quinze années suivantes; constance du trafic après au niveau de 29.500 voy/h.)

2ème hypothèse: 1,5% sur 10 ans, 0,75% sur 15 ans et constance (32.000 v/h).

3ème hypothèse: 2% sur 10 ans, 1% sur 15 ans et constance (34.700 v/h).

On a supposé que la capacité limite des trains à 5 voitures correspond à 25.000 voyageurs par heure de pointe; pour 6 voitures 28.800 voyageurs; à 7 voitures correspondent 33.600 voyageurs par heure de pointe.

Le calendrier des investissements nécessaires est indiqué dans le tableau ci-dessous pour chaque hypothèse de croissance de trafic. La durée de vie de l'infrastructure est supposée être 100 ans; celle du matériel roulant 25. Les données numériques de coût sont les mêmes que celles retenues dans le calcul précédent.

ANNEES	en millions de F				
	0	7 ^e	10 ^e	19 ^e	25 ^e
1ère hypothèse	80,2	-	-	80,2	20,8
2ème hypothèse	80,2	-	80,2	-	20,8
3ème hypothèse	80,2	80,2	-	-	20,8

L'échéancier est à compléter par la pensée par le renouvellement du matériel roulant tous les 25 ans.

Dans chaque hypothèse, il est possible de calculer un coût moyen de développement du trafic de pointe supposé s'étaler pendant 4 heures et 280 jours dans chaque sens.

.....

Coût de développement dépend naturellement des hypothèses d'évolution de trafic retenues. Il s'élève:

- dans la 1ère hypothèse , à 1,31 F par voyageur supplémentaire de pointe,
- dans la 2ème hypothèse , à 1,0 F par voyageur supplémentaire de pointe,
- dans la 3ème hypothèse , à 0,83F par voyageur supplémentaire de pointe.

REMARQUES -

- 1) - On observera que le coût moyen de développement est d'autant plus fort que l'accroissement de trafic considéré est plus lent (1ère hypothèse).

Cela tient à l'indivisibilité des investissements envisagés.

Dans le premier cas, la capacité supplémentaire offerte est largement sous-employée, puisque la saturation n'intervient qu'à la 19ème année. Par contre, dans la troisième hypothèse de croissance de trafic, après le 1er allongement, la saturation intervient dès la 7ème année.

- 2)- Il convient également de noter la très grande sensibilité du résultat obtenu aux variations - pourtant légères - du taux d'accroissement du trafic.

En comparant les deux premières hypothèses de croissance de trafic qui ne diffèrent en valeur absolue que de 0,5 % par an pendant les 10 premières années et 0,25 % par an pendant les 15 suivantes, on constate une différence de 0,30 F sur le coût moyen de développement par voyageur de pointe.

.....

3) En toute rigueur, les 3 calculs effectués ne sont pas comparables.

En effet, les niveaux de trafic maximum sont différents

29.500	voy/h	pour	la	1ère	Hypothèse
32.500	"	"	"	2ème	"
34.700	"	"	"	3ème	"

alors que la capacité limite normale de trains de 7 voitures correspond à 33.600 voyageurs à l'heure de pointe.

Il en résulte que, le service rendu n'est pas le même; si on admet de le calculer en m² voyageur:

1/	Charge normale		0,17 m ² /voyageur	
2/	Charge de la 1ère hyp.		0,19 m ²	- (plus fort que 1)
3/	- dans la 2ème	-	0,176 m ²	- (plus fort que 1)
4/	- dans la 3ème	-	0,162 m ²	- (plus faible que 1)

Ce coût moyen de développement est légèrement trop fort dans les deux premières hypothèses, et un peu trop faible dans la troisième hypothèse, si l'on se réfère à la charge normale.

Ceci explique également une anomalie; le coût moyen de développement "adapté" calculé ci-dessus (coût C²) est en fait une limite inférieure, puisqu'on divise une dépense donnée par un trafic que l'on suppose saturer immédiatement la capacité supplémentaire offerte. On conçoit aisément que dans la réalité le coût de développement soit plus fort, car le trafic ne croit pas immédiatement à cette valeur maximum; on divise donc des dépenses qui sont les mêmes par un trafic inférieur, ce qui donne un coût moyen de développement plus fort. On a trouvé pour le coût moyen de développement "adapté" 0,89 F par voyageur de pointe; dans la 3ème hypothèse, si le service rendu était identique, c'est-à-dire la surface/voyageur était encore 0,17 m², on trouverait un coût moyen de développement plus fort.

.....

TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS COUTS CALCULES

Différents types de coût	Valeur des coûts
A1	Non calculé
A2	0, 27 F par voyageur transporté en 1962
B1	0, 63 F par voyageur transporté en 1962
B'1	non calculé
C1	non calculé
C2 <i>λ</i>	0,89 F par place offerte supplémentaire en pointe
C2 <i>B</i>	1ère hypothèse de croissance de trafic - 1,31 F par voyageur de pointe (1)
	2ème hypothèse - 1,0 F par voyageur de pointe (1)
	3ème hypothèse à 0,83 F par voyageur de pointe (1)
C2 <i>γ</i>	En heure creuse (en admettant une croissance du trafic en heure creuse proportionnelle à celle des heures de pointe) le coût de développement est pratiquement nul.
D1 et D2	Sans objet
E	Sans objet

(1) Il s'agit seulement des voyageurs qui empruntent la ligne n °4 pendant les heures de pointe. Pour A1 et A2, il s'agit de tous les voyageurs transportés.

COMMENTAIRES -

1/ Ramenées à l'unité transportée, les "charges budgétaires de la ligne n °4 (coût A 2) sont peu différentes du tarif de l'ensemble du réseau ferré de la R.A.T.P.. Cette situation exceptionnelle résulte de la faiblesse actuelle des dépenses d'infrastructure sur la ligne n°4, où le service rendu est de mauvaise qualité, et du volume important du trafic écoulé.

2/ Le coût moyen actuel (B1) est très élevé par rapport aux charges budgétaires: la raison en est qu'il n'y a presque aucune charge d'infrastructure ou de matériel dans le budget 1962 du réseau ferré de la R.A.T.P.

3/ Le coût moyen de développement (C2) par voyageur de pointe supplémentaire est également très élevé; cela résulte en partie des hypothèses de trafic retenues, mais tient également au fait que les investissements nécessaires sont assez coûteux et qu'on les répartit sur un petit nombre de voyageurs. Cela résulte surtout du fait qu'on a choisi

comme instant initial le moment où il devient nécessaire de faire l'investissement de capacité supplémentaire.

En effet si, au lieu de faire le calcul à l'année 0, on l'effectuait immédiatement après le premier investissement correspondant à l'allongement des quais et à l'achat du matériel roulant supplémentaire, on trouverait des valeurs beaucoup plus faibles.

En refaisant le calcul à l'année 1, on trouve :

- pour l'hypothèse 1	0,35 F/voyageur de pointe
- - 2	0,40 F/ -
- - 3	0,37 F/ -

Etant donné le jeu de l'actualisation, les dépenses futures apparaissent comme très faibles et cela explique le faible coût moyen de développement obtenu.

Si l'on refaisait le calcul aux années 2, 3, 4 ..., on verrait le coût moyen de développement augmenter au fur et à mesure que s'approche l'échéance de l'investissement correspondant au second allongement des Quais nécessaire pour accueillir des trains de 7 voitures.

Ainsi se confirme la très grande importance, pour le calcul des coûts de développement, du choix de l'instant initial à retenir.

NOTE N° 6CALCUL APPROXIMATIF DU COUT DE DEVELOPPEMENT RELATIF A
L'ECOULEMENT DU TRAFIC DE MIGRATIONS ALTERNANTES PAR
VEHICULES INDIVIDUELS ENTRE LE CENTRE DE PARIS
ET LE BOULEVARD PERIPHERIQUE.I - GENERALITES.

1.1. Contrairement aux fiches précédentes, la présente Note n'a pas pour objet d'évaluer les coûts, dans différentes conceptions, sur la base d'un exemple concret. Elle vise à illustrer particulièrement le concept de coût de développement, en montrant pour quel type de problème ou de raisonnement il peut être intéressant de l'utiliser.

1.2. On a calculé ici un coût moyen de développement "adapté" (cf. Note n° 5), c'est-à-dire fondé sur l'hypothèse que la capacité supplémentaire procurée par le nouvel investissement se trouve instantanément saturée dès sa mise en service.

1.3. On s'est intéressé à la catégorie de trafic constituée par les déplacements domicile-travail (migrations alternantes journalières) engendrés par des travailleurs dont le lieu d'emploi est au centre de Paris et le lieu de résidence situé en proche banlieue. Ce trafic afflue au centre de Paris le matin pour en repartir le soir : on a mesuré le trafic en voyages aller-retour entre le centre de la ville et le Boulevard Périphérique.

Le problème étudié, dans une vue à long terme, est de savoir s'il faut construire des autoroutes de dégagement du Centre urbain, destinées à écouler ce trafic de pointe.

Dans la présente Note, l'unité marginale de capacité retenue est l'autoroute à quatre voies dans chaque sens.

./...

II - CALCUL DU COUT DE DEVELOPPEMENT.

2.1. Coût de l'autoroute à quatre voies -

On évalue le coût d'investissement initial à environ 80 Millions de NF/km (40 Millions de travaux estimés par référence au coût de construction du Boulevard Périphérique, auxquels il faut ajouter la valeur des terrains estimée sur la base de 50 mètres d'emprise moyenne, à 800 F/m²).

On a estimé la charge d'intérêt et d'amortissement annuelle à 6 Millions de NF par km, soit pour un tronçon de 5 km permettant la liaison entre le centre et la périphérie de Paris : 30 Millions de NF par an.

2.2. Capacité de l'autoroute -

On a supposé que l'autoroute pouvait débiter 1 600 véhicules par heure et par file, soit au total : 6 400 véhicules par heure dans le sens chargé, et en outre que les heures de sortie de Paris pour les personnes quittant leur travail étaient étalées sur 3 heures de temps (durée de la pointe du soir).

L'autoroute permet donc de résoudre le problème du déplacement journalier domicile-travail pour $6\,400 \times 3 = 19\,200$ voyages par jour.

2.3. Calcul du coût du voyage -

Si l'on fait de plus l'hypothèse que le type de trafic étudié ne se manifeste que 300 jour/an, on arrive finalement à la conclusion que le voyage aller et retour coûte :

$$\frac{30.000.000}{300 \times 19.200}, \text{ soit approximativement } 5 \text{ F. par voyage.}$$

2.4. Différents coûts par véhicule -

- Coût par voyage aller et retour : 5 F.
- Coût par kilomètre : 0,5 F. (1)

(1) A titre de comparaison, le coût d'exploitation pour un véhicule moyen s'élève à environ 0,12 F/km (en comptant le carburant hors taxe).

- Coût annuel (300 déplacements/an) : 1.500 F. (2)

III - COMPARAISON DU COUT DE CIRCULATION SUR AUTOROUTE
AVEC LE GAIN DE TEMPS REALISE PAR RAPPORT A LA SI-
TUATION ACTUELLE.

On ne peut comparer que des ordres de grandeur :
Le gain de temps est apprécié par rapport à la situation
actuelle où le parcours Centre-Périphérie prend environ une
demi-heure (vitesse moyenne 12 km/h) aux heures de pointe.
Si, comme le supposent les hypothèses concernant le débit,
on peut atteindre sur l'autoroute la vitesse de 60 km/h.,
le gain de temps s'élèvera à 50 minutes par jour.

Si de plus on suppose que le taux d'occupation
moyen des véhicules est de 1,7 voyageurs par voiture, le
temps gagné pour chaque voyage aller et retour d'un véhicu-
le s'élèvera à

$$\frac{5}{6} \times 1,7 = 1,4 \text{ heure.}$$

Ainsi, appréciée uniquement en termes de temps
gagné, la rentabilité de l'autoroute serait assurée à partir
du moment où le salaire horaire moyen de ses utilisateurs
égalerait ou dépasserait 3,60 Francs.

Ce montant relativement peu élevé montre que s'il
n'est sans doute pas possible, avec les éléments actuels,
de donner une réponse définitive à la question posée, qui
est de savoir s'il faut dimensionner les infrastructures
urbaines de dégagement pour écouler les pointes journaliè-
res, l'utilisation de la notion de coût de développement
serait certainement utile pour approfondir l'étude de ce
problème.

(2) Remarque : Comparaison avec le coût du parking.
Si l'on estime à 30.000 F. la place le coût de construction
d'une place de parking au centre de Paris, le coût annuel
correspondant peut être évalué à environ 10 % de ce montant
soit 3.000 F environ. Ce chiffre rapproché du précédent
montre

a) que le parking est un goulot d'étranglement
beaucoup plus coûteux à surmonter que l'autoroute urbaine;

b) que le coût global d'infrastructure (circula-
tion + stationnement) pour une voiture effectuant journal-
lement le trafic indiqué, est de l'ordre de 4.500 F. par an.

./...

NOTE N° 7TARIFICATION OPTIMALE D'UNE AUTOROUTE URBAINE

L'objet de la présente note (un peu particulier par rapport aux cinq premiers documents) est de calculer le péage de saturation d'une infrastructure déterminée. Il s'agit d'une autoroute de dégagement d'une agglomération importante, en zone suburbaine.

1/ Hypothèses11/ Courbe de trafic aux heures de pointe

La courbe est figurée sur le graphique I. Elle est caractérisée par trois points:

- la demande est nulle pour un péage de 0,50 F par km,
- à l'année de base 10.000 personnes paieraient 0,10 F,
- à l'année de base 50.000 personnes utiliseraient l'autoroute gratuitement.

Cette courbe concerne un sens de circulation. La pointe est supposée répartie en 3 h.

L'évolution de cette demande est la suivante pendant 10 ans:

- la demande reste nulle pour 0,50 F
- pour un péage de 0,10 F le nombre d'utilisateurs augmente de 3% par an
- pour un péage nul, ce nombre augmente de 7% par an.

Après les dix premières années, la demande reste stable.

12/ Courbe de trafic en heures creuses -

La courbe de demande est supposée être de la même forme: dans chaque sens 50.000 personnes utiliseraient l'autoroute à péage nul; toutefois, le péage maximum serait 0,10 F.

Il n'y a pas d'évolution dans le temps.

13/ Répartition de la pointe.

Dans chaque sens, la pointe dure 3 h par jour: soit pour les deux directions 6 heures par jour.

14/ Seuils de capacité.

On a supposé qu'une autoroute urbaine pourrait écouler:

- 3.000 voitures/heure sur 2 voies,
- 4.500 voitures/heure sur 3 voies
- 6.000 voitures/heure sur 4 voies.

2/ Notations

21/ L'avantage pour la collectivité est noté $R(t, \bar{q})$ à l'année t et pour une capacité \bar{q}

$$R(t, \bar{q}) = \int_0^{\bar{q}} U(t, \bar{q}) dq$$

22/ Soit $V(t, \bar{q})$ l'avantage pour la collectivité actualisée à l'instant t

$$V(t, \bar{q}) = \int_t^{\infty} R(t, \bar{q}) e^{-j(t-t')} dt'$$

Remarquons que

$$\frac{\partial V}{\partial t} = jV - R$$

3/ Dimensionnement et année de mise en service optimums

Si $C(\bar{q})$ est le coût de l'investissement pour une capacité \bar{q} , on fera l'investissement l'année t_0 qui donne un avantage pour la collectivité maximum.

$$\text{Max } [V(t_0, \bar{q}) - C(\bar{q})] e^{-jt_0} \quad (1)$$

31/ Dimensionnement optimum

En dérivant (1)

$$\frac{\partial V}{\partial \bar{q}} = \frac{dC}{d\bar{q}} \quad (2)$$

A l'optimum, l'accroissement de l'avantage pour la collectivité actualisé sur toutes les périodes de service est égal à l'accroissement du coût de l'investissement.

32/ Année optimum de mise en service

$$e^{-jt_0} \left[\frac{\partial V}{\partial t_0} - jV - jC(\bar{q}) \right] = 0$$

or $\frac{\partial V}{\partial t_0} - jV = -R$

d'où

$$R(t_0, \bar{q}) = jC(\bar{q}) \quad (3)$$

A l'année optimum de mise en service, l'avantage pour la collectivité de la première année est égal au gain que l'on fait en reculant d'une année l'investissement projeté.

.....

33/ Les équations (2) et (3) permettent de trouver l'année optimum de mise en service, ainsi que la dimension de l'autoroute.

	2 x 2 voies	2 x 3 voies	2 x 4 voies
0	27	34	40

4/ Résultats

Les calculs intermédiaires sont reportés en annexe et la résolution du problème comprend les graphiques II à V.

41/ Année optimum de mise en service : 3 (ce résultat n'a pas d'importance).

42/ capacité optimum : 2 x 4 voies

43/ Péages/km aux heures de pointe
unité C/km.

Année	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,25

Les péages sont fixés pour limiter la demande à la capacité choisie et sont déduits des courbes de demande (graphique I) : ce sont les péages qui correspondent à une demande de 18.000 utilisateurs.

Le péage aux heures creuses est nul.

44/ Comparaison entre recettes et dépenses actualisées sur toute la période

Recettes annuelles.

unité M.F.

Année	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,854	0,887	0,920	0,952	0,985	1,018	1,051	1,084	1,084

.....

Recettes actualisées

$R_0 = 15,767$ M.F.

Dépenses actualisées

Coût de construction 40 M.F.

Coût annuel d'entretien 0,04 M.F.

$D_0 = 40,55$ M.F.

5/ COMMENTAIRES -

- 5-1 Les péages ont été calculés uniquement pour limiter la demande au niveau de la capacité offerte.
- 5-2 -Le niveau des péages est donc indépendant des coûts de construction et d'entretien.
- 5-3 Il existe un déficit budgétaire dont la valeur actualisée à l'instant 0 est égale à environ 25 MF. Il ne convient pas de s'attacher exagérément à la valeur numérique de ce résultat qui provient, dans une très large mesure, des hypothèses retenues en ce qui concerne la courbe de demande.
Toutefois, l'existence même du déficit budgétaire signalé, dans les circonstances choisies, est significative.

ANNEXE 1

1/ $R(t, \bar{q})$

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 x 2 voies	2,150	2,189	2,228	2,269	2,309	2,352	2,396	2,440	2,485	2,530	2,530
2 x 3 voies	2,458	2,496	2,537	2,576	2,620	2,686	2,710	2,756	2,803	2,850	2,850
2 x 4 voies	2,692	2,743	2,799	2,855	2,912	2,972	3,032	3,094	3,157	3,222	3,222

2/ $V(t, \bar{q})$ cf. graphique III

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 x 2 voies	29,360	29,665	29,845	30,147	30,375	30,563	30,717	30,869	30,911	30,987	30,987
2 x 3 voies	34,205	34,524	34,677	35,013	35,250	35,444	35,611	35,771	35,801	35,883	35,883
2 x 4 voies	39,244	39,657	39,898	40,310	40,623	40,886	41,109	41,317	41,377	41,575	41,575

3/ $\frac{\partial V}{\partial \bar{q}}(T, \bar{q})$ cf. graphique IV

