

SAEI

DEUXIEME PARTIE

LA MISE EN OEUVRE DU CADRE D'EVALUATION
POUR LES SYSTEMES DE TRANSPORT TERRESTRE
A GRANDE VITESSE

Estimation des coûts d'exploitation et de
maintenance (CEM)

AVRIL 1973

TABLE DES MATIERES

Pages

<u>DEUXIEME PARTIE</u> : La mise en oeuvre du cadre d'évaluation pour les systèmes de Transport Terrestre à Grande Vitesse	
Estimation des coûts d'exploitation et de maintenance	
INTRODUCTION	2
1. LES CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE DES ESTIMATIONS DES COUTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE	8
1.1. Conditions d'exploitation et estimations des CEM	8
1.2. Le choix d'une structure pour les CEM	11
1.2.1. Structure de référence des CEM	11
1.2.2. Les décompositions des CEM dans les études consultées	16
1.3. Complémentarité entre les CEM et les autres coûts	19
2. LA PHASE DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT DU SYSTEME ET L'ESTIMATION, DES CE STADE DES CEM	23
2.1. Une procédure adaptée et explicite : les fonctions d'estimation des coûts	24
2.1.1. Situer le système étudié par rapport aux autres	27
2.1.2. Construire des fonctions d'estimation des coûts	30
2.2. Portée et limites des fonctions d'estimation des coûts	32

	Pages
3. L' ESTIMATION DES CEM ET LES DEBUTS D'EXPERIMENTATION DU SYSTEME	
3.1. Les exigences nouvelles pour l'estimation des CEM	35
3.2. L'information disponible et les méthodes d'estimation des CEM adaptées	37
4. SIMULATION DE TRAFIC ET DECISION DE MISE EN SERVICE D'UN SYSTEME NOUVEAU SUR UN RESEAU	40
4.1. Structure générale d'un Simulateur et son apport dans l'estimation des CEM	41
4.2. Un apport indirect du Simulateur : l'Analyse des CEM et des facteurs qui les commandent	44
5. L'ORGANISATION DES ETUDES D'ESTIMATION DES COUTS.	46

. Cette deuxième partie a pour objet l'estimation des Coûts d'exploitation et de maintenance (CEM) d'un Système de transport terrestre interurbain à grande vitesse (TTIGV) : une attention particulière est apportée, tout au long de cette étude, à deux systèmes actuellement sur la "sellette" en France, le TurboTRAIN (T) et l'AéroTRAIN (A).

. Le but de ce travail est de prouver que le cadre d'évaluation très général qui a été présenté dans la première partie de l'étude, est opérationnel et qu'il existe des procédures pratiques d'estimation capables de fournir, au moment voulu et à partir de l'information disponible, les données de calcul des différents critères.

. Pour que ces procédures soient acceptables, il faut - en regard avec les objectifs fixés à l'étude - qu'elles satisfassent plusieurs conditions :

- . être suffisamment générales pour évaluer et comparer entre eux l'ensemble des systèmes de transport terrestre à grande vitesse,
- . fournir une estimation qui soit acceptable pour toutes les parties prenantes au projet (constructeur, état, exploitant),
- . faire progresser l'évaluation du projet en précision et en finesse de façon à ce qu'elle précède et pilote son développement,
- . S'intégrer parfaitement dans le cadre d'évaluation élaboré dans la première partie.

. A toutes ces conditions, nous en ajouterons une liée au contexte de l'étude : être capable - avec la même information de départ - de faire autant et si possible mieux que ce qui a déjà été obtenu dans les études disponibles sur les deux projets en question : l'AéroTRAIN et le TurboTRAIN.

. En accord avec la Mission de la Recherche, l'étude des procédures d'estimation a été menée pour chacun des stades successifs de développement du projet et centrée sur une composante principale de l'évaluation : les coûts d'exploitation et de maintenance. le choix (*) de cette composante se justifie sans peine.

- Au fur et à mesure qu'un projet se développe et passe le stade de la Recherche et Développement, l'incertitude - donc le risque - tend à se cristalliser autour des coûts d'exploitation et de maintenance et des autres "coûts" liés à l'exploitation. Bien sûr des incertitudes demeureront sur la concurrence ou la réaction de la demande à l'introduction de ce mode, mais aucune n'est aussi étroitement liée au projet et à sa conception que celle qui porte sur les coûts d'exploitation et de maintenance.

- Cette incertitude sera au cours de la Recherche et Développement un des risques assumés par le constructeur : celui de se lancer dans une direction de recherche - intéressante du point de vue des performances du système - mais condamnée par des coûts d'exploitation et de maintenance excessifs. Ce risque a la particularité de ne pas être irréversible. A ce stade, le constructeur peut encore réagir à condition d'en être informé. Il peut aussi choisir de développer la variante du projet qui comporte le moins de risques dans ce domaine à la fois du fait des performances visées et des solutions technologiques retenues.

- Le stade de l'expérimentation ne permet plus une telle réversibilité. Le système existe et peut faire l'objet d'améliorations mais difficilement de modifications profondes. Engagé dans l'épreuve de l'expérimentation, le constructeur doit faire la preuve au client - l'exploitant - et aux responsables de la politique des transports,

(*) Ce choix n'était pas le seul possible ; l'idée aurait pu être retenue de procéder à une évaluation complète d'un projet à un stade déterminé, comme par exemple, celui des lignes expérimentales. L'intérêt aurait été d'obtenir un cadre d'évaluation complet et de pouvoir ainsi en apprécier la pertinence et l'exhaustivité. En revanche, on aurait abouti à une étude ponctuelle du projet qui ne nous aurait pas permis d'illustrer l'idée fondamentale de progression dans l'évaluation au travers des différentes phases de développement d'un système.

qu'il ne s'est pas trompé et que le système est économiquement viable. Dans le cas qui nous intéresse ici, cela signifie que les coûts d'exploitation et de maintenance sont acceptables compte tenu des services rendus par le système.

- L'exploitant doit alors décider si oui ou non il se porte acquéreur du système, pour quelle capacité et à quelle date, et donc ce faisant si il accepte d'endosser l'incertitude qui demeure sur le système pour ce qui est de son exploitation et de sa maintenance. Cette décision est pour l'exploitant d'autant plus difficile à prendre en présence d'incertitude qu'il aura, dans le cas où il se décide, à planifier cette exploitation et à prendre en charge les opérations de maintenance. Il ne peut donc pas se contenter, comme aux stades précédents, d'estimations mais a besoin d'imaginer physiquement cette exploitation et cette maintenance, d'en fixer pour ce qui le concerne, les conditions et de calculer les coûts résultants. C'est donc d'une connaissance détaillée des opérations d'exploitation et de maintenance dont il ressent le besoin dès avant la mise en service du système.

- La Collectivité-Etat intégrera les préoccupations de ceux qu'elle subventionne, c'est-à-dire éventuellement le constructeur et l'exploitant, et celles des utilisateurs qui, en dernier ressort, assumeront, par le biais de l'impact sur la tarification, la variation des coûts d'exploitation et de maintenance au cours de l'évolution du projet. Plus généralement en tant que responsable de la politique de transport, elle doit en quelque sorte pouvoir se porter garante d'un certain niveau de qualité de service ; le contrôle des caractéristiques d'exploitation en est un moyen essentiel.

- Cette incertitude, dont on voit qu'elle est déjà en soi préoccupante, sera d'autant plus difficile à réduire que les coûts d'exploitation et de maintenance sont étroitement liés à la fois aux conditions d'exploitation et à la conception du système, et qu'il est difficile par suite d'évaluer les conséquences sur ces coûts d'une modification apportée au système au cours de son développement, soit du fait du constructeur, soit du fait de l'exploitant.

. L'étude se présente en cinq parties :

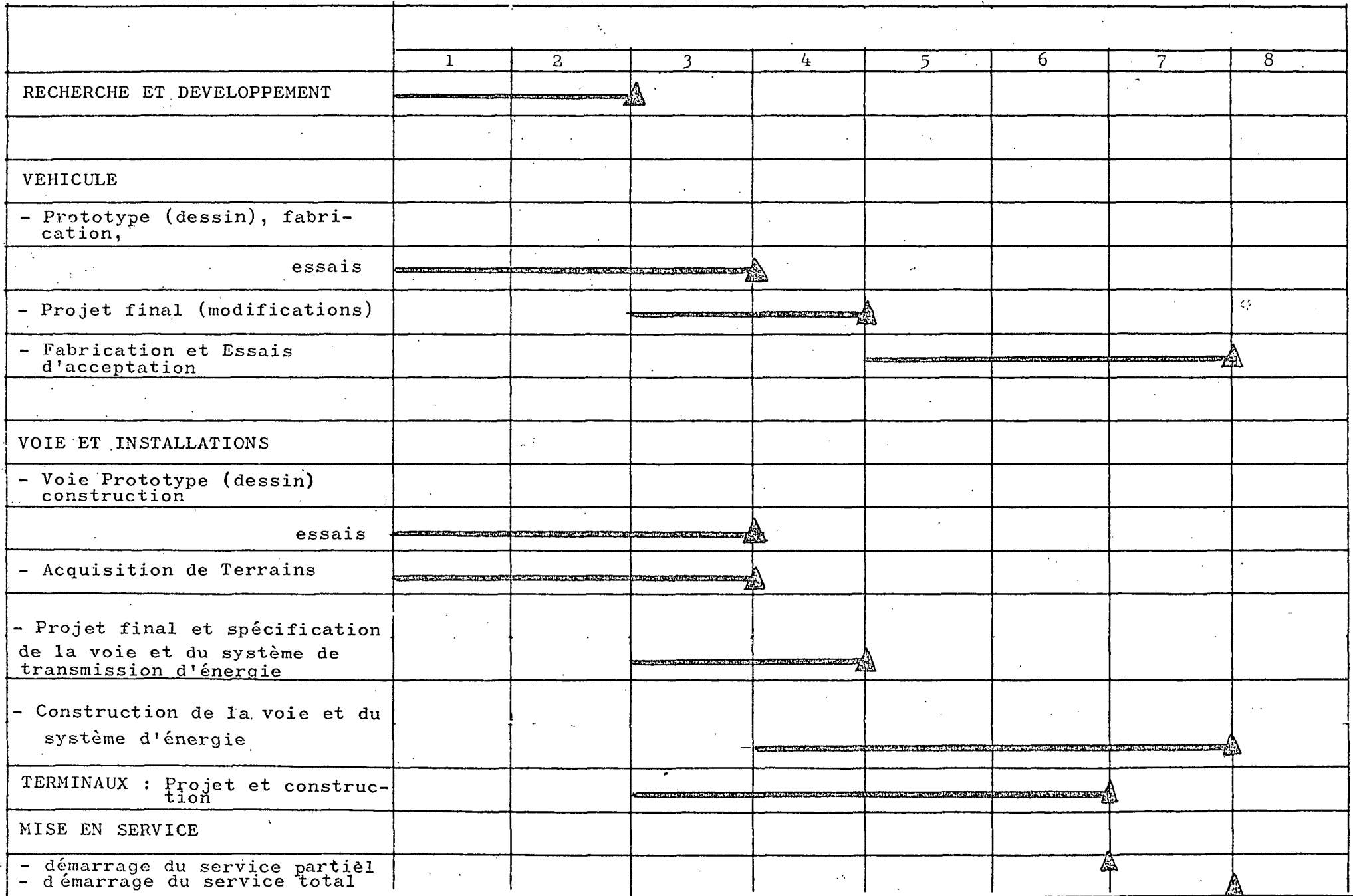
- Dans la première (1), nous proposons une décomposition des coûts d'exploitation et de maintenance d'un système de transport terrestre à grande vitesse en croisant deux structures : la structure comptable des CEM et celle générale à un TTIGV. Cette décomposition à la fois fine et générale, nous servira de référence tout au long de l'étude et visualisera le cadre qu'il s'agit de remplir à l'aide d'estimations. Cette structure de référence a été comparée avec celle explicitée ou sous-jacente, dans les études citées sur l'Aérotrain et le Turbotrain. Les résultats de cette comparaison amèneront à s'interroger sur certaines omissions ou manques constatés, qui peuvent révéler une difficulté à appliquer en pratique le cadre de référence à ces deux projets.

- Les parties (2), (3) et (4) sont consacrées aux trois phases successives (*) de l'évolution du projet : la recherche et le développement, l'expérimentation, et l'exploitation commerciale. Chacune de ces phases approfondit la connaissance du système ; la première fixe les caractéristiques générales et en donne une description sur le "papier" ; dans la seconde, le système existe physiquement ; dans la troisième il est confronté aux réalités de l'exploitation. Au fur et à mesure de cette évolution, l'information s'enrichit. Toute la difficulté vient de ce que la procédure d'estimation doit utiliser une vague d'informations pour prévoir la vague suivante si elle veut précéder la décision. Il y a donc chaque fois un degré de précision et de finesse supérieur à atteindre.

La démarche que nous proposons consiste à "coller" à cette progression en construisant un estimateur à trois étages correspondant aux trois phases de développement. Cet estimateur en se "dépliant" parallèlement au développement du projet, capitalise la connaissance acquise préalablement sur le système et exploite la nouvelle vague (*) d'informations à l'aide d'une procédure adaptée.

(*) A titre d'exemple, nous nous référerons à un diagramme théorique de l'évolution du projet - déjà utilisé dans la première partie - et qui situe dans le temps les vagues successives d'informations sur le système. (c.f. page 6)

DIAGRAMME THEORIQUE : EVOLUTION D'UN PROJET DE SYSTEME



Ces procédures pourront être comparées avec celles utilisées sur les TTIGV du type Aérotrain et Turbotrain .

- La partie (5) regroupe toutes ces conclusions pour proposer, à la Mission de la Recherche, une organisation-type des études de CEM autour d'un projet de TTIGV : période de lancement d'une étude, spécification des entrées/sorties et des méthodes à appliquer, fin de l'étude, utilisation des résultats. Cette organisation aura deux qualités principales : elle s'intégrera parfaitement dans le cadre d'évaluation proposé dans la première phase ; nous aurons montré qu'elle est praticable.

1. LES CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE DES ESTIMATIONS DES CEM

Dans le choix de ces procédures d'estimation, nous devons respecter plusieurs contraintes qui découlent directement du cadre d'évaluation élaboré dans la première partie et des objectifs généraux de l'étude. Elles peuvent être formulées ainsi :

- 1) "Brancher" l'estimation des CEM sur des CONDITIONS D'EXPLOITATION aussi proches que possible des conditions futures d'exploitation.
- 2) Choisir pour représenter cette exploitation une STRUCTURE DES CEM à la fois générale, fine et analytique.
- 3) Rendre compatibles et homogènes entre elles les estimations des CEM et celles des autres composantes du coût du système.

1.1. CONDITIONS D'EXPLOITATION ET ESTIMATIONS DES CEM

On sait que le calcul des CEM repose sur les hypothèses et les données relatives à l'utilisation du système, la taille requise pour la flotte, les normes de sécurité, régularité, bruit, qualité du service, à la structure du réseau, à l'exploitation éventuelle et conjointe d'autres systèmes sur ce même réseau, etc...

Nous avons représenté (page 10)

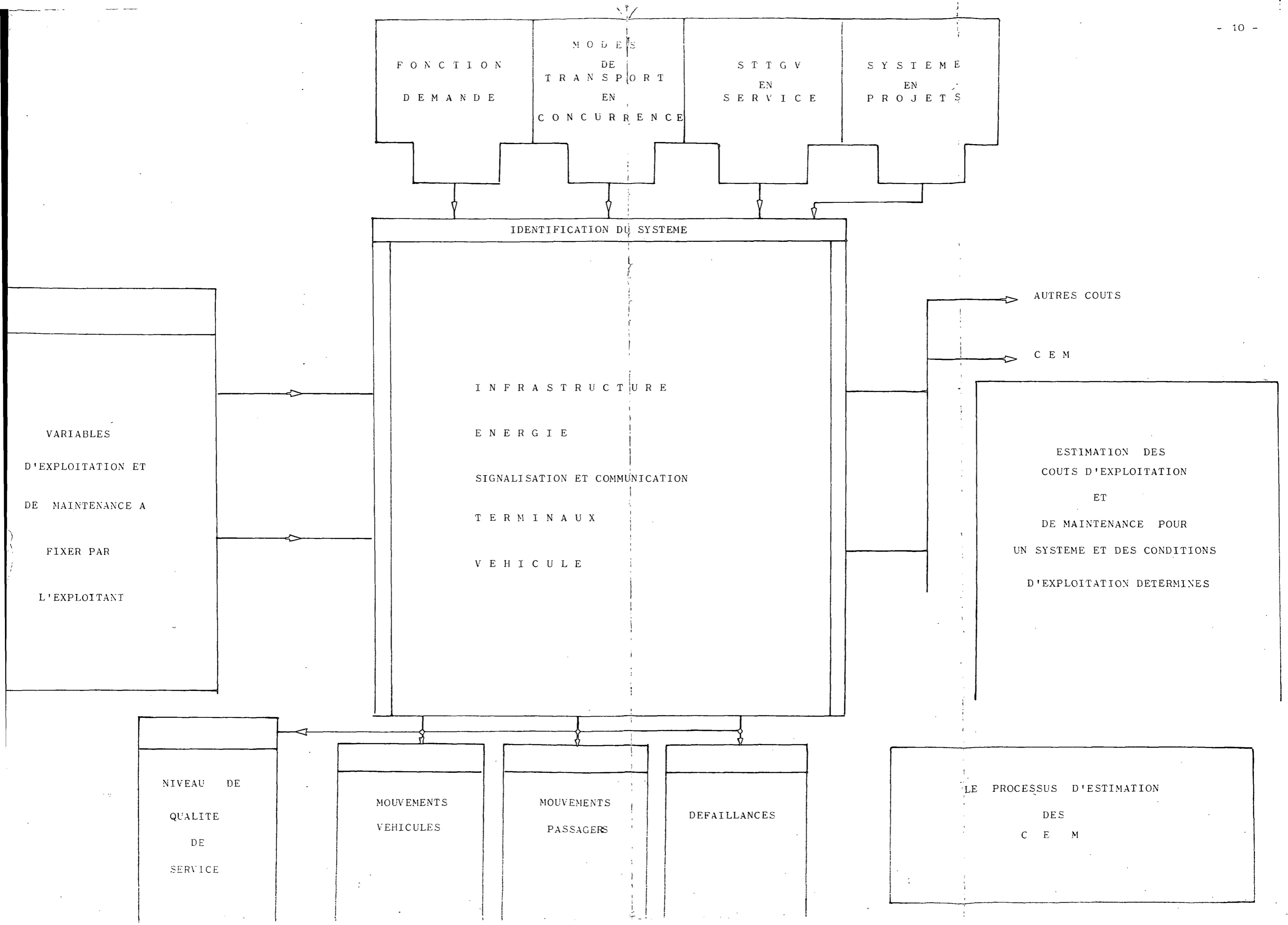
- Le système physique et ses données fixes au cours d'une phase d'exploitation à savoir :
 - l'infrastructure et le réseau,
 - les équipements en service,
 - les aménagements des terminaux.

- . Les données extérieures à l'exploitant et au système qui sont essentiellement :
 - la demande de transport, son évolution et les différents facteurs auxquels elle est sensible,
 - les données des constructeurs relatives aux systèmes en service, et aux systèmes en projet.
 - les formes revêtues par la concurrence entre les différents modes.
- . Les variables d'action de l'exploitant -et éventuellement de la collectivité- qui peuvent être :
 - la composition de la flotte,
 - les règles d'exploitation et de maintenance,
 - les normes de sécurité, de bruit, de régularité, de confort ...
- . L'exploitation que le système assure et qui se caractérise caractérise par :
 - un mouvement des moyens de transports (trafic),
 - un ensemble de services autres que le transport (restauration, parking, ...),
 - des défaillances (pannes, retards, temps mort ...).
 - un niveau de qualité de services.
- . Les CEM qui vont dépendre à la fois du système, du mode d'exploitation choisi, et des données extérieures.

Mais plusieurs degrés de "transparence" peuvent être atteints pour décrire l'exploitation d'un système. La forme la plus simplifiée est celle qui utilise des grandeurs très agrégées comme :

- . le nombre d'heures ou de kilomètres requis par an,
- . la taille de la flotte,
- . la distance et la vitesse moyenne possible sur chaque étape,
- . le coefficient de remplissage moyen par étape, etc...

La forme la plus élaborée est celle fournie par un instrument, aujourd'hui relativement répandu : la simulation d'exploitation. Nous aurons l'occasion de le décrire en détail en § 4, mais d'ores et déjà, remarquons qu'il tient compte :



- . des conditions réelles de parcours sur la voie (ouvrages d'art, courbes, pentes, etc...)
- . des problèmes de régulation de trafic
- . des variations journalières et saisonnières de trafic, etc...

Entre ces deux techniques de représentation, il existe toute une variété de modèles capables de représenter par un certain nombre de données les conditions d'exploitation. Tous reposent sur des techniques statistiques et économétriques bien dominées et a priori, il n'y a donc aucun problème à ajuster la finesse et la précision des conditions d'exploitation sur celle recherchée par les CEM.

En conclusion, et autrement dit, ce seront les possibilités d'estimation des CEM (connaît-on ou non les consommations d'énergie du système pour différentes vitesses et caractéristiques de parcours ?) qui décideront de la sophistication des modèles d'exploitation. Aussi pour chacun des stades de développement du projet étudiés en (2), (3) et (4) nous proposerons un exemple de modèle d'exploitation adapté.

1.2. LE CHOIX D'UNE STRUCTURE POUR LES CEM

1.2.1. STRUCTURE DE REFERENCE DES CEM

En construisant cette structure des CEM il faudra faire en sorte qu'elle puisse s'appliquer sans difficultés particulières à tous les systèmes de transport étudiés ici - c'est-à-dire la famille des systèmes de transport terrestre à grande vitesse - et qu'elle soit suffisamment fine pour expliquer les variations du coût d'un système suivant la solution technologique adoptée.

. La première -comptable- distingue les CEM suivant 4 critères principaux :

- . dépenses d'exploitation ou de maintenance (E ou M)
- . dépenses directement liées à l'exploitation ou non (D ou I)
- . dépenses de personnel, de matériels ou autres (P, M ou A)
- . année d'imputation des dépenses (t)

Ce qui fait 12 catégories comptables de coût par année d'exploitation mais l'application de ces critères n'est pas toujours simple et un protocole comptable est nécessaire :

- . pour donner une définition claire, générale et unique à chaque critère pour tous les TTIGV.
- . pour résoudre les cas d'ambiguïté (dépenses qui ne sont pas imputables à l'une des 12 catégories ou qui sont imputables à plusieurs à la fois).

Chaque coût noté C portera par suite 4 indices, dans l'ordre suivant :

- . E ou M
- . A ou I
- . P, M ou A
- . t

CEDPt représentera les dépenses de l'année t en frais de personnel directement liés à l'exploitation (personnel de bord).

A titre d'exemple, nous avons donné en page 13 une ventilation possible en coût direct et indirect.

Rappelons que l'ambition de l'étude n'est cependant pas de fournir un modèle de bilan comptable mais un cadre d'évaluation. Le second est nécessairement plus simple que le premier. Il ne remplace bien sur pas le bilan comptable.

VENTILATION DES POSTES DE DEPENSE SUIVANT
LA CATEGORIE DU COUT D'EXPLOITATION

	INDIRECT	DIRECT	MIXTE (à répartir)
Exemples de Dépenses liées au			
.. TRAFIC passager			
Agences extérieures	X		
Publicité.....	X		
Services rapides de fret	X		
Bureau d'immigration	X		
Assurance	X		
Frais de papeterie et d'imprimerie	X		
.. ACTIVITES DE TRANSPORT			
Aiguillage des trains		X	
Personnel des terminaux	X		
Bureaux de pesée, Inspection et magasinage	X		
Fournitures et dépenses des terminaux	X		
Personnel des dépôts			X
Dépenses et entretien matériel de dépôt			X
Personnel des sleeping-cars			X
Opérations de signalisation et d'enclenchement des aiguil- lages			X
Protection des croisements de la voie	X		
Communications			X
Papeterie et imprimerie	X		
Assurance	X		
Pertes et dégats (frets ou bagages).....	X		
.. Opérations diverses			
Services de restaurant et de buffet	X		
Hôtels et restaurants	X		
Autres opérations			X
.. Frais généraux	X		

. La seconde décomposition repose sur une structure générale aux systèmes de transport. Appliquée aux Etats-Unis, en particulier, cette décomposition d'un système en sous-systèmes fonctionnels s'est révélée très utile pour différencier des systèmes de transport terrestre et les situer les uns par rapport aux autres. Son principe a déjà été exposé dans la première partie. Il faut retenir, cependant, qu'elle n'est pas limitative et que par exemple :

- . le sous-ensemble "véhicule" peut lui-même être décomposé en 6 éléments : cellule, système de propulsion, suspension, intérieur, appareils de communication et de contrôle, climatisation.
- . le sous-ensemble "aménagement des stations terminales" peut se décomposer en 5 éléments : constructions, parking, quais, garages des véhicules, ateliers et dépôts.

Nous aurons l'occasion de les utiliser pour affiner nos estimations des CEM.

Ces deux décompositions, en se croisant, vont déterminer une grille d'analyse comptable et économique des CEM, où chaque élément de coût est représenté par une double indexation. (c.f. page 15).

Par exemple :

CEDPt (VEHI) = frais de personnel d'exploitation du véhicule
pour l'année t

Une telle grille peut être utilisée comme référence à condition cependant, de rédiger le protocole comptable qui définit, pour un système donné, :

- les coûts directs et indirects,
- de personnel, de matériel ou autres,
- la règle d'imputation à une année t.

GRILLE DE REFERENCE

DECOMPOSITION DES CEM

(Coût d'exploitation et de maintenance)

	VEHICULE	VOIE	INFRA- STRUCTURE	AMENAGEMENT DES STATIONS TERMINALES	COMMUNICATION et SIGNALISATION	TOTAL
Personnel						
Matériel						
Autres						
COUT DIRECT (*)						
D'EXPLOITATION						
Personnel						
Matériel						
Autres						
COUT DIRECT DE						
MAINTENANCE						
Personnel						
Matériel						
Autres						
COUT INDIRECT						
D'EXPLOITATION						
Personnel						
Matériel						
Autres						
COUT INDIRECT						
MAINTENANCE						
COUT DIRECT						
D'EXPLOIT. ET						
MAINTENANCE						
COUT INDIRECT						
D'EXPLOIT. ET						
MAINTENANCE						
TOTAL C E M (*)						

(*) Auquel il convient d'ajouter la dépréciation du matériel que nous n'avons pas inclus ici, mais qui figure dans les coûts directs d'exploitation. (Voir première partie :)

1.2.2. LES DECOMPOSITIONS DES CEM DANS LES ETUDES CONSULTEES

A partir des rapports d'études qui nous ont été remis, nous avons consigné (pages 17 et 18) la décomposition des coûts utilisés et les éléments pris en compte dans le calcul des coûts de l'Aérotrain et du Turbo train. Nous avons, d'autre part, analysé la démarche utilisée pour ces deux projets.

Pour conduire cette analyse, nous avons eu à notre disposition les documents suivants :

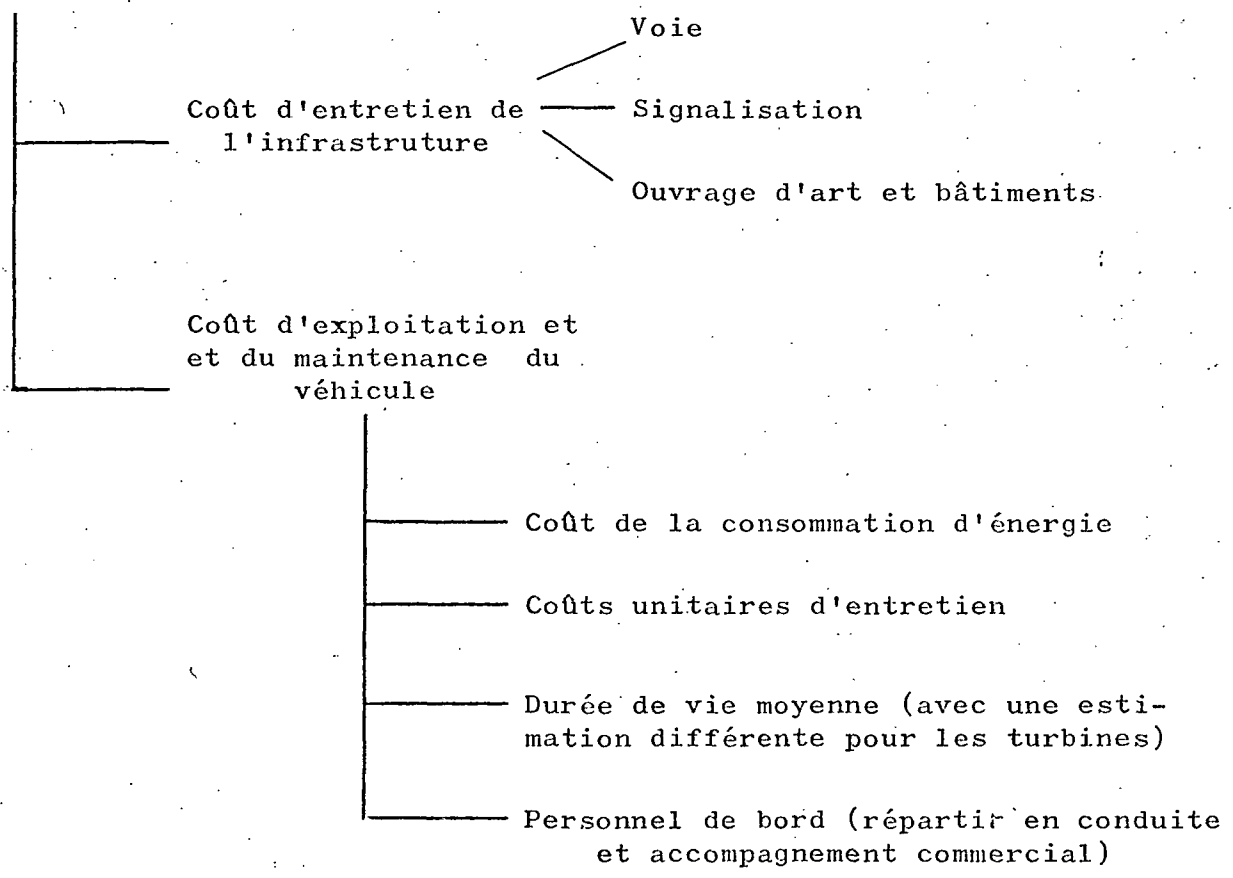
- l'étude de transports terrestres à grande vitesse sur l'axe Paris-Sud Est (Commission des Transports pour le VI ème Plan).
- le modèle technico-économique de l'Aérotrain (Documents de la Société de l'Aérotrain et de l'I.R.T.).

Sur la base de cette documentation, nous nous sommes efforcés de dégager la démarche générale sous-tendant chaque évaluation des systèmes de transport, ainsi que les critères effectivement utilisés pour chacune de ces évaluations.

Elle figure en Annexe I.

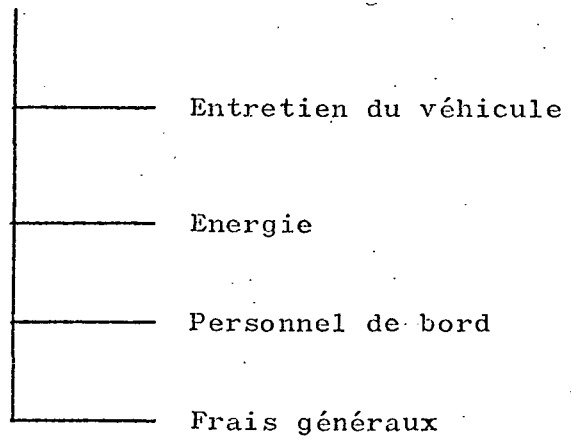
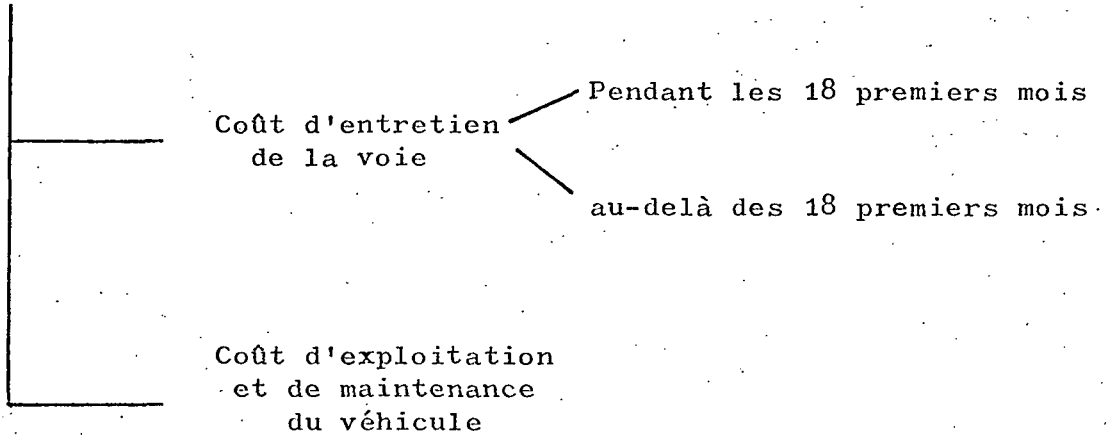
GRILLE UTILISEE POUR LES CEM DANS
L'ETUDE SUR LE PROJET CO3 DE LA S.N.C.F.
(Paris-Lyon)

Coût d'exploitation
et de maintenance



GRILLE UTILISEE POUR LES CEM DANS
L'ETUDE DE L'I R T SUR L'AEROTRAIN

Coût d'exploitation
et de maintenance



1.3. COMPLEMENTARITE ENTRE LES CEM ET LES AUTRES COUTS

La troisième contrainte portera sur la cohérence entre l'estimation des différentes composantes des coûts d'un système, à savoir les CEM, les investissements, les coûts de recherche et de développement, les coûts sociaux et la composante particulière que sont les frais financiers.

La connaissance isolée des CEM apporte peu pour l'évaluation du système. Tout au plus, sur certaines consommations ou dépenses d'exploitation, elle permet de mesurer l'effet -toutes choses étant égales par ailleurs- d'une modification apportée au système.

En pratique, la condition "toutes choses étant égales par ailleurs" est rarement vérifiée et, de toutes les façons, l'ambition de l'étude est de fournir une évaluation exhaustive du système. Il est absolument indispensable de regarder les CEM comme un sous-modèle du modèle d'évaluation des coûts et de faire en sorte que les estimateurs utilisés soient compatibles avec ceux utilisés pour les autres composantes.

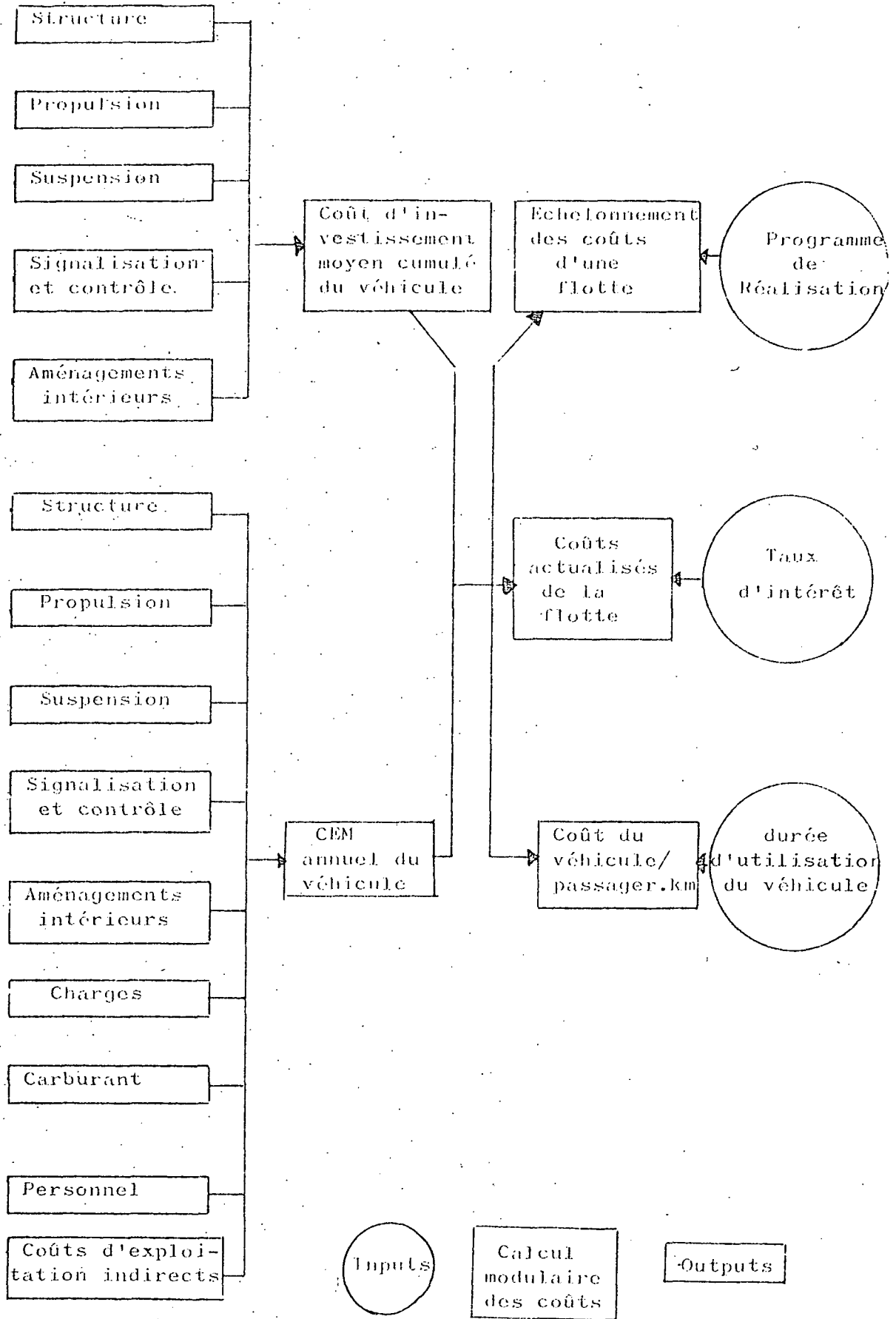
Dans quel cas peut-il y avoir incompatibilité ?

Il faut pour cela se référer aux schémas présentés dans la première partie sur les coûts et que nous reproduisons page 20 . On peut voir que d'une part les estimations sont complémentaires au sens où en se cumulant elles vont permettre la mesure des critères d'évaluation : par exemple le coût de revient actualisé au passager/Km. D'autre part, elles doivent utiliser des hypothèses et des données communes.

Trois cas d'incompatibilité sont fréquents :

. Les estimations du CEM et celles des autres composantes ne reposent pas sur les mêmes hypothèses et données relatives aux conditions

PLAN DES CEM DANS L'EVALUATION DES COÛTS
D'UN SYSTEME



: Coûts du véhicule TTIGV

d'exploitation. Ce cas peut être évité à condition d'explicitement totalement ces hypothèses de manière à ce que cette vérification puisse être faite. On peut craindre en effet, que l'estimation des composantes soient faite par des organismes ou des services différents qui utilisent des hypothèses implicites divergentes sur les conditions d'exploitation.

Des précautions sont à prendre pour éviter une telle source d'erreur. Elles consistent à expliciter totalement pour un système donné les hypothèses et les données utilisées de manière :

- à vérifier qu'elles sont effectivement homogènes,
- à repérer d'éventuelles différences et par suite à demander à les justifier et à en mesurer l'effet sur le calcul des coûts.

Nous verrons par exemple, que d'un stade à l'autre du développement du projet, les données et hypothèses de travail vont être affinées et même modifiées et nous préciserons chaque fois dans quel but et avec quelles conséquences.

. Si l'analyse du système sur laquelle repose l'estimation des CEM n'est pas homogène avec celle qui a servi lors de l'estimation des autres composantes. Ce serait le cas si, par exemple, la décomposition du système -choisie pour des CEM- en sous-systèmes et en éléments du sous-système est incompatible avec celle utilisée dans l'estimation du coût d'investissement. Par exemple la prise en compte des coûts relatifs aux terminaux doit se faire pour toutes les catégories de coût (recherche, investissement, exploitation et maintenance). Les dépenses d'investissements relatifs à la construction de parkings doivent être assorties de dépenses d'exploitation et de maintenance, et globalement reliées par exemple, à la capacité passagers du terminal. Il faut donc que la structure de référence donnée en 1.2. soit apte à être utilisée pour les coûts d'investissements et de recherche.

. Enfin, si les méthodes d'estimation utilisées pour les CEM sont beaucoup trop -ou pas assez- précises par rapport aux autres estimations des coûts. L'estimation finale du coût du siège-Km serait de toutes les façons entachée de l'incertitude de la méthode la plus grossière et les efforts de sophistication sur les autres seront de ce fait sans intérêt. Nous devons montrer qu'à chaque stade il y a un niveau de précision accessible pour toutes les estimations des composantes des coûts.

2. LA PHASE DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT
DU SYSTEME ET L'ESTIMATION DES CE STADE
DES CEM

Au cours de cette phase, le constructeur et la Collectivité sont parties-prenantes. L'exploitant n'est encore qu'un observateur intéressé, préoccupé de planification à long terme. Tous interrogent les données disponibles à ce stade pour y trouver la réponse à trois types de question qu'on peut se poser sur le système.

- Lorsque des options technologiques se présentent dans la conception "sur le papier" du système, quelle est la meilleure ?
- Lorsqu'un même système offre plusieurs variantes possibles, lesquelles retenir pour le développement ?
- Quel est l'apport d'un système par rapport aux systèmes qui lui sont concurrents ou substituts ?

Notre tâche ici consiste :

- à proposer des procédures d'estimations qui répondent à ces questions pour ce qui concerne les CEM et qui utilisent uniquement l'information disponible dans la phase de recherche.
- à démontrer que ces estimations remplissent les conditions exprimées au paragraphe 1, et donc s'intègrent dans le cadre d'évaluation abordé dans la première partie de ce rapport.
- à les comparer avec celles utilisées dans la phase de recherche pour l'Aérotrain et le Turbotrain, et rappelées en partie aux pages 17 et 18.

Nous avons suivi, dans notre présentation, la démarche suivante :

- En (2.1.), se plaçant uniquement d'un point de vue méthodologique, on présente et justifie la procédure choisie. Les fonctions d'estimation des coûts - compte tenu de l'information disponible à ce stade -.

- En (2.2.), on donne en exemple des travaux de fonction d'estimation des coûts faits pour les transports terrestres ou aéronautiques.

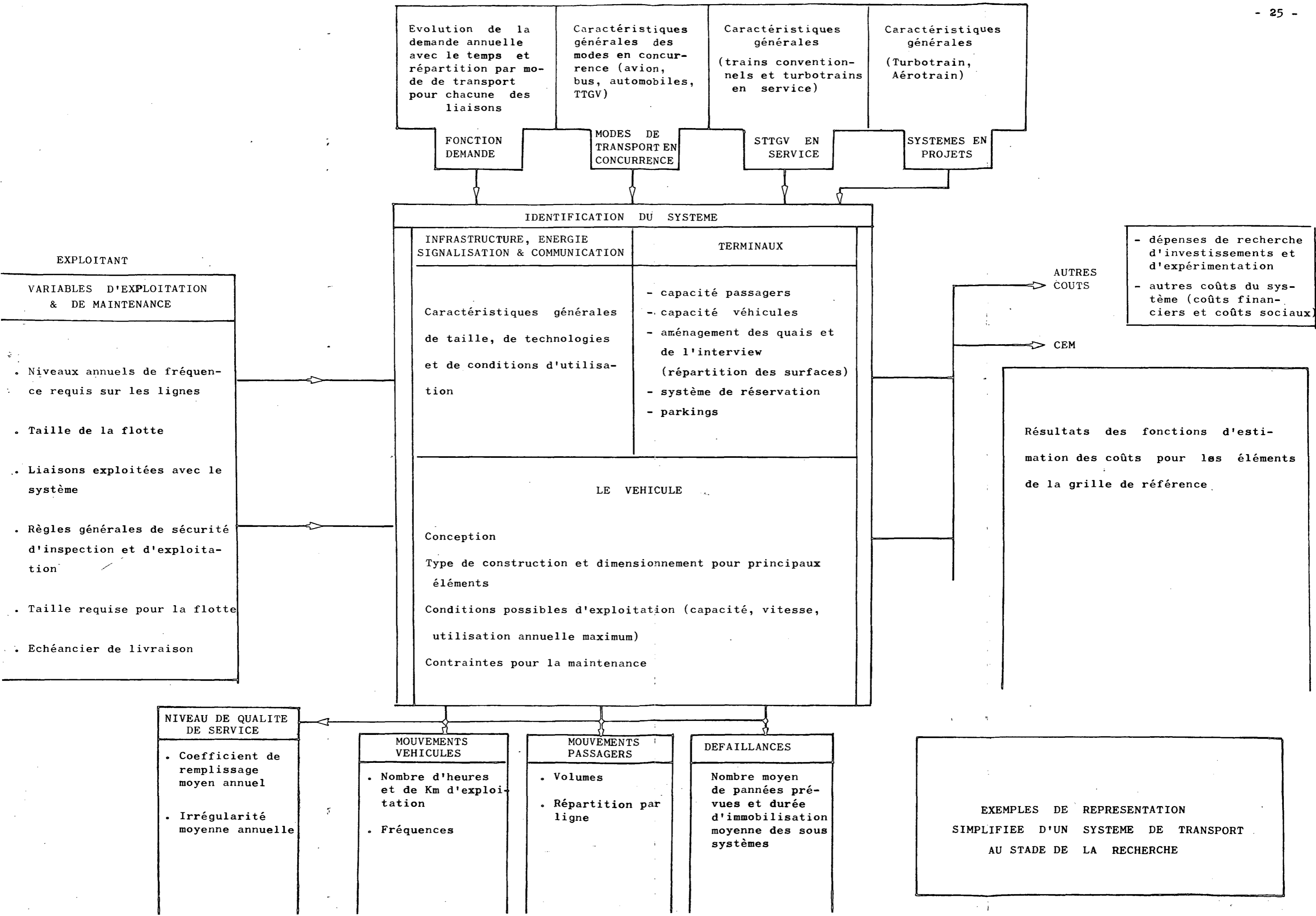
On discute la portée de ces estimations et de leurs utilisations potentielles dans la conduite d'un projet.

Tout au long de cet exposé, nous nous référerons au schéma de la page 25 , qui tient compte des contraintes exprimées en 1 et dont nous proposons une version adaptée à la recherche.

2.1. UNE PROCEDURE ADAPTEE ET EXPLICITE : LES FONCTIONS D'ESTIMATION DES COÛTS.

Au stade de la recherche - même bien avancée - l'information sur le système est faite surtout d'une description technique du projet "sur le papier" c'est-à-dire avant d'avoir subi l'expérimentation dans des conditions réelles. Un pas difficile doit être franchi pour prévoir - à partir de cette connaissance théorique et de mesures faites en laboratoire - comment fonctionnera le système.

L'expérience a longuement prouvé qu'entre les calculs effectués au stade de la recherche et les résultats expérimentaux, il y avait des écarts appréciables et que de tous il fallait s'attendre à ce que des modifications - parfois importante - se révèlent nécessaires au cours de l'expérimentation du système. Aussi, cette situation condamne t-elle, dans les discussions autour d'un projet, les méthodes d'estimation qui reposent uniquement sur ces données théoriques, surtout lorsque ce projet fait appel à des technologies nouvelles.



Deux attitudes sont alors envisageables :

- La première, relativement fréquente chez les constructeurs, est de confier aux ingénieurs la responsabilité d'afficher des coûts, en se fondant sur ces données théoriques, sur leur expérience, leur bon sens et leur intuition. A eux de prendre en considération des inconnues du système et de prévoir le "glissement" des coûts et de les justifier par des arguments techniques.

Ce qui est gênant dans cette démarche -en dehors de son caractère aventureux - c'est qu'elle n'est pas explicite. Les services techniques chargés de cette estimation procèdent à un certain nombre de raisonnements par analogie - en se référant à leurs expériences ou à celles des autres - qu'ils résumant dans un chiffre sans annoncer la méthode utilisée. Cela est d'autant plus regrettable que très souvent ils utilisent des analogies ou des différences avec les systèmes existants. Cette attitude se retrouve en particulier lorsqu'ils ont à estimer un devis pour une fabrication d'un élément ou la construction d'un élément du terminal.

- La seconde, que nous recommandons, consiste à faire appel à la fois aux méthodes statistiques et à l'expérience acquise sur des systèmes - analogues ou différents - en service.

Le but de cette démarche est d'une part, d'inciter les ingénieurs à procéder au plus large examen possible des systèmes existants pour guider leurs estimations et d'autre part, de les astreindre à expliciter complètement leur approche.

Pour transposer sur le projet en question l'expérience acquise sur d'autres systèmes de transport, trois étapes sont nécessaires.

(1) localiser les différences et les analogies dans leur conception entre les systèmes existants et le système étudié.

(2) expliquer les variations des éléments de coût d'un système à l'autre en prenant en compte ces différences et en tenant compte des analogies décelées en (1).

(3) développer des estimateurs des coûts qui tiennent explicitement compte de (1) et (2).

2.1.1. SITUER LE SYSTEME ETUDIE PAR RAPPORT AUX AUTRES

C'est la première tâche à accomplir au cours de la phase de recherche. Nous reprenons page 28 pour chacun des éléments qui constituent un système, de transport, une liste de technologies possibles qui caractérisent le système étudié en ce qui concerne cet élément, et qui a déjà été commentée dans la première partie du rapport.

Ainsi, quatre types de systèmes de propulsion sont connus aujourd'hui pour les transports terrestres, et sont représentés page 29. De plus, comme c'est le cas pour les avions de la génération actuelle, il peut être intéressant de prendre aussi en considération les différents types de moteurs correspondant aux groupes de puissance auxiliaire (APU). Pour situer le système étudié à l'intérieur de l'ensemble des systèmes de transport existants du point de vue de l'élément propulsion par exemple, il faut tenir compte de deux faits :

- Certaines technologies appartiennent à une même filière.
 - Le système étudié peut pour certains éléments - et c'est le cas de la propulsion - combiner plusieurs technologies.
- Ce travail d'analyse doit être conduit par des ingénieurs puisqu'il repose avant tout sur une connaissance des options technologiques et de leurs liens. Il a l'avantage - sur lequel nous reviendrons - de pouvoir être commun à tout un ensemble de projets de systèmes de transport.

Le problème est de retrouver ces filières et de faire l'inventaire des combinaisons technologiques possibles, de manière à construire une typologie des systèmes existants. Une des manières de représenter les résultats de cette analyse technologique et de dessiner pour chaque

DECOMPOSITION TECHNIQUE STRUCTURELLE
D'UN T T I G V

SYSTEME	SOUS-SYSTEME	TYPE DE SOUS-SYSTEME
Véhicule	Structure (cellule)	Cellule type avion Type TurboTRAIN Type train classique (acier conventionnel) Construction type automobile
	Propulsion	Moteurs à induction rotative Moteurs à induction linéaire Turbopropulseur Turboréacteur
	Suspension	Roues acier Coussin d'air Coussin magnétique Pneus
	Aménagements intérieurs	Type aviation Type train
	Signalisation et contrôle (embarqué)	Régulation automatique des trains
Voie		Rails sur Traverses Rails sur Béton Rail surélevé Rail en Tunnel Elément béton - niveau du sol Elément béton - surélevé Elément béton - Tunnel
Infrastructure • Terrains pour l'infrastructure		Zones : Commerciale Résidentielle Industrielle Agricole
• Construction de l'infrastructure	Au niveau du sol	
	Ponts	Type autoroute Type chemin de fer
	Tunnels	Creusés En tranchée couverte
Equipement général	Terminal Parking Aires d'embarquement Stockage véhicules Installation de dépôts	A l'air libre Garage en surface Souterrain
Signalisation et Contrôle		Régulation automatique des trains
Energie	Distribution de l'éner- gie Sous-stations	- 3e rail - fils aériens

EXEMPLE DE REFERENCE AUX SYSTEMES EXISTANTS

TYPLOGIE DES SYSTEMES EXISTANTS DE PROPULSION		RECHERCHE	EXPERIMENTATION		EXPLOITATION COMMERCIALE
Sous-système propulsion		Projets sur le papier	Projet en développement	Projets en expérimentation	Projets en Service
ELECTRIQUE	Type moteur électrique à induction rotative	_____			Locomotives électriques
	Type moteur électrique à induction linéaire	_____			Projets Merlin - Gerin
CARBURANT	Type turbo-propulseur	_____			Avions
	Type turbine	_____			Aérotrain Bertin Turbotrain (*)
	Type turbo-réacteur	_____			Avions Projets Aérotrain Américain
	Moteur Diesel	_____			Locomotive Diesel
	Moteur étudié	_____			Système étudié

(*) Pour les turbotrains à grande vitesse en France, des zones prototypes ont commencé à être expérimentées.

sous-système un arbre de solutions technologiques et de combinaisons de ces solutions. Un sous-système pourra être repéré sur cet arbre par un indice. Des exemples d'application de cette méthodologie ont été présentés et commentés dans la première partie.

En fait, ce travail est souvent fait implicitement par les ingénieurs. Possédant bien les différences technologiques entre les systèmes, ils ont l'habitude dans leurs approches de distinguer des filières et pour une filière des options. L'utilisation d'une méthode explicite d'analyse, comme celle que nous leur proposons, devrait leur permettre de transmettre leur démarche aux économistes et statisticiens.

2.1.2. CONSTRUIRE DES FONCTIONS D'ESTIMATION DES COÛTS

Pour chacune des cases de la grille de référence, il existe une ou plusieurs variables capables d'expliquer pourquoi - à technologie comparable - les coûts varient d'un système à l'autre. C'est le cas par exemple de la vitesse ou du poids qui peuvent varier pour des systèmes de même technologie - ou pour un même système - et expliquer directement ou indirectement une variation des coûts.

L'analyse faite en 2.1.1. va permettre de travailler à technologie comparable, chaque fois que cela augmentera la pertinence du modèle.

- . On recherchera une relation fonctionnelle propre à un groupe de technologies.
- . A l'intérieur de ce groupe, on différenciera le modèle d'estimation, en l'ajustant, séparément, pour chacune des principales variantes tout en conservant la même structure de modélisation.

La construction de fonctions d'estimation des coûts se fait de la façon suivante :

- (a) On postule des relations fonctionnelles entre les composantes des coûts et des variables remarquables.

(17)

(b) On estime statistiquement la dépendance entre les coûts observés sur les systèmes existants et les valeurs prises par ces variables pour ces mêmes systèmes.

(c) On évalue la robustesse du modèle d'estimation ainsi construit à partir de la comparaison entre les valeurs prises dans la réalité et celles qu'aurait prévu le modèle pour les systèmes existants.

(d) Si la relation de dépendance donne des résultats convaincants pour les systèmes existants, on l'utilise pour estimer les coûts du système en question. Sinon on revient à (a) testant d'autres relations fonctionnelles.

2.2. PORTEE ET LIMITES DES FONCTIONS D'ESTIMATION DES COUTS

Pour illustrer la méthode que nous préconisons, nous avons emprunté à des services américains et français, des exemples de données disponibles et de fonction d'estimation des coûts construites autour de ces données. Ces exemples qui portent à la fois sur les transports terrestres et aériens sont regroupés en annexe. (cf. Annexe 2)

Dans la pratique, l'estimation des coûts pour cette méthode rencontre des difficultés de deux ordres : d'une part dans la collecte des données et d'autre part, dans l'interprétation des estimations.

La collecte de données homogènes et comparables sur les coûts, est en effet, compliquée par le fait que les systèmes de transport sont utilisés par les exploitants sur des périodes et dans des conditions différentes. On peut corriger les biais les plus importants (par exemple ceux introduits par le nombre annuel d'heures d'utilisation), mais il faut accepter certaines variations (par exemple celles dues à des règles de gestion différentes).

L'interprétation des fonctions d'estimation des coûts est délicate et dépend du contexte. Trois attitudes peuvent être adoptées.

• Les fonctions d'estimation des coûts peuvent être uniquement illustratives, si elles consistent à situer les estimations faites par le constructeur - à partir de données théoriques ou des résultats des premiers essais - par rapport aux tendances générales observées dans les systèmes de transport existants. Elles sont, dans ce cas, interprétées par défaut et on ne se sert pas d'elles en fait pour procéder à des estimations.

Un exemple en est donné couramment dans les dossiers que préparent les constructeurs sur leurs avant-projets. Ils font figurer en général l'évolution d'un élément de coût (par exemple : la consommation spécifique) avec une caractéristique dominante du système (par exemple : la poussée) et font valoir l'écart entre ce que donnerait les systèmes existants et ce que les services du constructeur affichent comme coût. Ce faisant ils comparent des coûts du système existant calculés dans des conditions réelles d'exploitation avec des coûts théoriques tels qu'ils sont calculés par les services techniques responsables des avant-projet. Cette attitude est critiquable dans la mesure où on sait que des éléments vont intervenir entre la recherche et l'exploitation pour modifier les coûts annoncés.

. Les prévisions fournies par des fonctions d'estimations des coûts suffisamment élaborées peuvent, à notre avis, avoir une valeur indicative tout au long de la vie du projet. Cela se traduirait en pratique par l'attitude suivante.

- en l'absence de données réelles fiables, l'Administration se référerait pour un avant-projet donné, aux estimations fournies par ces fonctions avec, bien sûr, une marge de variations déduite de celle observée sur les systèmes existants.

- si un constructeur prétend être en mesure d'attendre certaines vitesses, capacités ou poussées avec des coûts inférieurs - ou inversement considère qu'il est impossible d'obtenir de tels coûts - il doit en faire la preuve soit en explicitant l'apport original des technologies nouvelles auxquelles il compte faire appel par rapport à celle utilisées dans les systèmes existants, soit en s'appuyant sur des données réelles et en contestant de manière convaincante l'extrapolation faite par l'administration. En l'absence d'un de ces deux types d'argumentation, l'affirmation de coûts inférieurs ou supérieurs à ceux prévus par les fonctions d'estimation des coûts est beaucoup plus un pari industriel qu'une estimation.

- lorsque les données réelles commencent à être suffisamment abondantes et répétées pour alimenter des estimations fiables, les prévisions fournies par les fonctions d'estimation des coûts ont valeur de référence. S'appuyant sur ces estimations, l'administration peut trouver un système pas assez performant ou inversement peut constater une amélioration.

Enfin, ce serait interpréter les fonctions d'estimation du coût par excès que de leur donner une valeur normative. En effet la méthode utilisée pour construire ces fonctions, limite leur portée. Au stade de la recherche, ces fonctions font autorité parce que il n'y a rien de meilleur à leur opposer et même à ce stade elles ne sont que des estimations " a priori" puisqu'elles se déduisent d'une extrapolation. Au cours de l'expérimentation puis de l'exploitation, les estimations fondées sur des données réelles leurs sont confrontées, et les écarts observés méritent, lorsqu'ils sont importants - par rapport à la marge de variations prévisible - d'être expliqués.

Nous retrouverons, dans la sous-partie 5, les considérations sur le rôle respectif des différentes estimations.

3. L'ESTIMATION DES CEM ET LES DEBUTS D'EXPERIMENTATION DU SYSTEME

Dans la sous-partie 2, le point remarquable était l'absence de données réelles sur le système. Les opérations d'exploitation et de maintenance du système n'avaient jamais été vécues et les prévisions faites à partir des fonctions d'estimation des coûts transposent une expérience accumulée sur des systèmes analogues ou sur des sous-ensembles déjà disponibles au cours de la recherche.

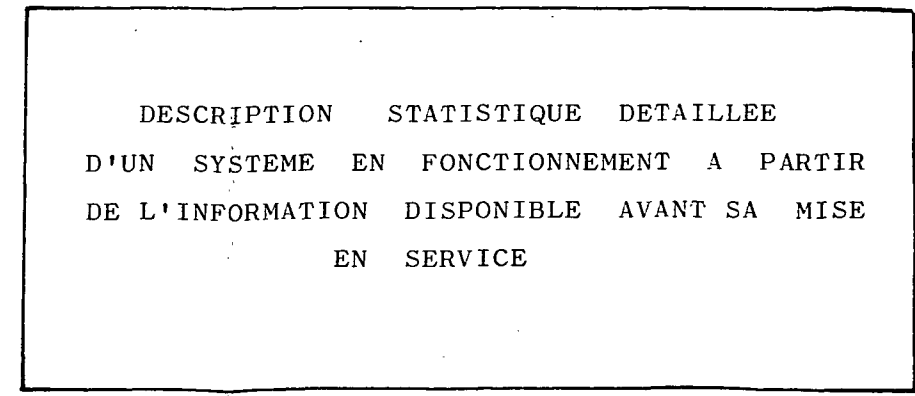
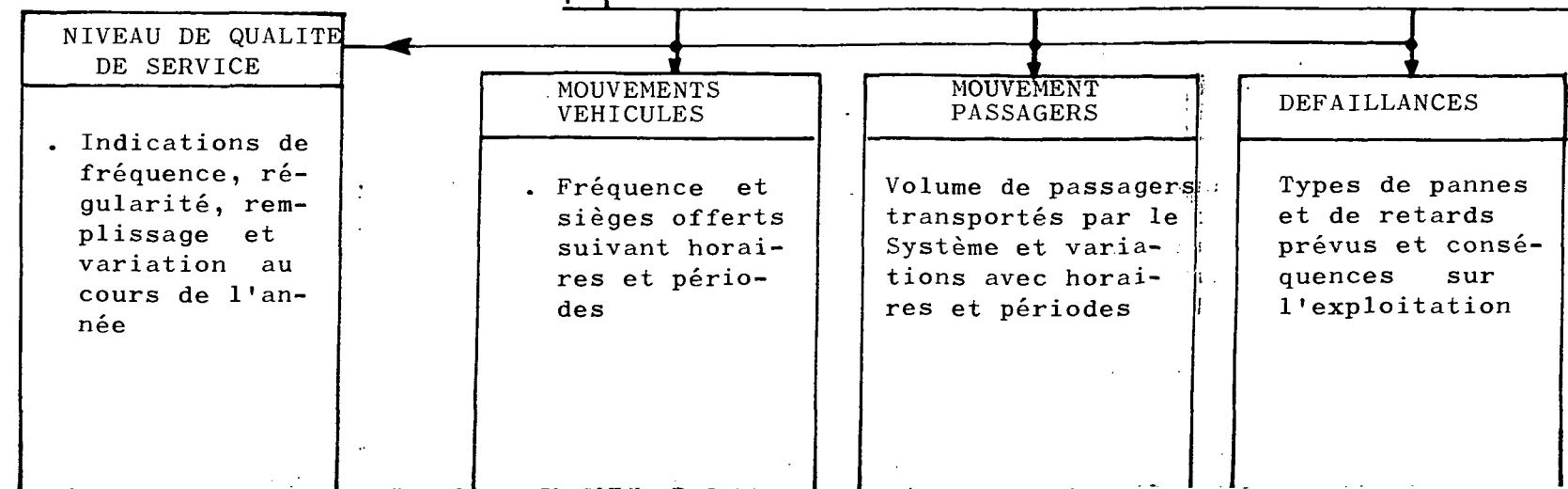
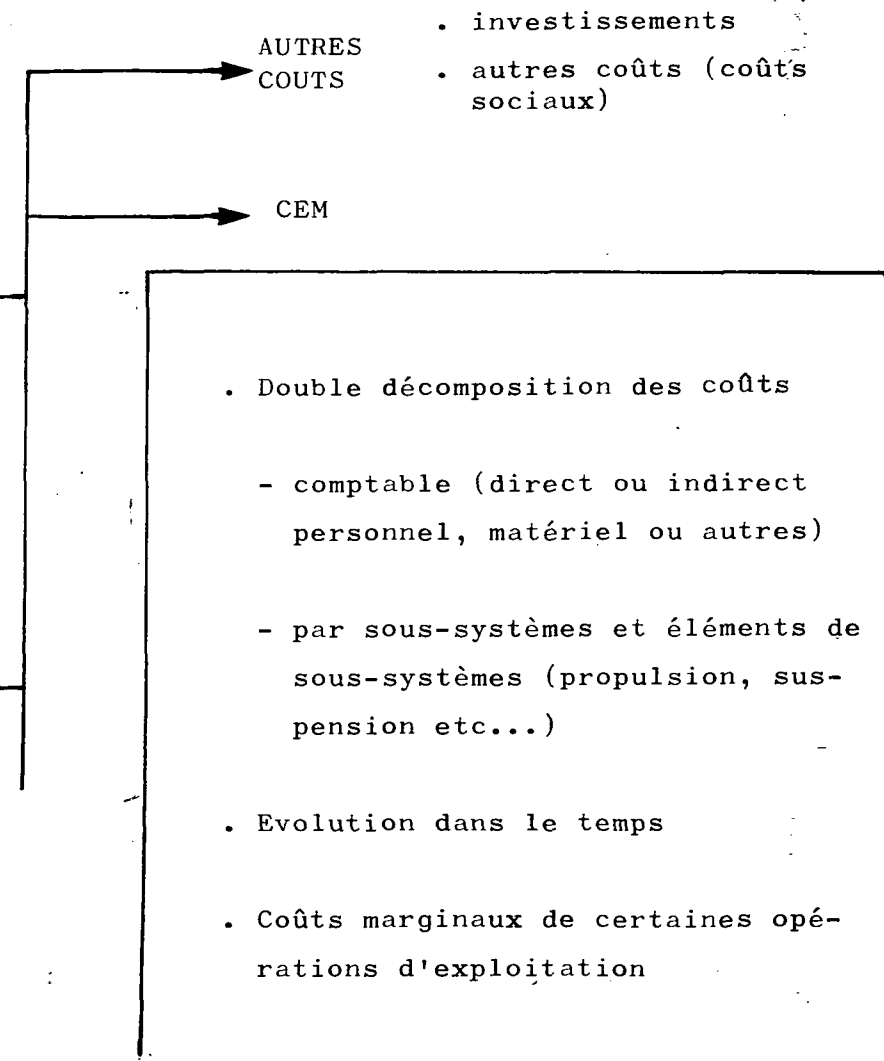
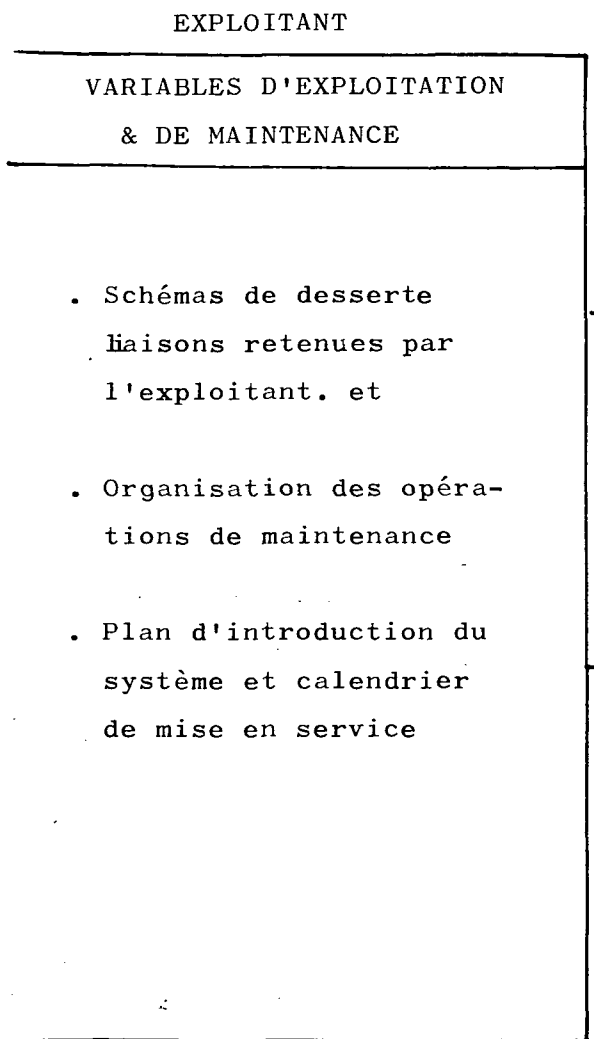
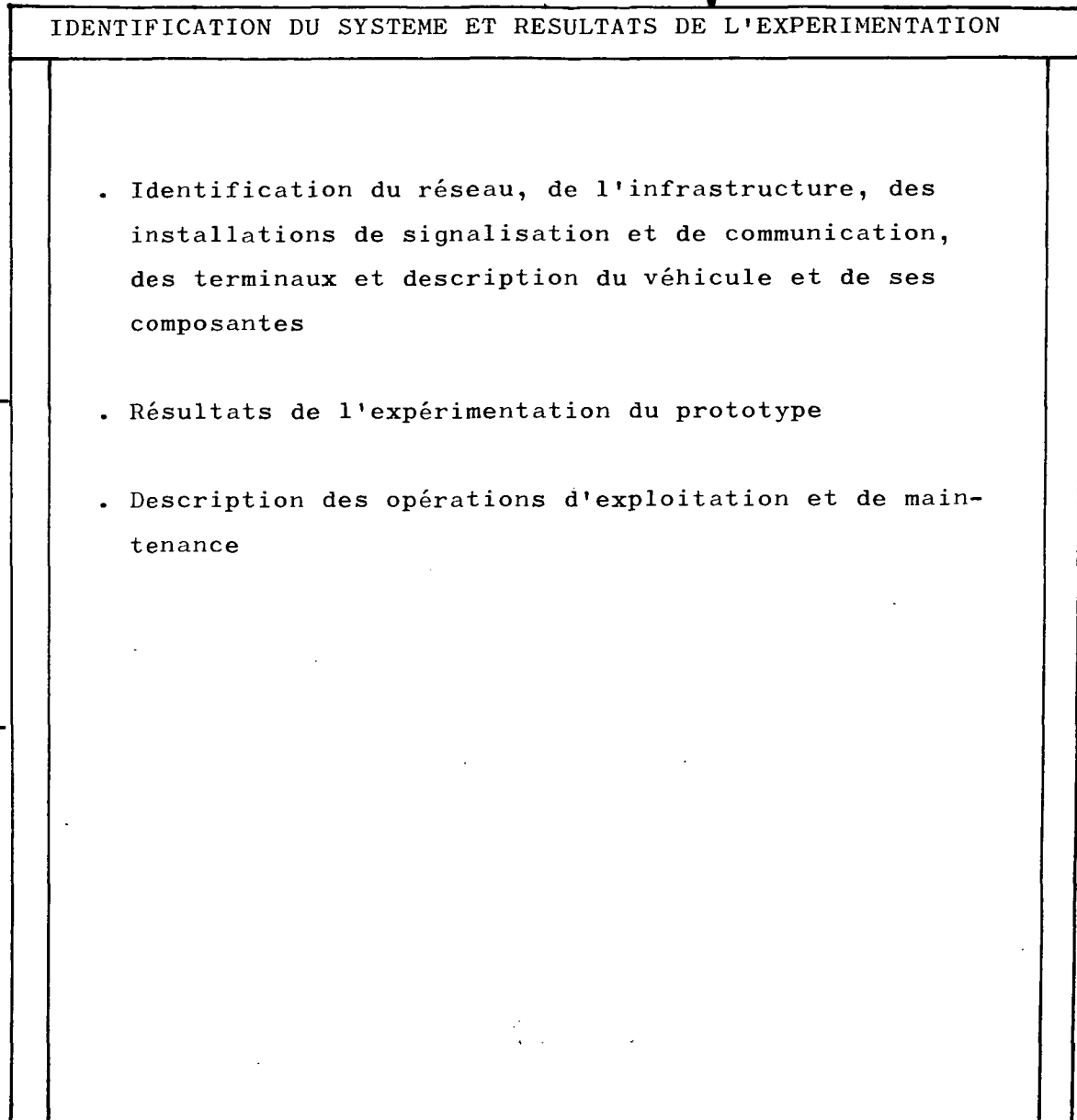
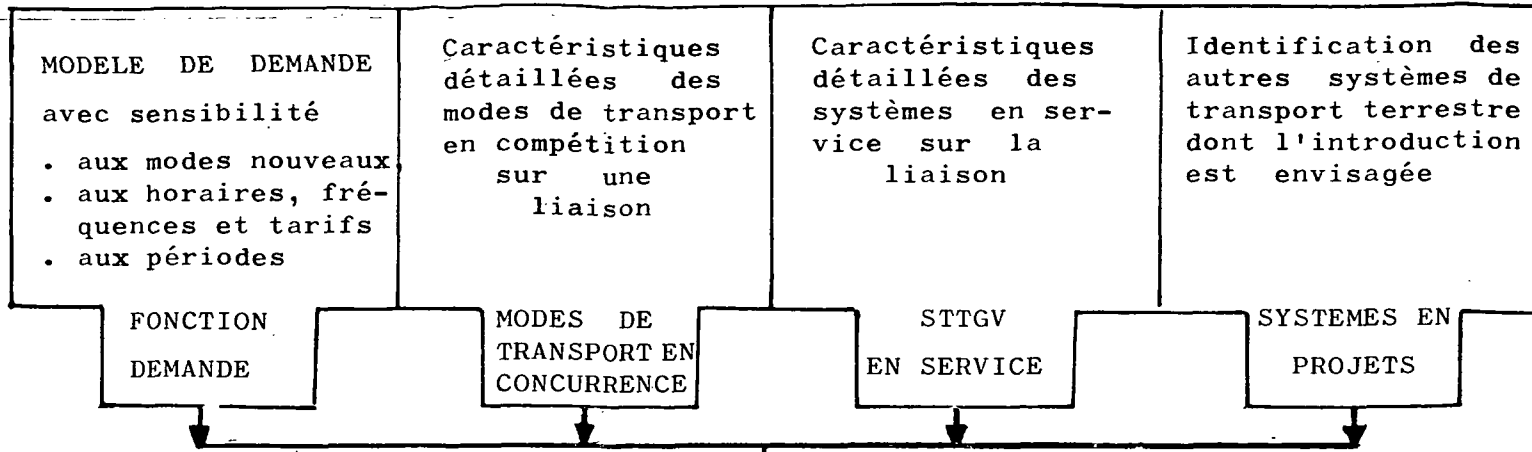
Lorsque débute l'expérimentation, le contexte a changé. Le constructeur, en entreprenant la construction d'un prototype, a consenti une nouvelle tranche d'investissements et son intérêt est d'approfondir les contacts avec les exploitants en l'intéressant au système. Il a besoin pour cela de pouvoir décrire l'exploitation et la maintenance du système et de l'évaluer financièrement.

3.1. LES EXIGENCES NOUVELLES POUR L'ESTIMATION DES CEM

Cette situation nouvelle rend nécessaires des procédures d'estimation qui satisfassent à trois conditions* :

3.1.1. La première porte sur les conditions d'exploitation autour desquelles seront conduites les estimations des CEM. Il est essentiel à ce stade que des conditions réalistes d'exploitation -proches de celles qu'on peut prévoir pour les exploitants intéressés par le système- remplacent les schémas de desserte théorique utilisés au cours de la recherche. Cela est indispensable pour faire avancer les discussions entre le constructeur, à la veille de prendre la décision de lancement de la fabrication, l'exploitant, dont on sollicite au moins des options, et la Collectivité-Etat, à la fois conseil, arbitre et partie prenante.

(*) c.f. graphe page 35 bis



En revanche, il n'est peut-être pas raisonnable et même vraiment nécessaire à ce stade de pousser la finesse du modèle d'exploitation jusqu'à vouloir simuler l'introduction du système. L'information fournie aux débuts de l'expérimentation n'est pas suffisamment fiable et complète pour cela, et par ailleurs, la période d'exploitation est encore un peu trop éloignée pour être envisagée de façon aussi détaillée qu'elle ne l'est dans une simulation. Enfin, les négociations entre exploitant -constructeur et Collectivité-Etat- ne sont pas suffisamment avancées pour justifier une analyse aussi fouillée et aussi complexe.

3.1.2. Une exigence nouvelle va se faire sentir, cependant, dans l'estimation des CEM. L'exploitant et la collectivité sont de plus en plus soucieux de connaître de façon détaillée -et à la lumière des résultats de l'expérimentation- quelles sont les opérations d'exploitation et de maintenance que nécessiterait ce système sur un réseau donné. L'estimation des CEM qu'il réclame, doit donc reposer sur une description physique de ces opérations et les traduire en termes financiers.

Cette exigence est d'autant plus active, à ce stade, que le constructeur tient au courant l'exploitant et la collectivité-état des résultats des épreuves subies par le système et entreprend progressivement la rédaction d'un manuel d'exploitation et de maintenance. Il lui faut donc assurer la cohérence entre la description physique des opérations d'exploitation et de maintenance et leur estimation financière.

3.1.3. Enfin, l'estimation des CEM aura à satisfaire à une troisième exigence, que nous avons annoncée en introduction : gagner en précision par rapport aux fonctions d'estimations des coûts.

Dans ses négociations avec les exploitants et la Collectivité, le constructeur doit pouvoir réduire l'incertitude sur les CEM du système et de même qu'il est amené à annoncer un prix de vente au moins approximatif, il faut qu'il puisse avancer et même au besoin garantir un certain niveau pour les CEM.

La réticence de l'exploitant et de la Collectivité à accepter une incertitude sur les CEM se fait particulièrement sentir lorsqu'il s'agit de technologies nouvelles pour lesquelles des fonctions d'estimation des coûts sont, par la force des choses, plus périlleuses. CONCORDE en a été un exemple fameux puisque les négociations ont été en partie bloquées par l'incertitude sur la consommation spécifique de l'appareil en fonction des conditions de vol et de charge.

Nous proposerons des estimateurs qui, tout en respectant ces nouvelles exigences, se contentent de l'information disponible c'est-à-dire de l'arrivée progressive des résultats d'expérimentation.

3.2. L'INFORMATION DISPONIBLE ET LES METHODES D'ESTIMATION DES CEM ADAPTEES

On peut distinguer sur le diagramme de la page 6 deux phases dans l'expérimentation.

3.2.1. La première fournit essentiellement des résultats "en laboratoire" -comme, par exemple, ceux donnés par un simulateur analogique ou un banc d'essai- et des résultats encore parcel- laires sur le prototype -par exemple, restreints à une plage de vitesse-.

Cette information n'est pas assez consistante pour constituer à elle seule l'estimation, par exemple, d'une consommation spécifique et, a fortiori, d'une durée de vie d'une pièce. D'autant plus que pour atteindre un niveau de signification acceptable, le temps d'expérimentation nécessaire peut être allongé sensiblement dans deux cas : si le phénomène est rare comme, par exemple, la rupture d'une pièce maîtresse : si le phénomène

est variable, et cela peut être le cas des durées de vie de certaines pièces ou dans une moindre mesure de la consommation spécifique.

Par ailleurs, cette expérimentation n'est pas encore exhaustive : soit parce qu'elle est ponctuelle (si une seule hypothèse de capacité et de charge a été testée) ; soit parce qu'elle n'a pas pu encore être faite (par exemple, certaines formes de tracé ou certaines structures de voie n'ont pas été expérimentées).

Dans ces conditions on continuera à faire appel aux fonctions d'estimation des coûts en les utilisant comme "support" pour l'estimation.

Plusieurs types de modèle d'estimation peuvent être envisagés. Deux sont donnés en exemple :

. La relation (*) est empruntée aux fonctions d'estimation des coûts. On l'utilise pour prévoir les résultats qu'aurait donnés l'expérimentation si la relation adoptée était vraie. Si les résultats de l'expérimentation sont significativement différents de ce que prévoit la fonction d'estimation des coûts, on tend à conclure à une consommation supérieure ou inférieure à celle prévue pendant la recherche.

. On part toujours d'une relation a priori mais fondée cette fois-ci sur une loi de probabilité. On suppose, par exemple, que, pour certaines conditions d'exploitation, le temps de vie d'une pièce suit une loi normale de moyenne t et de variance Δ^2 connue ou, ce qui complique légèrement le modèle, inconnue. Cette hypothèse revient à fixer des probabilités a priori de panne au bout d'un laps de temps t . L'application des méthodes bayésiennes permet alors de calculer les nouvelles probabilités a priori de panne qui ont été corrigées par rapport aux premières en fonction des premiers résultats de l'expérimentation. On traduit alors la variation des probabilités a priori en variation des coûts de maintenance et on modifie en conséquence l'estimation faite au cours de la phase de recherche.

(*) Par exemple, la courbe de consommation moyenne d'énergie/km en fonction de la vitesse moyenne de parcours.

En conclusion, au cours de cette étape, on utilise les fonctions d'estimation des coûts comme "support" pour interpréter les résultats de l'expérimentation.

3.2.2. La seconde étape devrait non seulement fournir des informations consistantes -puisque provenant de prototypes en grandeur nature- mais aussi suffisamment répétitives et paramétrées pour permettre une estimation fondée uniquement sur les résultats expérimentaux.

Les méthodes sont connues, il s'agit :

- des modèles de régressions (simples ou multiples)
- d'analyse de la variance
- des modèles d'analyses paramétriques et factorielles.

Les estimations fournies par ces modèles sont indépendantes de celles opérées dans les fonctions d'estimation des coûts. Elles peuvent pré-supposer les mêmes relations entre, par exemple, la consommation spécifique et la vitesse, mais l'une a été ajustée sur des données d'expériences relatives à un même système, tandis que l'autre a été construite à partir de statistiques sur d'autres systèmes.

L'intérêt est de les confronter en cherchant à interpréter, lorsqu'elle est significative, la différence entre ces deux estimations. Est-ce qu'elle signifie que les CEM du système étudié sont différents de ce que l'on pourrait attendre d'un système de ce type et dans ce cas quelle est l'explication de cette différence ? Ou bien faut-il conclure que la fonction d'estimation des coûts retenue, ne s'applique pas à ce projet contrairement à ce que l'on pensait au cours de la recherche ?

Toutes ces différences pas par le fait du constructeur. L'exploitant, ses règles de gestion, sa politique d'implantation et de maintenance vont décider en grande partie des résultats qu'atteindra le système. C'est l'objet de la sous-partie 4 que d'explicitier la liberté d'action de l'exploitant.

4. SIMULATION DE TRAFIC ET DECISION DE MISE EN
SERVICE D'UN SYSTEME NOUVEAU SUR UN RESEAU

Nous avons , dans les parties 2 et 3, mis en place - au fur et à mesure que l'information sur le système arrive - des procédures d'estimation adaptées à la situation et répondant à la demande des constructeurs, exploitants et de la Collectivité.

Toutes ces procédures donnent, avec plus ou moins de finesse et de détail, les résultats statistiques recherchés pour une période d'exploitation et de ce fait elles permettent effectivement de remplir un cadre d'évaluation. Mais en utilisant ces procédures statistiques on court-circuite un certain nombre de problèmes qui se révèlent en pratique cruciaux et qui ont trait à la gestion physique et quotidienne du système. C'est une chose de savoir qu'avec un nouveau système on peut atteindre une utilisation annuelle supérieure et des qualités de service améliorées, c'en est une autre de les réaliser en pratique.

On ne peut pas minimiser cet aspect. L'exploitant et la collectivité ont à décider les dates et les rythmes d'introduction du système nouveau sur le réseau et il est tout à fait normal qu'elles ressentent le besoin avant de prendre la décision, de constater la viabilité des conditions d'exploitation autour desquelles ont été calculées les CEM et aussi d'influer sur ces conditions pour les rendre plus réalistes, plus conformes aux qualités de service et aux règles d'exploitation recherchées, tout en gardant des CEM acceptables.

Nous allons présenter la structure d'un simulateur, qui est un instrument capable de réaliser "sur le papier" - donc en l'absence d'expérimentation commerciale - la gestion du système pour un jour ou une période type d'exploitation. Les simulateurs existent aujourd'hui et en particulier ils fonctionnent aux Etats-Unis (*) sous une forme entièrement automatique ou semi-automatique.

(*) Le long island Rail road simulation program (Metropolitan Transportation Authority) est un exemple de simulateur.

4.1. STRUCTURE GENERALE D'UN SIMULATEUR ET SON APPORT DANS L'ESTIMATION DES C E M

Le graphe de la page 43 représente un processus de calcul illustrant une simulation. Dans le cas choisi, le système procède en quatre temps.

Premier temps : L'information en entrée porte sur :

- (1) les installations et équipements existants ou attendus et
- (2) les normes d'exploitation et de maintenance fixées par l'exploitant. Le simulateur calcule les modifications à apporter à (1) pour que (2) soient respectées, simule avec ces nouvelles conditions la marche du système sur le réseau et calcule les performances atteintes.

A la fin de ce premier temps, le simulateur a donc produit :

- (3) Une liste de recommandations de modifications à apporter au plan de mise en service du système, ce qui constitue déjà une première estimation des dépenses supplémentaires de mise en service et d'exploitation non prévues.
- (4) Une description complète et détaillée des mouvements du système pendant la période d'exploitation.

Deuxième temps :

A partir de :

- (4) La description des mouvements du système résultant du premier passage en simulateur.
- (5) Une prévision du trafic passager, fret et correspondance sur le réseau pendant la période.
- (6) Le programme d'exploitation que veut inaugurer l'exploitant à l'occasion de la mise en service du système.

Le simulateur va simuler une exploitation sur le réseau de sa nouvelle flotte et tenir compte, en particulier, des conséquences sur le trafic de l'interférence de plusieurs systèmes. Il calcule, à partir d'un programme de simulation, les retards enregistrés (7) par rapport à (6).

Troisième temps :

Le simulateur examine ces retards et leur cause et utilisant des procédures qui lui ont été "communiquées" par l'exploitant, il identifie les actions qu'il faut prendre pour résorber ces retards et les ramène à un niveau considéré par l'exploitant comme acceptable.

Il produit (8), une nouvelle liste de recommandations qui complète celle déjà donnée en (3).

Quatrième temps :

Partant de (3) complété de (8), et de données sur les coûts des différentes opérations, le simulateur estime les coûts des modifications apportées à ce que prévoyait l'exploitant et calcule donc de nouvelles estimations des CEM.

Nous voyons donc qu'un simulateur peut améliorer l'estimation des CEM en prenant en compte explicitement :

- Les conditions de mise en service d'un système sur une ligne donnée.

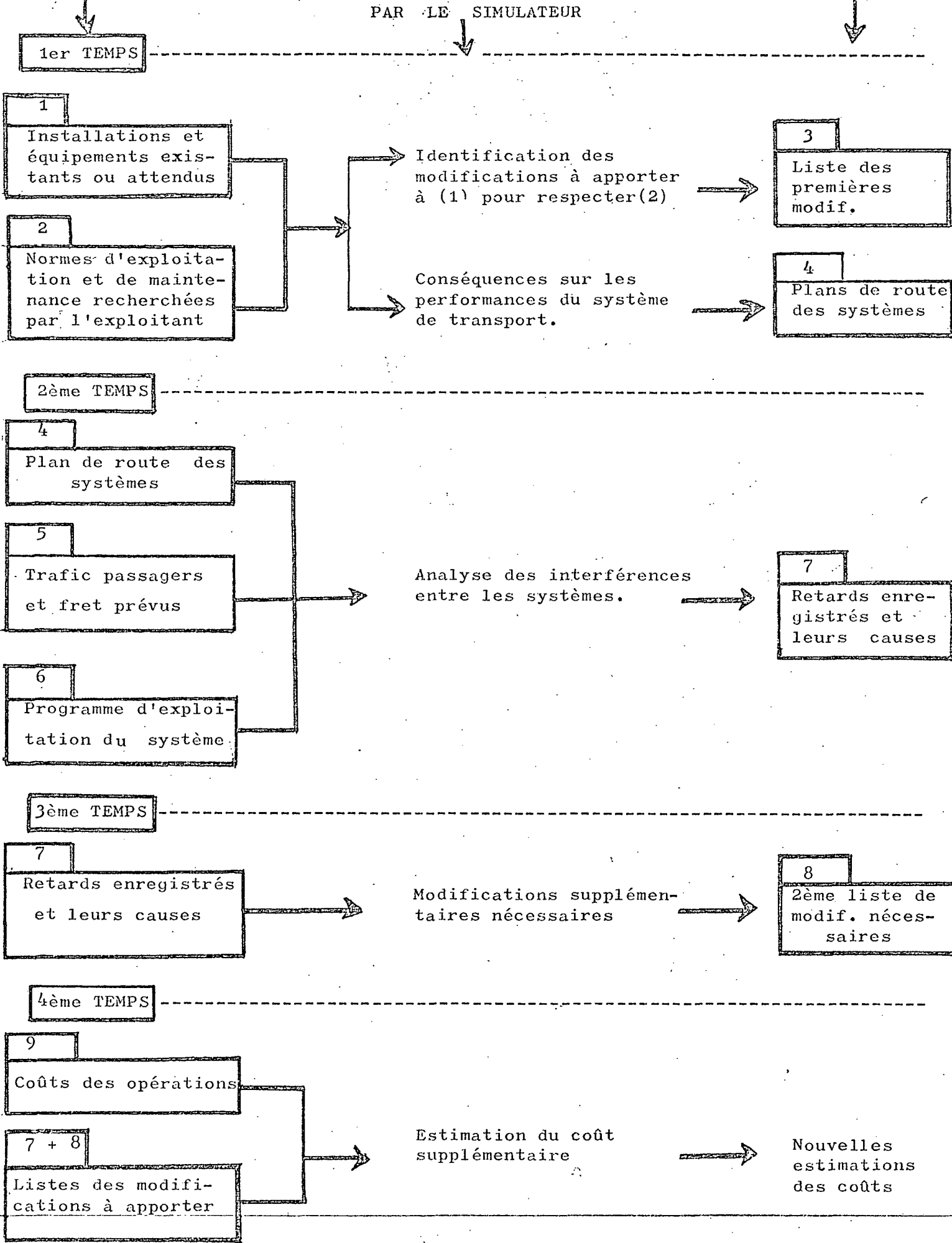
- Les performances du système sur un parcours précis (temps de passage par exemple aux différents postes d'aiguillage).

- Le phénomène de congestion du trafic à certaines heures ou en certains points de la ligne et les répercussions d'un retard sur l'exploitation.

ENTREES

OPERATIONS EFFECTUEES
PAR LE SIMULATEUR

SORTIES



4.2 UN APPORT INDIRECT DU SIMULATEUR : L'ANALYSE DES CEM ET DES FACTEURS QUI LES COMMANDENT

Ce que nous avons vu en 4.1, constitue un progrès appréciable dans la précision des estimations. Il y en a un autre qui est au moins aussi important. Le simulateur va permettre à l'exploitant de faire la part entre plusieurs types de variations des CEM.

(1) Les CEM varient parce que l'exploitant souhaite modifier les programmes et horaires d'exploitation pour une des raisons suivantes :

- il veut augmenter la fréquence des départs pour réagir à la concurrence ou pour augmenter simplement la qualité de service offerte,

- il cherche à modifier la régulation du trafic pour diminuer les temps morts ou les problèmes de congestion et de ralentissement en certains points de la ligne.

(2) Les CEM sont modifiés parce que le système est exploité dans des conditions de capacité et d'équipements à bord, différents (par exemple, modifications apportées au système de propulsion).

(3) Les CEM varient parce que des investissements supplémentaires ou des économies ont été faites sur les installations (par exemple : modifications apportées au tracé ou à l'implantation des postes d'aiguillage).

(4) Les CEM sont modifiés parce que la circulation des autres systèmes a été réaménagée et que celle du système nouveau va s'en trouver facilitée ou au contraire compliquée.

(5) Des changements sont apportés à la signalisation pour permettre une meilleure régulation et vont induire une variation des CEM.

(6) Enfin, des changements peuvent se produire dans le trafic passager ou fret dont l'exploitant tient compte dans son programme d'exploitation et qui vont faire varier les CEM du système pendant la période.

Toutes ces informations sont précieuses en elles-mêmes. Elles vont permettre d'élargir considérablement le champ d'observation du système et amener l'exploitant et la Collectivité à choisir non pas entre des résultats d'exploitation mais entre plusieurs scénarios d'exploitation. C'est seulement cette connaissance qui leur permettra de juger si oui ou non le système est viable et profitable.

3

5. L'ORGANISATION DES ETUDES D'ESTIMATION DES
COUTS

Elle s'inscrit dans l'effort d'évaluation du système et est étroitement liée aux autres études mentionnées dans la première partie du rapport.

Néanmoins, il est important de souligner quelques points critiques qui lui sont spécifiques.

- . La démarche proposée a l'ambition de faire progresser par étapes l'estimation. Cela n'est réalisable qu'à condition d'avoir un responsable unique de la coordination des travaux. Le rôle de ce coordinateur consiste essentiellement à veiller à la discussion autour des coûts. Il interviendra pour que les différents bureaux d'études travaillent sur des hypothèses explicites et s'assurera que les estimations des coûts remplissent les trois conditions présentées dans la sous-partie 1 : s'appuyer sur des conditions d'exploitation réalistes, s'inscrire dans une structure de coût à la fois générale, fine et analytique, et être compatibles entre elles.
- . Ce rôle de coordinateur ne peut être laissé ni à l'exploitant - trop indifférent au cours de la recherche et trop passionné au cours de l'exploitation - ni au constructeur, trop tenté d'être l'avocat du système. Le problème est différent lorsque l'exploitant est en même temps le maître d'oeuvre de la construction.

Nous avons dans le graphe de la page 49 représenté l'articulation des tâches spécifiques à l'estimation des CEM, et avons organisé les études en confiant à l'administration ce rôle de coordination.

- L'utilisation de fonctions d'estimation des coûts pour un système donné doit pouvoir démarrer dès la phase de recherche.
Cela suppose qu'un système d'information renseigne sur les résultats et les caractéristiques des systèmes de transport existants et qu'il soit régulièrement tenu à jour.

- L'étude sur les fonctions d'estimation des coût doit être elle-même décomposée en trois parties qui peuvent éventuellement être confiées à des organismes d'études distincts.
 - les coûts du véhicule ;
 - les coûts de l'infrastructure et des installations ;
 - les coûts des terminaux et de leurs aménagements.

- Cette même étude doit être tenue à jour tout au long du projet. L'estimation qu'elle propose sera toujours une référence précieuse même si les CEM sont connus avec précision.

- Les conditions d'exploitation doivent être définies par l'exploitant. Les différents modèles d'exploitation doivent, bien sûr, être disponibles et éprouvés avant les différentes étapes d'estimation des coûts.

- Les résultats de l'expérimentation doivent être analysés par le constructeur. Les conditions d'expérimentation peuvent, cependant, pour l'estimation des coûts, faire l'objet de recommandations de l'exploitant et de l'administration.

- L'estimation des statistiques des coûts, à partir de l'expérimentation, devrait être terminée avant la décision de lancement en série et les premières commandes.

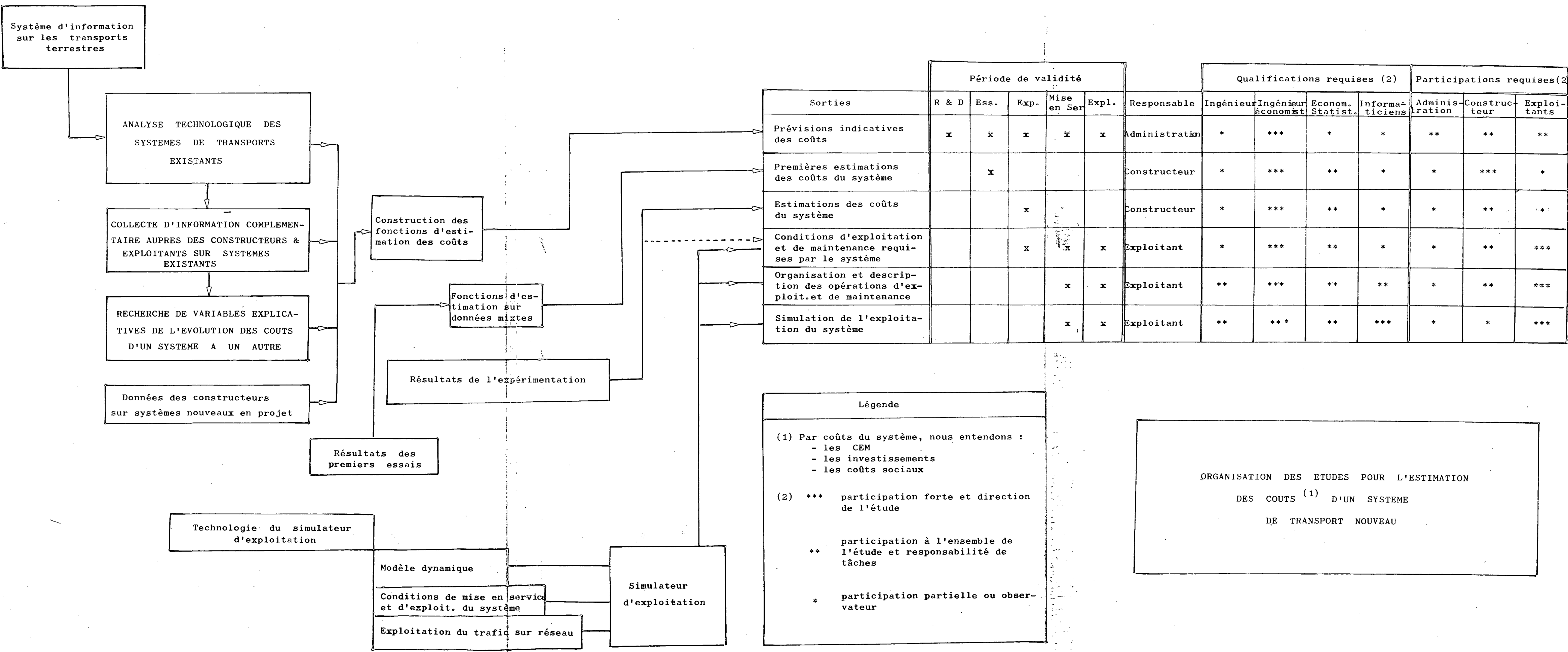
. L'élaboration du simulateur est de la compétence de l'exploitant.
Si ce simulateur existe, l'estimation des coûts gagnerait à l'utiliser dès que l'expérimentation du système est suffisamment avancée.

. Pour élaborer ce simulateur, l'exploitant a en effet besoin :

- d'un modèle de simulation des performances du système de transport en fonction des caractéristiques de parcours. Ceci est du ressort, à la fois du constructeur qui connaît le système de transport, et de l'exploitant qui connaît le parcours. La responsabilité de cette tâche peut revenir à l'un ou à l'autre. L'élaboration de ce modèle peut se faire parallèlement à l'expérimentation.

- d'un modèle de simulation d'un trafic complexe de systèmes de transport différents, ou comme c'est le cas pour l'Aérotrain, d'un trafic unimodal. Ceci ne peut être fait que par l'exploitant et l'intérêt de ce travail débordé de la seule estimation des coûts. Si un tel modèle existe et fonctionne déjà chez l'exploitant, il pourra être utilisé pour le système en expérimentation chez le constructeur, dès que le modèle précédent sera au point.

- d'un modèle de calcul des coûts relatifs à un "scénario d'exploitation et de maintenance" qui lui aussi gagne à être fait par l'exploitant, mais dont l'objet est bien centré sur l'estimation des coûts. Autrement dit, il est impérieux qu'il complète les deux premiers avant la date de décision.



A N N E X E S

ANNEXE I : Les critères d'Evaluation des Systèmes de Transport Terrestre Interurbain à Grande Vitesse, actuellement pris en compte.

ANNEXE II : Quelques exemples d'applications des fonctions d'estimation des coûts.

ANNEXE I

LES CRITERES D'EVALUATION DES
SYSTEMES DE TRANSPORT TERRESTRE INTERURBAIN A GRANDE
VITESSE, ACTUELLEMENT PRIS EN COMPTE

A - LES CRITERES D'EVALUATION DANS L'ETUDE DE L'AXE PARIS-SUD-EST

Afin de mieux situer la façon dont le problème de l'évaluation s'est trouvé posé dans cette étude et comment il a été résolu, il convient de rappeler brièvement quelle a été la démarche retenue par le groupe de travail de la Commission des Transports.

Les divers moyens d'action possibles permettant d'améliorer le système de transport sur l'axe Paris-Sud-Est d'ici à 1985 furent regroupés en un certain nombre d'ensembles homogènes dits "stratégies de transport".

L'évaluation des différentes stratégies qui a été tentée, avait pour but essentiel de fournir une description complète de la rentabilité d'un projet particulier -la ligne nouvelle TurboTRAIN proposée par la SNCF- suivant les stratégies dans lesquelles il se trouverait inséré. En théorie, il eût été évidemment préférable d'étudier les différentes stratégies de façon strictement parallèle. Dans les faits, il semble que cela ait été rendu impossible en raison principalement du manque de précision des informations sur l'AéroTRAIN et l'avion à décollage court par rapport à celles dont disposait le groupe sur le TurboTRAIN.

Ce rappel étant fait, examinons maintenant quels ont été le principe et les critères d'évaluation effectivement retenus dans cette étude.

Le principe directeur de la phase d'évaluation a consisté en la prise en considération des effets d'une stratégie sur différents groupes d'agents économiques ; plus précisément, il s'est agi de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de chaque stratégie considérée, sur les divers agents économiques concernés par le transport

des voyageurs sur l'axe Paris-Sud-Est.

Pour juger de la rentabilité du projet TurboTRAIN de la SNCF deux niveaux d'appréciation ont été pris en compte :

- . rentabilité du projet pour la SNCF elle-même,
- . effets économiques de l'investissement projeté sur certains groupes sociaux.

Ces deux aspects devaient conduire à la détermination d'un critère global d'évaluation : la rentabilité du projet pour la collectivité. Mais auparavant un problème était posé, à savoir, quels critères utiliser pour mesurer pour chaque agent les effets d'une stratégie, en l'occurrence la construction d'une ligne nouvelle TurboTRAIN.

1. RENTABILITE DU PROJET POUR LA SNCF ELLE-MEME

L'évaluation, c'est-à-dire l'établissement des conséquences de ce projet d'investissement pour l'agent économique SNCF, s'est appuyée sur des critères classiques du calcul économique :

- . bilan financier,
- . calcul des bénéfices actualisés (bruts et nets),
- . rentabilité interne du projet.

L'obtention de la rentabilité interne du projet passe par plusieurs phases.

1.1. ETABLISSEMENT DU CALCUL DU BENEFICE DE LA SNCF

1.1.1. ANALYSE DES COÛTS

- . Calcul des coûts d'exploitation puis des coûts d'exploitation au voyageur-km.
- . Calcul des charges d'infrastructure.

1.1.2. RECETTES DE LA SNCF. Elles sont basées sur quatre éléments :

- . La perception moyenne sans supplément calculée par voyageur-km,
- . Les suppléments par classe applicables à des sous-ensembles de la demande,

- Le supplément moyen jour + nuit, qui a été retenu pour déterminer le niveau tarifaire et les recettes liées à la desserte par turbotrain dans l'hypothèse de stabilité des prix,
- Le produit de l'article 20 bis.

1.2. "RESULTATS" FINANCIERS POUR LA SNCF

1.2.1. RESULTATS D'EXPLOITATION

Les bénéfices bruts d'exploitation liés à la ligne nouvelle ont été obtenus comme somme de deux éléments :

- le bénéfice lié au trafic nouveau, calculé à partir de la différence "recettes-coûts" correspondante, sous trois hypothèses tarifaires.
- le bénéfice lié au trafic reporté, aussi calculé sous les trois hypothèses de tarif.

1.2.2. BILAN FINANCIER

Le bilan de la première année a été établi en comparant :

- le bénéfice brut de la lère année
- aux charges financières d'intérêt et d'amortissement du capital.

1.2.3. Les bénéfices bruts courants ont été calculés pour chaque année, ce qui a permis de déterminer à quelle date le solde financier devenait positif. Mais pour analyser de façon plus fine la rentabilité du projet, plus que l'évolution des bénéfices bruts courants, c'est le critère de l'actualisation des bénéfices bruts qui a été pris en compte.

En effet, la comparaison entre les bénéfices bruts actualisés et les charges d'infrastructure actualisées permet d'obtenir la durée d'amortissement de la ligne nouvelle.

1.2.4. BENEFICE NET ACTUALISE

Le critère du bénéfice net actualisé a été calculé en retranchant du bénéfice brut actualisé :

- . les charges liées aux investissements non renouvelables,
- . les charges fixes d'entretien et de renouvellement actualisées,
- . la somme actualisée des marges de sécurité annuelles,
- . la charge liée au décalage des programmes d'investissement en matériel, correspondant à la libération du matériel classique due à l'introduction du Turbo train.

1.2.5. TAUX DE RENTABILITE INTERNE POUR LA SNCF

Ce taux correspond au taux d'actualisation qui annule le bénéfice net actualisé de la SNCF.

2. EVALUATION DES EFFETS SUR LES AUTRES AGENTS ECONOMIQUES

L'évaluation des effets économiques propre à l'investissement considéré, aurait pu aboutir à l'établissement d'un tableau d'avantages-inconvénients très détaillé. Mais, par suite de certaines limites méthodologiques, notamment le problème de la quantification, une étude plus modeste des effets de la mise en service du TurboTRAIN a été menée.

Deux types d'effets furent distingués : les effets liés directs c'est-à-dire les "effets" sur les usagers, et les effets liés indirects touchant théoriquement une catégorie assez vaste, mais limitée volontairement dans cette étude aux conséquences du choix du mode ferroviaire sur les autres modes de transport.

2.1. EFFETS SUR LES USAGERS

Ici encore, le critère d'évaluation utilisé est classique, puisqu'il s'agit du surplus des usagers égale à la différence entre le prix du temps gagné et l'augmentation du tarif des transports (quand on passe par exemple du train classique au TurboTRAIN).

La prise en compte du surplus des usagers se fait à partir de la variation de leur coût généralisé lorsque l'on passe d'une stratégie à une autre. Plus exactement, le passage d'une stratégie de transport à une autre a des répercussions sur deux types d'éléments du coût généralisé :

- éléments strictement monétaires du coût généralisé,
- éléments liés à la qualité de service et valorisés à posteriori.

2.1.1. En ce qui concerne les éléments monétaires, les réductions (ou l'augmentation) des dépenses pour certains usagers lorsqu'on passe d'une stratégie à une autre sont comptabilisées. C'est ainsi que, pour les usagers détournés de l'avion au profit du TurboTRAIN, il devrait y avoir diminution du prix qu'ils auront à payer.

2.1.2. Quant aux éléments liés à la qualité de service, seuls dans l'étude Paris-Sud-Est ont été valorisés les gains ou les pertes de temps de trajet correspondant au passage d'un mode de transport à l'autre, pour différents groupes constitutifs de la demande. Par contre, la fréquence par exemple a été négligée.

. Estimation des gains de temps : La démarche utilisée se schématise de la façon suivante :

- Regroupement des liaisons en trois classes correspondant aux liaisons avec concurrence Air-Fer, à celles sans concurrence Air-Fer et enfin à celles dites de transfert par Paris.
- Décomposition de la demande en quatre groupes constitutifs : trafic détourné de l'avion, trafic induit sur la part "détourné avion", trafic reporté 1ère classe, 2ème classe, enfin trafic induit sur la part "train classique".

Pour ces groupes de liaison et ces éléments de la demande, la perte ou le gain global de temps a été estimé en fonction des temps de parcours comparatifs entre l'Air, le fer classique et le TurboTRAIN.

. Valorisation : détermination des valeurs du temps : Plutôt que d'utiliser les "valeurs du temps" servant aux modèles de répartition de la demande, et qui reflètent plus le comportement des voyageurs qu'ils ne recouvrent la notion réelle de valeur, il a semblé préférable au groupe de travail de déterminer ces valeurs du temps sur la base d'analyses de distributions de revenus des usagers pour les différents modes de transport.

C'est ainsi que furent retenues les trois valeurs suivantes :

- . usagers fer 2ème classe : 8 F
- . usagers fer 1ère classe : 20 F
- . usagers détournés de l'avion : 25 F

2.2. CONSEQUENCES DE LA CREATION D'UNE LIGNE NOUVELLE TURBOTRAIN SUR LES RESULTATS D'EXPLOITATION DES COMPAGNIES DONT L'ACTIVITE EST LIEE AUX AUTRES MODES DE TRANSPORT

2.2.1. L'existence d'une ligne nouvelle Turbotrain va avoir comme conséquence d'attirer une part du trafic qui allait initialement à l'avion et à la route.

- . Pour AIR INTER, ce phénomène va entraîner des pertes. Le critère d'évaluation de ces pertes a été la diminution du bénéfice due à la diminution du trafic. Concrètement, le bénéfice unitaire (lié à un passager) a été calculé puis multiplié par la diminution du nombre de voyageurs.
- . Pour les Aéroports : Deux cas ont été distingués : pour l'Aéroport de Paris où la part du trafic international est prépondérante, les moins values ont été considérées comme nulles. Pour les autres aéroports concernés, il a été considéré qu'il y aurait un manque à gagner constitué des moins values de recettes aéronautiques (atterrissage, balisage) et recettes commerciales (passagers). Le critère final d'évaluation utilisé a été la valeur actualisée de ces manques à gagner.

2.2.2. INCIDENCES SUR LE PRODUIT DE LA TVA :

Cette nouvelle répartition du trafic évoquée précédemment va entraîner aussi une variation du montant des taxes perçues par l'Etat. Cet aspect de la question a été analysé au travers d'un résultat net actualisé résultant de la confrontation entre, d'une part la valeur actualisée des Pertes de TVA due au trafic prélevé sur le mode aérien, d'autre part la valeur actualisée des gains de TVA correspondant aux recettes supplémentaires de la SNCF.

2.2.3. INCIDENCE SUR LES VERSEMENTS DE L'ETAT AU TITRE DE L'ARTICLE 20 BIS DE LA CONVENTION ETAT/SNCF.

Ceci correspond à la subvention que verse l'Etat pour ramener le bénéfice brut de la SNCF au niveau qu'il aurait s'il n'y avait pas de tarifs réduits imposés. En fonction de l'évolution du trafic ferroviaire, il a donc été calculé la charge actualisée supplémentaire que cette convention entraîne pour l'Etat.

2.3. LES REDUCTIONS D'INVESTISSEMENTS DES MODES CONCURRENTS.

L'apparition du TurboTRAIN et la diminution correspondante du trafic aérien en 1976 va avoir pour conséquence de reporter certains investissements en capacité d'infrastructure, ce qui se traduira par une diminution des charges afférentes à ces investissements (du fait de l'éloignement dans le temps).

C'est ainsi que dans le cas de ROISSY, il a été estimé qu'une réduction du trafic intérieur devrait permettre une réduction des investissements sur la gare, la voirie, l'aire de manoeuvres et les moyens généraux.

Le critère d'évaluation utilisé a été le coût marginal de développement par passage annuel calculé pour chacun des quatre postes en fonction du trafic détourné de l'avion en 1976. L'économie d'investissement réalisée de cette façon en 1976 a été actualisée.

CONCLUSION

Le choix d'un mode de transport a des implications évidentes sur les répartitions de trafic entre modes et sur les inductions respectives de trafic pour tel ou tel mode. Les effets découlant de ces implications ont été, dans le cas de l'étude Paris-Sud-Est, évalués à l'aide de certains critères qui se trouvent récapitulés ci-dessous :

	Année 1976	Surplus actualisé
- Surplus de la SNCF		
- Surplus des usagers		
- Résultat net en TVA		
- Article 20 bis		
- Pertes pour Air Inter		
- Pertes pour les Autoroutes		
- Manque à gagner des Aéroports		
- Réduction d'investissements		
- Charges fixes		

La somme algébrique de ces éléments a conduit à la mesure du surplus (brut et net) de la collectivité (en 1976 et actualisé) et enfin au calcul d'un Taux de Rentabilité interne pour la collectivité.

B - LES CRITERES D'EVALUATION DU MODELE TECHNICO-ECONOMIQUE
DE L'AEROTRAIN

Les seuls éléments dont nous ayons disposé pour pouvoir analyser les critères d'évaluation retenus pour le système Aérotrain, se trouvaient regroupés dans le Modèle Technico-économique de l'Aérotrain.

Ce modèle est destiné à dégager un ordre de grandeur des coûts et de leur variation en fonction d'un certain nombre de paramètres retenus. Mais il doit aussi permettre de déterminer les dimensions optimales de la voie et du véhicule ainsi que de la hauteur de vol et de la vitesse, dans l'hypothèse d'un trafic paramétré mais constant.

Tel qu'il est actuellement, ce modèle peut être utilisé pour faire toute étude d'une ligne particulière reliant deux points et des études générales de dimensionnement et de sensibilité à divers paramètres.

1. LA DEMARCHE

D'une façon générale, le critère d'évaluation retenu dans le modèle, consiste à confronter un service rendu (fréquence et vitesse) au coût correspondant à ce service.

Le premier élément qui pourrait constituer en quelque sorte un "Actif" est supposé englober la notion de qualité de service. La qualité de service doit recouvrir aussi bien les éléments spatiaux qualitatifs du confort que les garanties du service (problème des pannes) et ils sont pris comme paramètres du modèle. Cependant ces éléments ne permettent pas d'analyser l'intérêt pour la collectivité d'un projet particulier ; ils demanderaient pour cela à être complétés de façon qu'un bilan coût-avantage puisse être établi.

2. L'EVALUATION PROPREMENT DITE

L'évaluation de l'Aérotrain est dans le modèle technico-économique essentiellement basée sur la détermination des valeurs optimales des caractéristiques du système, pour la meilleure satisfaction de la demande. Mais rappelons que le modèle n'est pas un modèle optimisant ; il fournit à chaque passage un point et c'est par simulation que l'on peut s'approcher des valeurs "optimales".

2.1. LES VARIABLES INDEPENDANTES DU MODELE A "OPTIMISER" SONT :

- . La capacité du véhicule dépendant de deux paramètres : le nombre de sièges à pas constant et le nombre de sièges par rangée. Le modèle permet d'optimiser le couple longueur-largeur, mais du fait de la contrainte de longueur liée au rayon minimum des courbes en zone urbaine, seule la largeur a pu être optimisée.

- . La vitesse de croisière qui a été prise comme variant par pas de 10 m/s entre 50 m/s et 90 m/s.

2.2. LA FONCTION D'OPTIMISATION EST LE COUT GENERALISE DU TRANSPORT, SOMME DE DEUX ELEMENTS :

- . Le coût proprement dit (charges de capital pour infrastructure et matériel et coûts d'exploitation).

- . Les temps passés dans le système par les usagers, c'est-à-dire la durée du trajet plus les temps d'attente. Ces temps ont été valorisés à un niveau moyen pris comme paramètre indépendamment du trafic : le temps moyen d'attente et le temps de parcours sont valorisés au même coût horaire et les valeurs retenues sont de 5, 10, 20 et 40 francs/heure.

Notons que le confort dimensionnel n'a pas été valorisé ce qui n'en a pas permis l'optimisation. L'espace offert a donc été pris comme une donnée paramétrable, ainsi que les limites admissibles pour l'accélération et la déccélération.

Le critère d'optimisation retenu a donc consisté à rechercher le minimum du coût généralisé ainsi défini.

2.3. LES PARAMETRES PRINCIPAUX DE L'EVALUATION

2.3.1. Les paramètres principaux pris en compte sont : la distance, le taux d'actualisation, les singularités de parcours, les temps moyens entre pannes.

A cette liste, il convient d'ajouter des paramètres techniques : le poids par siège, le potentiel des turbines entre révision générale, les coefficients de calcul des frais généraux, le rendement de propulsion.

2.3.2. Du côté de la demande, le trafic a été paramétré ; il n'est pas lié par une élasticité aux variables caractéristiques de l'offre telles que la fréquence, la vitesse, le confort ou les coûts. L'intervalle de variation étudié (de 100 à 1 000 voyageurs par heure en moyenne) rend possible l'analyse de la sensibilité du coût par rapport au trafic moyen.

2.4. "L'OPTIMISATION"

2.4.1. Pour un véhicule de vitesse donnée, l'optimum de capacité est déterminé par un bilan coût-avantage.

Dans ce bilan, le seul avantage est celui de l'attente plus ou moins longue du voyageur aux terminaux départ, inversement proportionnel à la fréquence des départs. L'attente moyenne est prise égale au $\frac{1}{2}$ intervalle entre deux départs successifs. Sa variation est quasi linéaire avec la largeur du véhicule.

Le coût comporte plusieurs éléments liés à la capacité du véhicule (ou plus exactement à la largeur puisque l'on n'examine pas l'optimum en longueur) :

- le coût de la voie qui croît avec la largeur du véhicule suivant une certaine loi.
- le coût des terminaux croissant avec la largeur et avec l'importance du parc, qui présente un minimum en fonction de la largeur.
- le coût du combustible et de l'entretien, croissant quasi linéairement avec la largeur.

2.4.2. Comme l'optimum de capacité, l'optimum de vitesse dépend des hypothèses faites sur les variations des éléments de coût.

Dans le cas de la propulsion par hélice carénée, l'augmentation de la vitesse se traduit par les augmentations suivantes : consommation de carburant, poids et puissance du véhicule, coût d'entretien, coût

du véhicule lié à la puissance (transmission, turbine, hélice, carénage, etc...), coûts de la voie. Par contre, elle conduit à une diminution du coût du personnel de conduite et d'accompagnement.

La sensibilité de l'optimum de vitesse et de la capacité aux normes de confort spatial n'a pas été étudiée, bien que la conception du modèle permette de le faire ultérieurement.

3. LES RESULTATS DE L'EVALUATION

Les tableaux de résultats donnent en fonction des paramètres principaux :

- . le nombre de véhicules du parc
- . la structure du coût par voyageur-km à savoir l'infrastructure : charges de capital, entretien, combustible, personnel et la valeur du temps.

La précision s'est avérée suffisante pour fixer l'ordre de grandeur des coûts ; mais si elle n'a pas toujours permis d'effectuer une étude de sensibilité aux différents paramètres, du moins, a-t-elle permis de dégager des paramètres importants.

Pratiquement, il a été établi un poids moyen (défini sur la base de la ligne Paris-Orléans) correspondant à un certain nombre de conditions ; c'est ainsi que le trafic de 300 passagers/heure et par sens sur 18 heures d'exploitation par jour durant 365 jours par an a été retenu, le trafic symétrique, le coefficient de remplissage de 0,82 (correspondant à l'exploitation du type Shuttle), la vitesse de croisière de 250 km/heure, la capacité de 80 places, la distance de référence de 120 km, les charges de capital calculées suivant la méthode des annuités constantes au taux de 8 %, coûts pris hors TVA.

Les variations des coûts en fonction des paramètres du modèle ont été examinées en ne faisant varier qu'un seul de ces paramètres par rapport à la valeur du point moyen. Ainsi ont été prises en compte :

- . les variations avec la distance,
- . les variations avec le volume du trafic.

- . les variations avec la largeur du véhicule,
- . les variations avec le confort dimensionnel (1)
- . le coefficient d'occupation : pris fixe à 0,82
- . la variation avec l'optimum de capacité-fréquence
- . la variation avec la vitesse : pour servir à définir un optimum de vitesse dans le cas des conditions du point moyen.
- . la variation du taux d'actualisation.

CONCLUSION

Il convient de noter l'importante marge d'incertitude qui entâche l'évaluation de l'Aérotrain ainsi réalisée.

C'est ainsi que les éléments constitutifs du critère "coût généralisé" comportent des aléas non négligeables, notamment en ce qui concerne les temps de trajets, les temps de stationnement (ces durées retenues paraissent quelque peu optimistes), les problèmes d'entretien mal connus et enfin les principes d'exploitation où un seul type d'exploitation est considéré terminal à terminal.

(1) L'amélioration du confort dimensionnel consisterait, toutes choses égales d'ailleurs, à diminuer la capacité du véhicule à dimension extérieure donnée.

En particulier, la valeur du temps des passagers est restée constante indépendamment du confort dimensionnel, bien qu'il existe une liaison entre ces deux paramètres.

ANNEXE II

QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS
DES FONCTIONS D'ESTIMATION DES COÛTS

Quelques exemples de fonctions d'estimation des coûts telles qu'elles ont été développées aux Etats-Unis pour le projet du Corridor Nord-Est sont présentées dans cette annexe.

1. L'estimation des coûts d'exploitation indirects (CEI).
2. L'appréciation des besoins en terminaux et des aménagements nécessaires.
3. L'estimation du coût des sols.

D'autres exemples ont été pris directement à l'aéronautique et portent sur :

- Le prix de vente des Turboréacteurs à simple flux et double flux.
- Les frais de développement d'un Turboréacteur civil.

1. L'ESTIMATION DES COUTS D'EXPLOITATION INDIRECTS

Dans le tableau de la page 2 nous avons représenté les éléments composant ces coûts.

Au cours de l'estimation, il est apparu que l'on dispose de deux sources d'informations :

- les résultats enregistrés sur les chemins de fer traditionnels et qui étaient applicables aux transports terrestres de vitesse comparable.

- les données du transport aérien qui elles se révélaient plus proches des transports terrestres à grande vitesse.

Les deux sources d'informations ont été exploitées.

1.1. CHEMINS DE FER EXISTANTS

13 zones d'exploitation ont été choisies parce que représentatives des différences géographiques. Pour ces 13 zones, cinq variables explicatives des coûts d'exploitation indirects ont été retenues :

- le nombre total de voitures x Km.
- le nombre total de tonnes x Km.
- le nombre d'heures d'exploitation des trains.
- le nombre total de passagers transportés.
- le nombre de passagers-Km.

En procédant à des régressions séparément sur chacune des variables explicites, on a obtenu des fonctions d'estimation des coûts indirects pour le type de système de transport terrestre considéré.

On trouvera dans les pages suivantes :

- les informations qui étaient disponibles. (p. 3)
- les résultats des régressions. (p.4)

LES COUTS INDIRECTS ET LES VARIABLES EXPLICATIVES

Sample Railroads réseaux	Y COUTS INDIRECTS	Variables explicatives				
		X ₁ Nbre total de voitures x miles (000)	X ₂ Tonnes miles (000.000)	X ₃ Nbre d'heures d'exploitation	X ₄ Nbre de pas- sagers trans- portés (000)	X ₅ Nbre de pas- sagers miles (000)
Pennsylvania	65.763.319	160.189	11.187	412.564	41.353	1.757.164
New York Central	38.757.018	114.760	7.139	311.338	24.664	939.378
New York, New Haven and Hartford	22.154.492	32.511	2.578	158.917	23.939	953.576
Baltimore & Ohio	10.521.787	26.808	1.954	91.197	1.415	204.802
Chesapeake & Ohio	9.614.370	21.103	1.329	58.532	624	136.217
Central Railroad of New Jersey	3.414.546	4.843	294	30.824	5.540	110.916
Boston & Maine	3.277.573	32	182	46.212	5.745	96.106
Richmond, Frederick and Potomac	3.002.348	3.387	720	16.719	1.231	128.485
Delaware and Hudson	604.722	1.967	137	6.927	180	32.400
Penn-Reading	529.777	222	32	7.477	227	9.613
Canadian Pacific in Maine	332.978	1.081	86	4.067	35	6.831

FONCTIONS D'ESTIMATION DES COUTS INDIRECTS POUR LES TRAINS

VOYAGEURS DU CORRIDOR NORD-EST
(en milliers de dollars)

Variable (X) de performance	Fonctions	Ecart Type	Ecart type ramené à la moyenne	Coefficient de corrélation
Nombre total de voitures x miles X_1	$Y = 1126,3 + 0,334 (X_1)$	3.135	25,5	0,98
Tonnes miles X_2	$Y = 571,6 + 5,02 (X_2)$	2.400	19,5	0,99
Nombre d'heures d'exploitation X_3	$Y = 1321,8 + 131,3 (X_3)$	2.619	21,3	0,99
Nombre de passagers transportés X_4	$Y = 399,4 + 1,24 (X_4)$	5.566	45,3	0,95
Nombre de passagers miles X_5	$Y = 94,1 + 0,031 (X_5)$	4.478	36,4	0,97

1.2. ESTIMATION DES COUTS INDIRECTS D'EXPLOITATION POUR LES TRANSPORTS TERRESTRES A GRANDE VITESSE

La méthodologie a consisté à transposer les formules de base utilisées dans l'industrie aéronautique et couvrant l'ensemble des catégories de service.

Trois niveaux de service ont été considérés :

- Niveau 1 : service minimum
- Niveau 2 : service intermédiaire
- Niveau 3 : service du type avion

Deux ensembles ont été pris en compte :

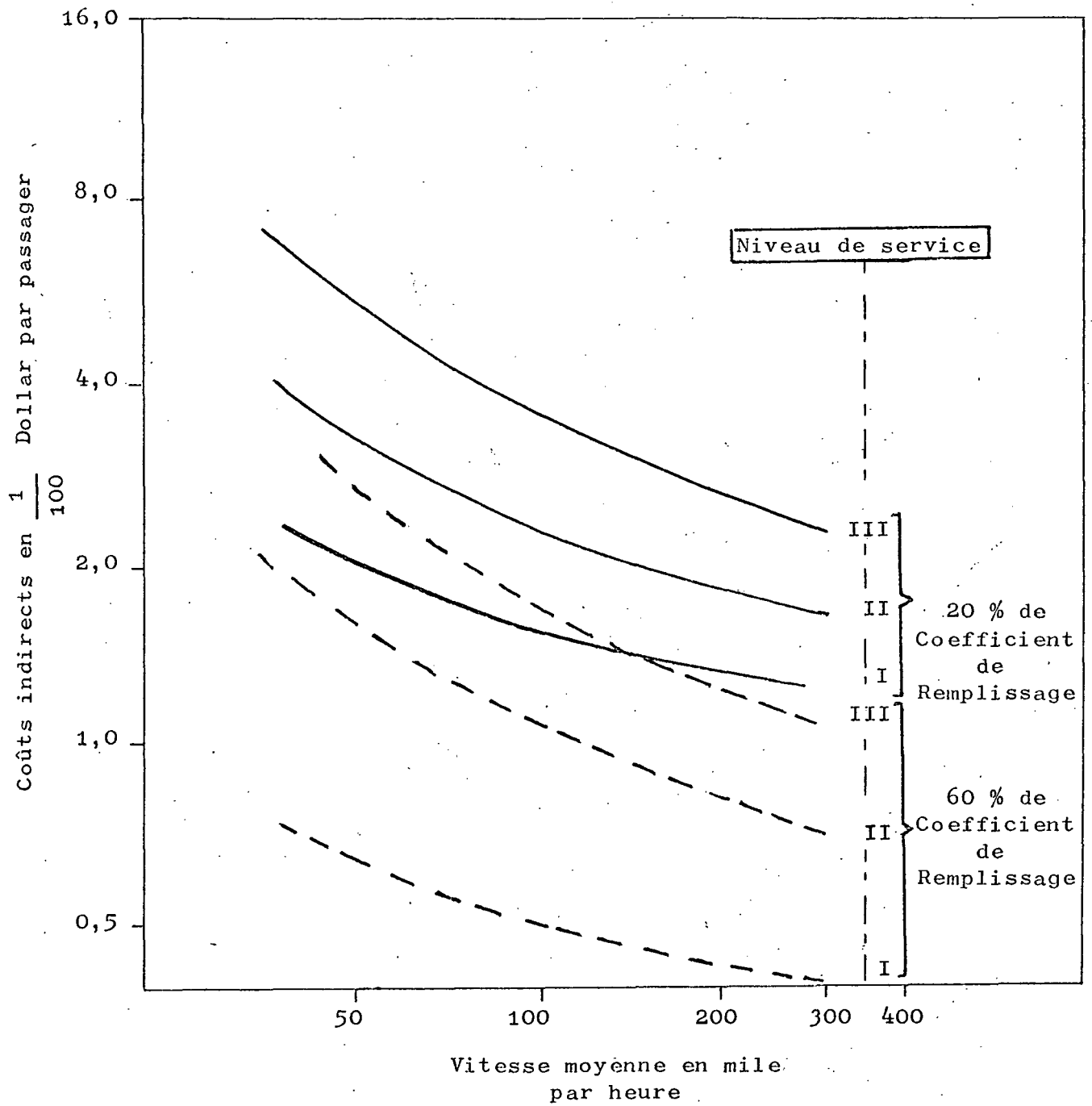
- le coefficient moyen de remplissage
- la vitesse

Le tableau de la page 6 et les courbes de la page 7 décrivent les résultats observés et qui serviront de base pour l'estimation des coûts indirects pour les transports terrestres à grande vitesse.

COUTS INDIRECTS POUR TROIS NIVEAUX DE SERVICE EN FONCTION
DE LA VITESSE ET DU COEFFICIENT DE REMPLISSAGE

(1 Dollar par passager x mile)
100

	Vitesse (mile par heure)	COEFFICIENTS DE REMPLISSAGE									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
NIVEAU I	50	7,03	3,52	2,34	1,76	1,19	1,17	1,00	0,88	0,78	0,70
	100	4,92	2,46	1,64	1,23	0,98	0,82	0,70	0,62	0,55	0,49
	150	4,23	2,11	1,41	1,05	0,84	0,70	0,60	0,53	0,47	0,42
	200	3,86	1,93	1,29	0,96	0,77	0,64	0,55	0,48	0,43	0,39
	250	3,65	1,82	1,22	0,91	0,73	0,61	0,52	0,46	0,41	0,37
	300	3,54	1,75	1,17	0,87	0,70	0,58	0,50	0,44	0,39	0,35
	350	3,42	1,71	1,14	0,85	0,68	0,57	0,49	0,43	0,38	0,34
NIVEAU II	50	9,97	5,75	4,35	3,64	3,22	2,93	2,73	2,60	2,46	2,37
	100	6,50	3,68	2,74	2,27	1,98	1,79	1,67	1,57	1,49	1,42
	150	5,38	3,02	2,24	1,84	1,61	1,44	1,34	1,25	1,19	1,13
	200	4,75	2,64	1,93	1,58	1,37	1,23	1,13	1,05	1,00	0,95
	250	4,40	2,43	1,78	1,45	1,25	1,12	1,03	0,96	0,90	0,86
	300	4,15	2,28	1,66	1,35	1,17	1,04	0,95	0,88	0,83	0,79
	350	4,02	2,21	1,60	1,30	1,12	1,00	0,91	0,84	0,80	0,75
NIVEAU III	50	16,90	9,30	6,75	5,47	4,72	4,21	3,85	3,58	3,37	3,19
	100	10,59	5,83	4,19	3,39	2,92	2,60	2,37	2,20	2,07	1,97
	150	8,48	4,65	3,37	2,74	2,35	2,09	1,91	1,77	1,66	1,58
	200	7,38	4,02	2,92	2,35	2,02	1,80	1,63	1,52	1,42	1,35
	250	6,75	3,68	2,66	2,14	1,84	1,63	1,49	1,38	1,29	1,23
	300	6,31	3,44	2,48	2,00	1,72	1,52	1,39	1,28	1,20	1,14
	350	6,07	3,30	2,38	1,92	1,64	1,46	1,32	1,23	1,15	1,11



FONCTIONS D'ESTIMATION DES COUTS INDIRECTS

2. LES BESOINS EN TERMINAUX

Deux indices ont été utilisés :

- la pointe horaire de trafic comme indice du volume maximum de services que le terminal doit fournir.

- le nombre de m^2 pour représenter la capacité potentielle d'une aire de services.

En recherchant une liaison entre ces deux variables pour les 18 aéroports américains existants, on a obtenu des fonctions d'estimation des besoins en terminaux. A partir d'un coût au m^2 suivant l'aire de service considéré, ces fonctions pourront être transformées en fonctions d'estimation des coûts.

On trouvera dans les pages suivantes :

- les informations disponibles ; (p.9)
- les résultats des régressions effectués ; (p.10)
- les courbes représentant les fonctions d'estimation des besoins en terminaux.

DONNES SUR TERMINAUX AEROPORTS

A E R O P O R T S	Nbre annuel passager en mil- liers.	Pointe ho- raire	AIRES RESERVEES AUX OPERATIONS			AIRES CONCEDEES		Aires Publiques	Aire occupée par ser- vitude & équipé- ments	Aire réservée à l' adminis- tration	Total de la surfa- ce utilisée
			Total	ticket	bagages	total	service restauration				
Los Angeles, California	9.094	3.797	485.582	18.335	174.707	54.196a	-- b	487.926	106.254	50.688	1.184.646
Houston, Texas	4.473c,e	1.891	253.623	5.920	83.699	74.129	30.357	221.574	68.084	35.728a	653.138
Montreal, Quebec	3.933	1.668	209.524	5.081	31.038	70.621	43.875	148.539	92.658	50.477	571.819
Toronto, Ontario	3.500	1.490	198.539	3.917	39.207	44.226	31.500	187.000	52.832	30.000a	510.597
Atlanta, Georgia	3.568	1.518	186.974	-- b	45.000	46.875	38.800	163.585	60.920	17.426	475.780
Vancouver, B.C	2.354c,e	1.017	141.611	-- b	32.741	20.325	-- d	70.970	26.818	10.776	270.505
Dallas, Texas	3.059	1.308	85.925	-- d	-- d	45.594	-- d	267.783	47.763	11.768a	458.788
Cleveland Ohio	2.299	994	50.877	-- d	-- d	40.500	-- d	79.206	40.000	14.959	225.542
Philadelphia, Pennsylvania	2.432	1.094	87.853	3.722	22.286	43.622	30.122	122.482	41.835	10.819	306.611
Cincinnati, Ohio	1.083	493	16.465	1.715	5.260	35.035	25.950	23.	12.175	14.795	102.350
St Louis, Missouri	1.998	870	25.665	2.367	8.871	35.631	-- d	116.480	30.623	12.563a	220.982
Oakland, California	800	376	30.578	-- d	-- d	33.756	-- d	50.500	7.035	10.885	132.748
Ottawa, Ontario	833e	389	31.621	-- d	-- d	20.700	-- d	40.631	17.780	21.000	131.132
Halifax, N.S.	525e	262	16.786	1.192	9.852	12.625	9.876	45.442	15.603	11.671	102.126
Hartford, Connecticut	500	252	17.746	1.456	11.506	19.685	-- d	15.000	8.850	10.961	72.242
Calgary, Alberta	375	201	16.005	1.168	-- d	12.708	11.528	23.452	2.400	12.280	66.845
Quebec, Quebec	158	111	5.310	-- d	-- d	3.000	-- d	9.523	2.449	4.430	24.710
Miami, Florida	5.078	2.141	170.024	-- d	-- d	93.613	33.613	485.317	56.900	46.541a	852.395

a/ Estimés et non utilisés dans l'analyse

d/ Données non disponibles

b/ Données non homogènes avec d'autres aéroports et non utilisé dans l'analyse

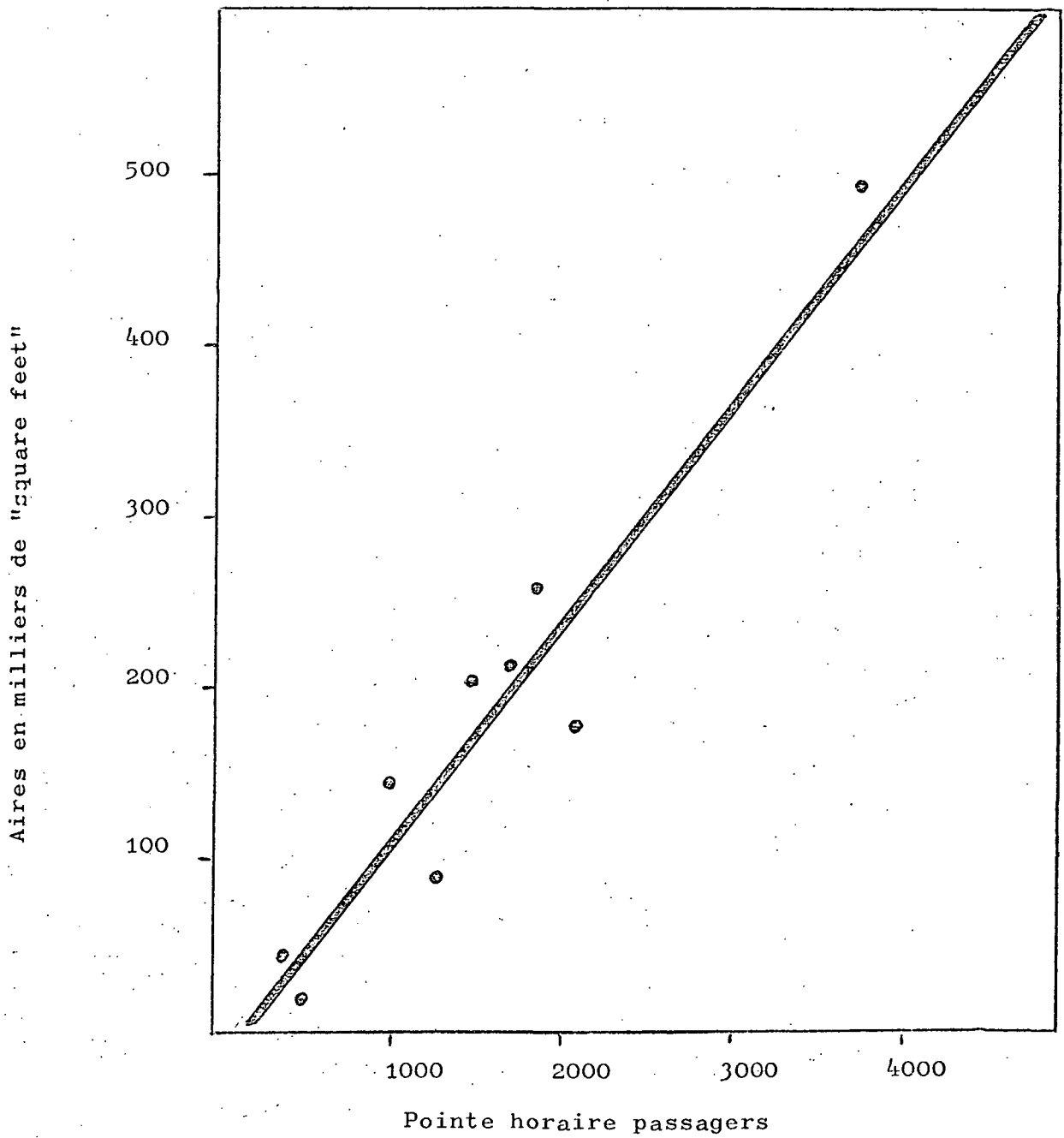
e/ Nombre de passagers (prévision)

c/ Nouvel aéroport

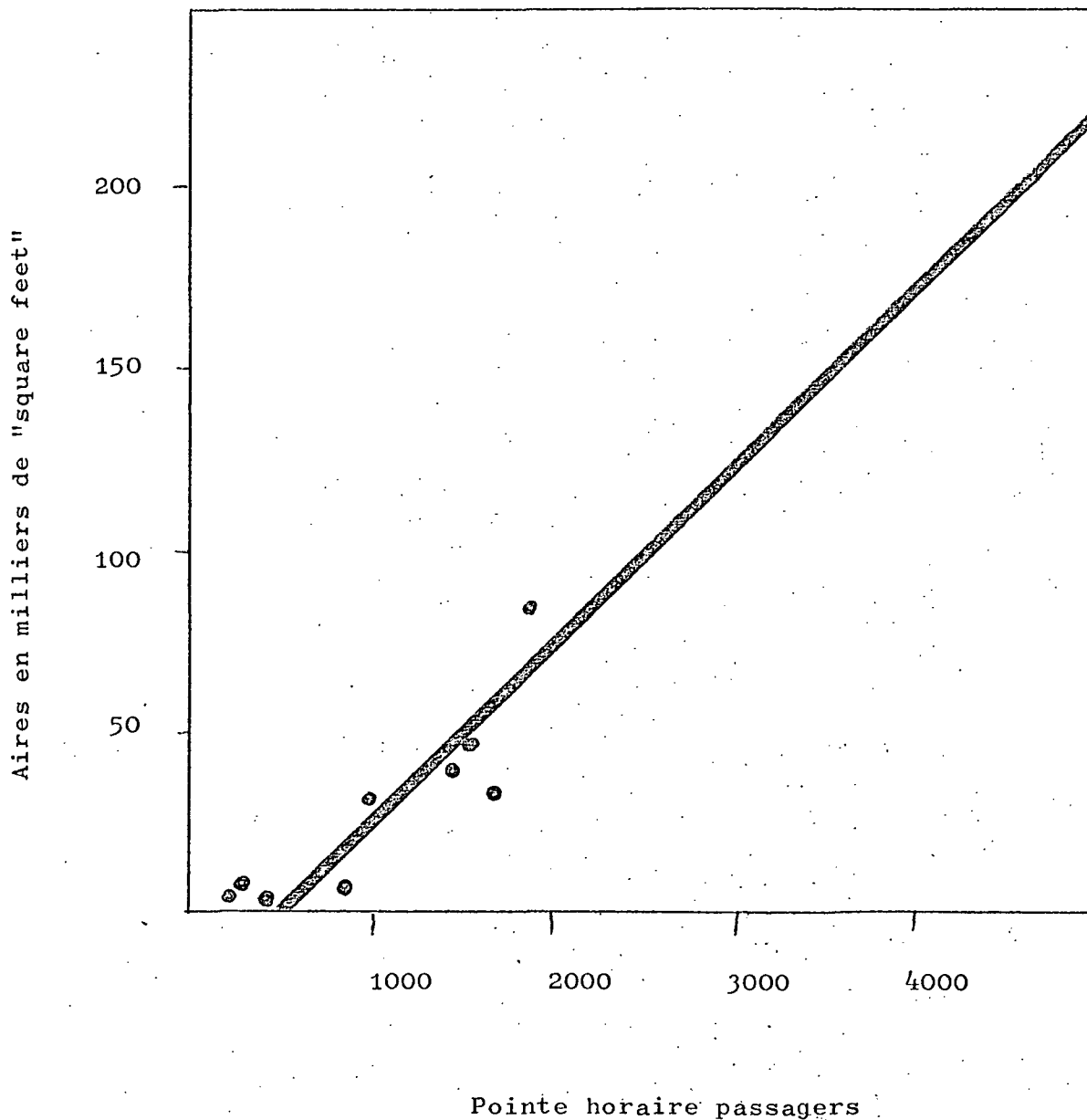
TABLEAU DE FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES DES TERMINAUX

AIRES	RELATION	COEFFICIENT DE CORRELATION	ECART TYPE	ECART TYPE RAMENE A LA MOYENNE
TOTAL	T1 = -16.000 + 335,2 X	0,984	56.845	18,2
OPERATIONS	T2 = -29.000 + 128,6 X	0,956	37.393	33,1
Billets	T2a= -900 + 4,5 X	0,962	1.484	33,1
Bagages	T2b= -19.000 + 47,1 X	0,952	15.964	37,8
CONCESSIONS	T3 = 6.000 + 34,0 X	0,917	9.856	25,7
Restauration	T3a= 13.000 + 12,7 X	0,814	7.029	24,7
PUBLIQUE	T4 = -16.000 + 143,9 X	0,906	63.604	44,7
SERVITUDES & EQUIPEMENTS	T5 = 4.000 + 30,8 X	0,925	11.971	31,1
ADMINISTRATION	T6 = 5.000 + 11,3 X	0,959	4.434	23,8

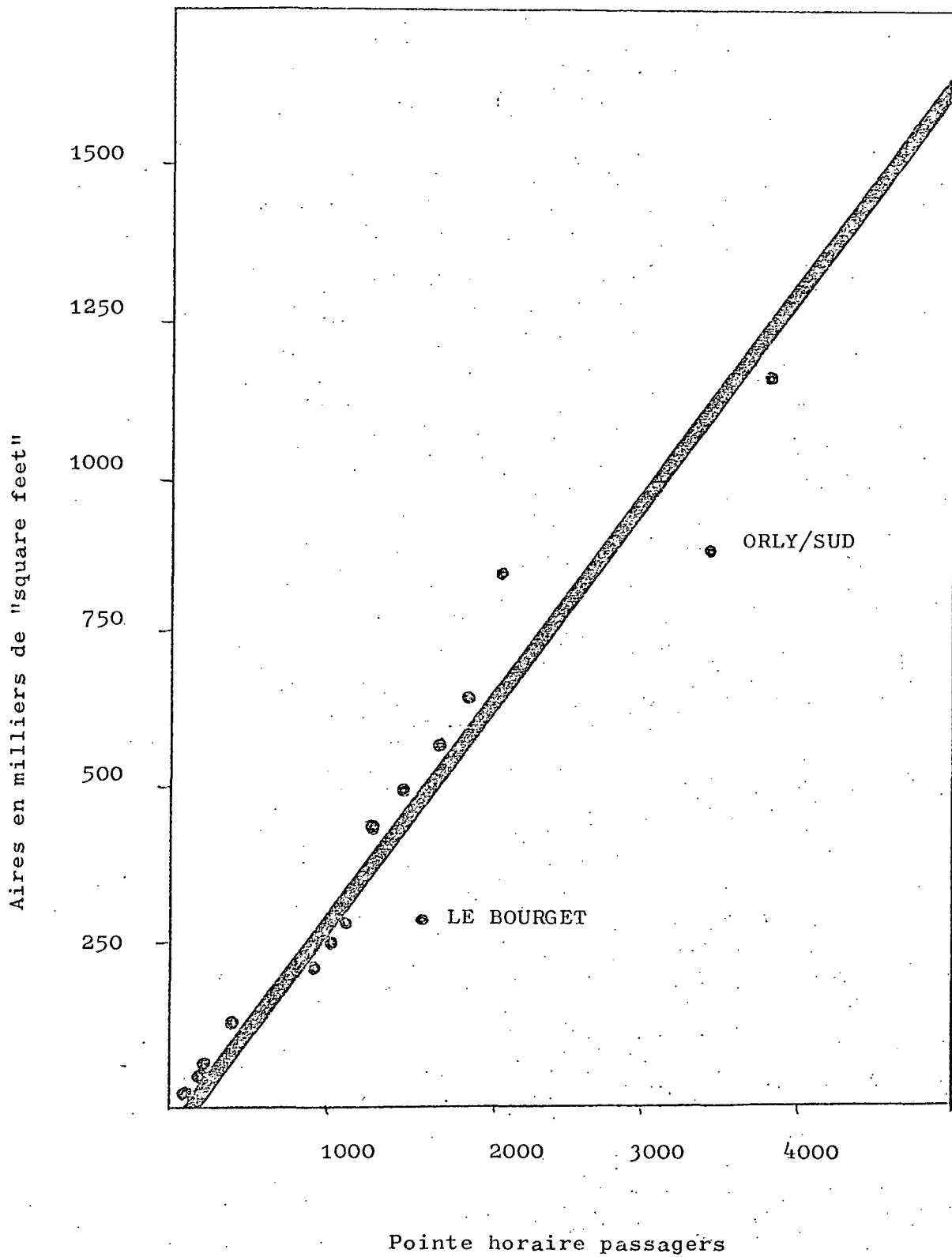
X : pointe horaire (en passagers)



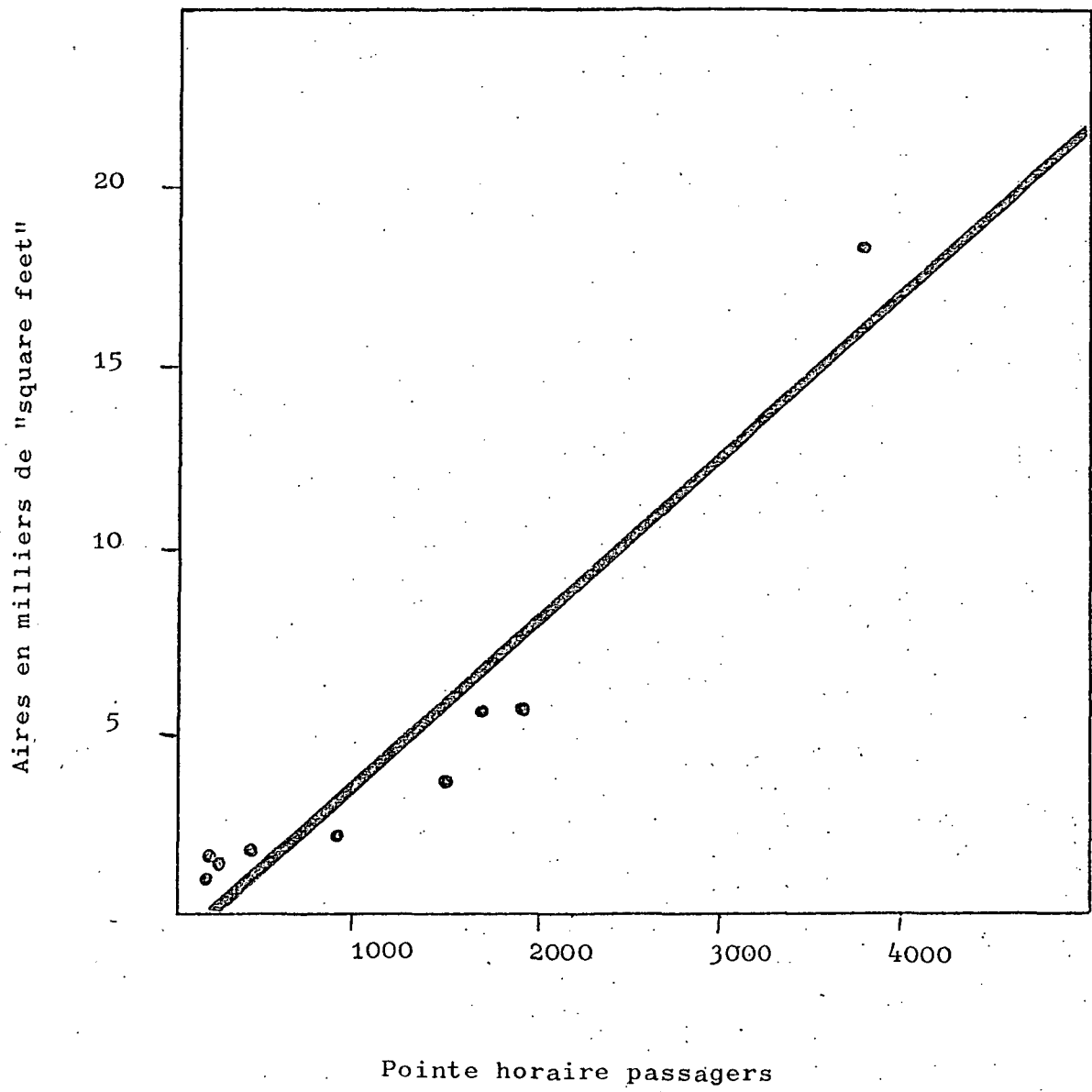
FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES AUX OPERATIONS.



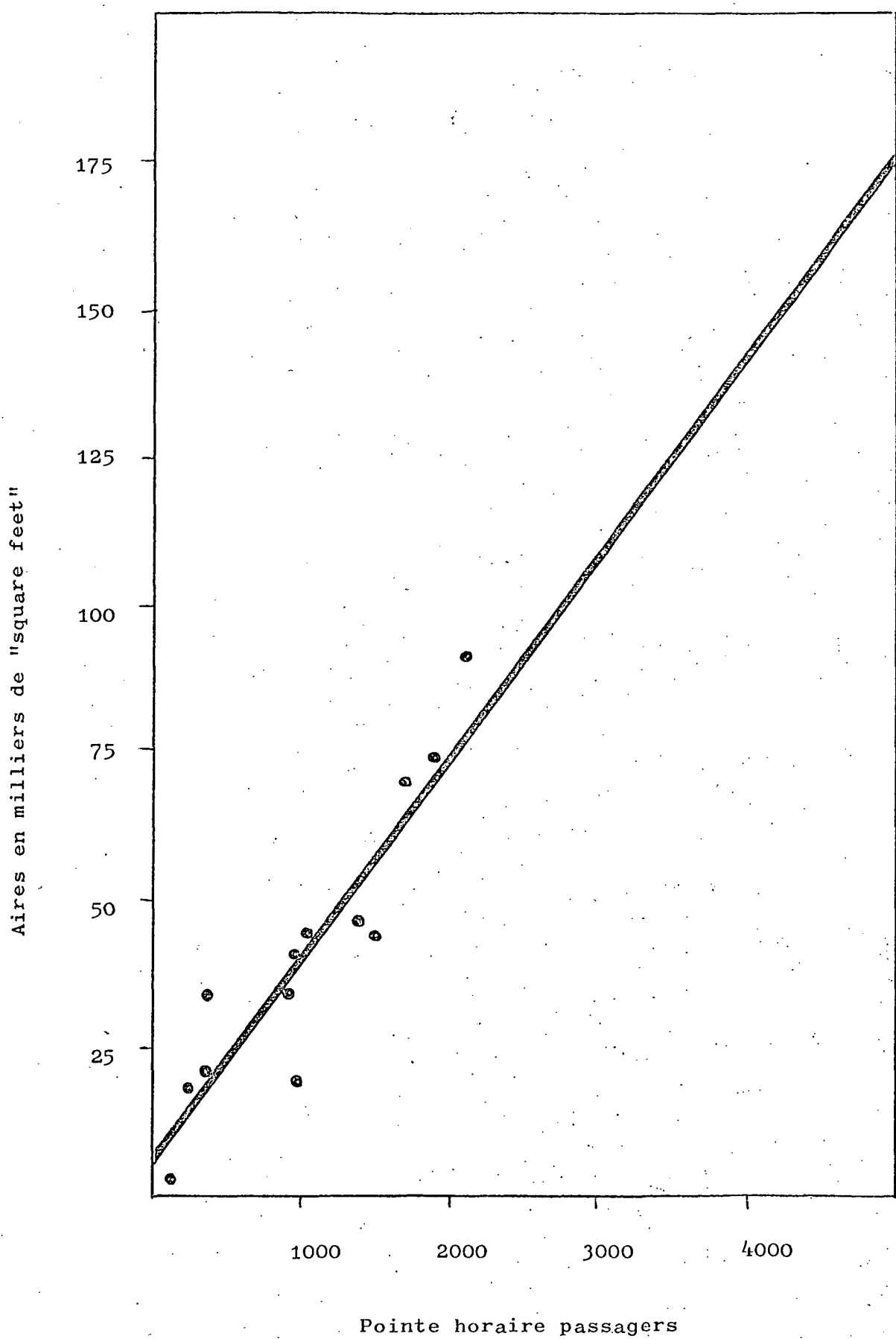
FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES AUX BAGAGES



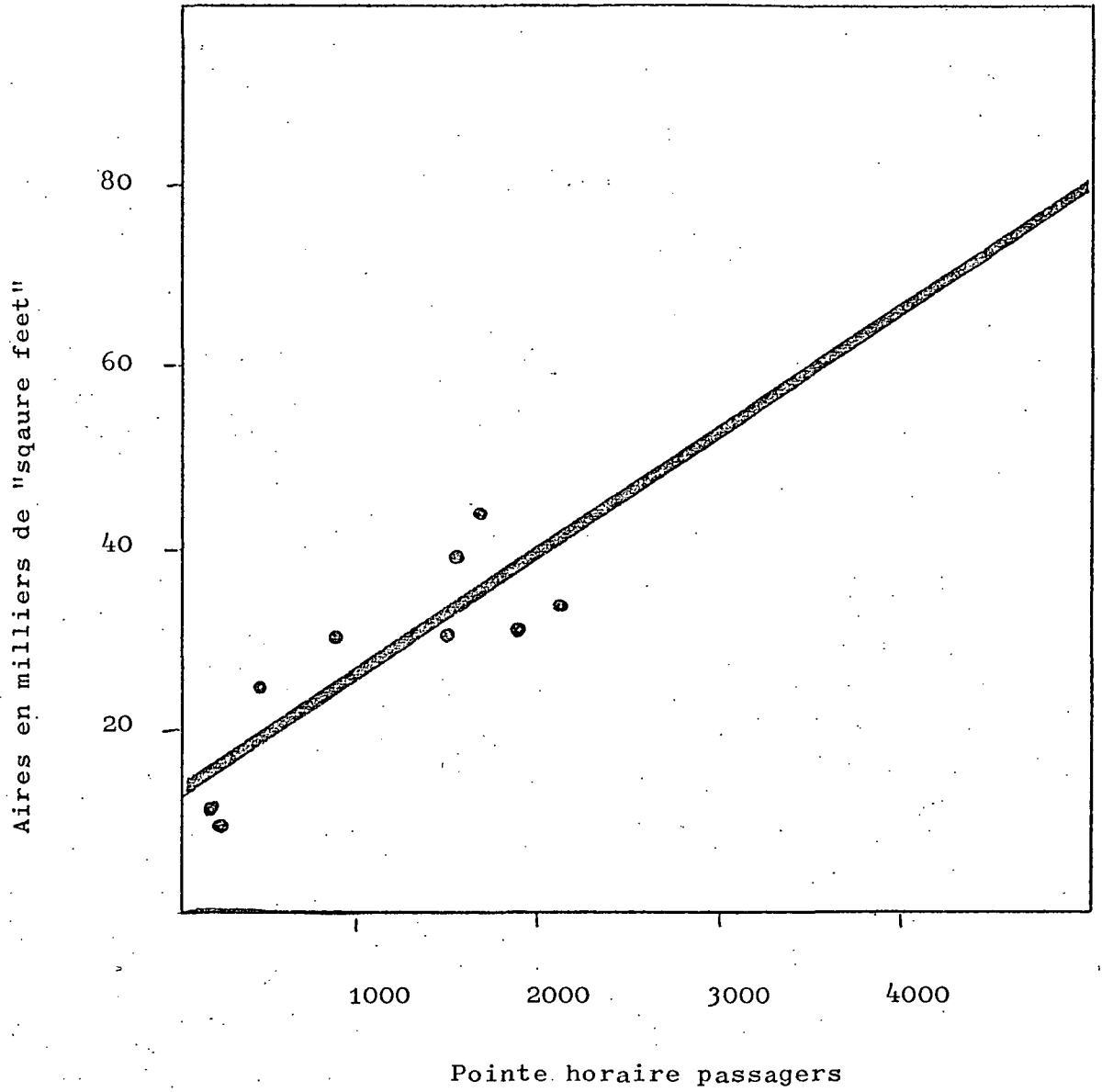
FONCTION D'ESTIMATION DE LA SURFACE TOTALE
NECESSAIRE POUR LES TERMINAUX



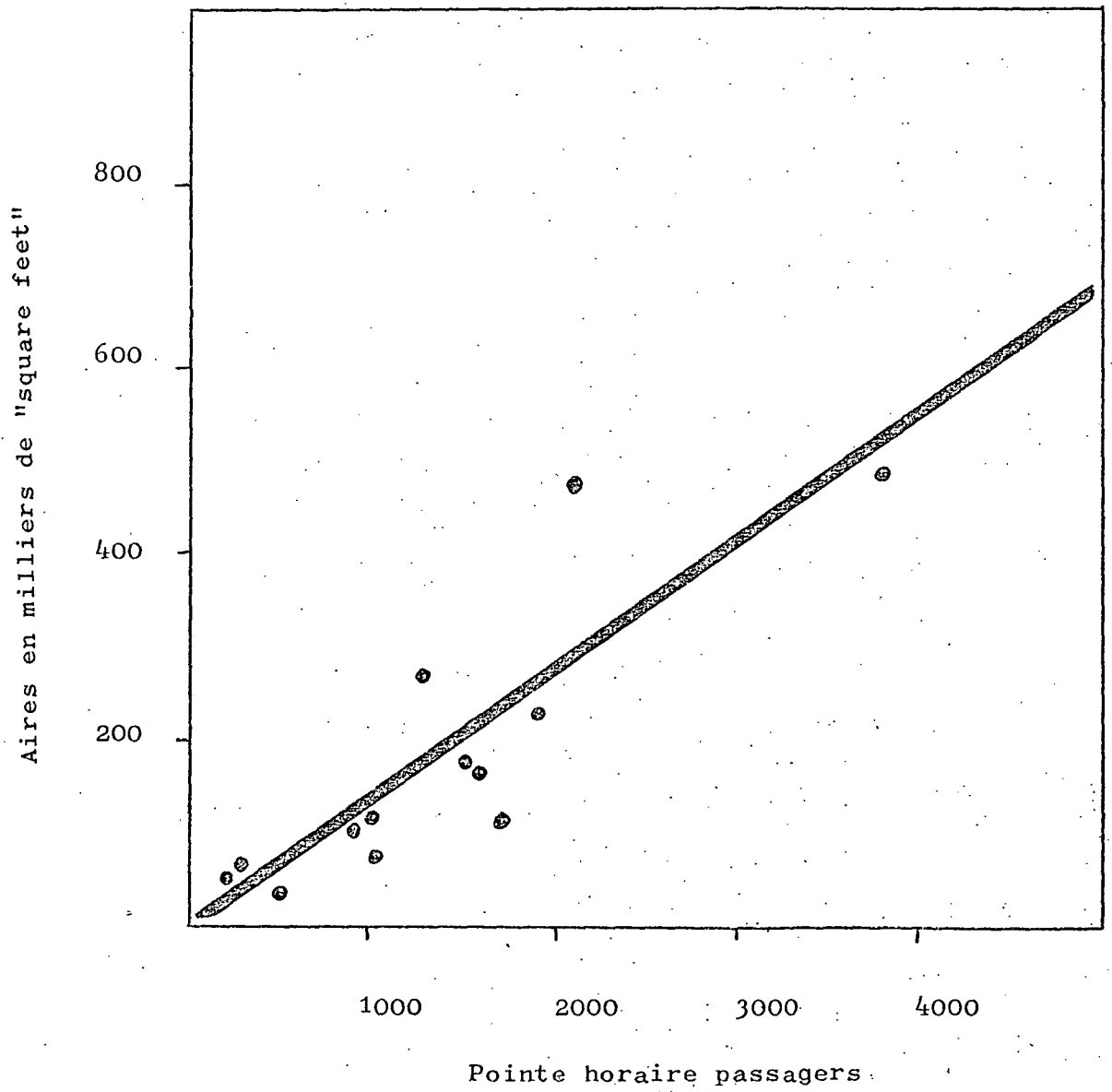
FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES AUX BILLETS



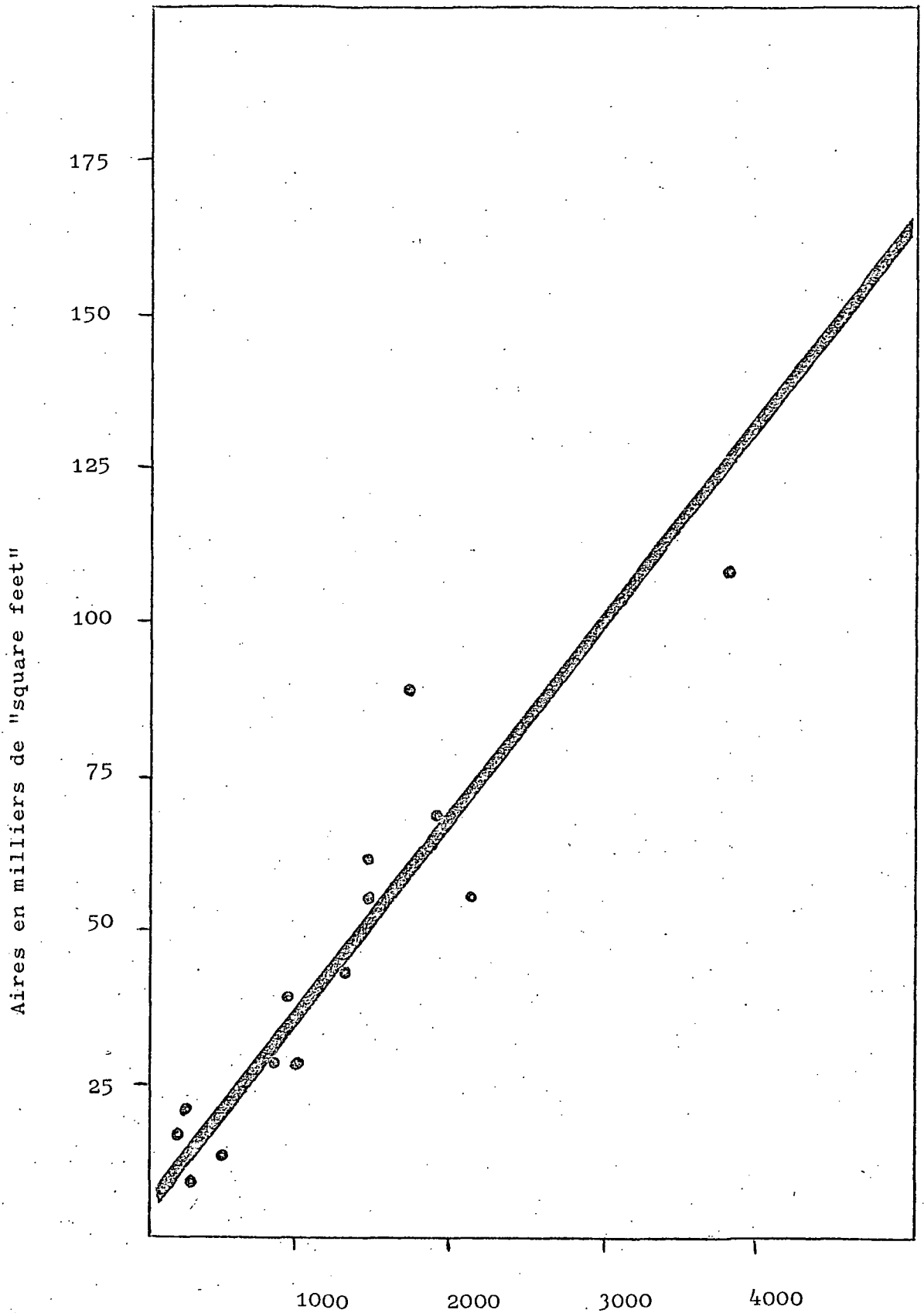
FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES CONCEDEES



FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES A LA RESTAURATION

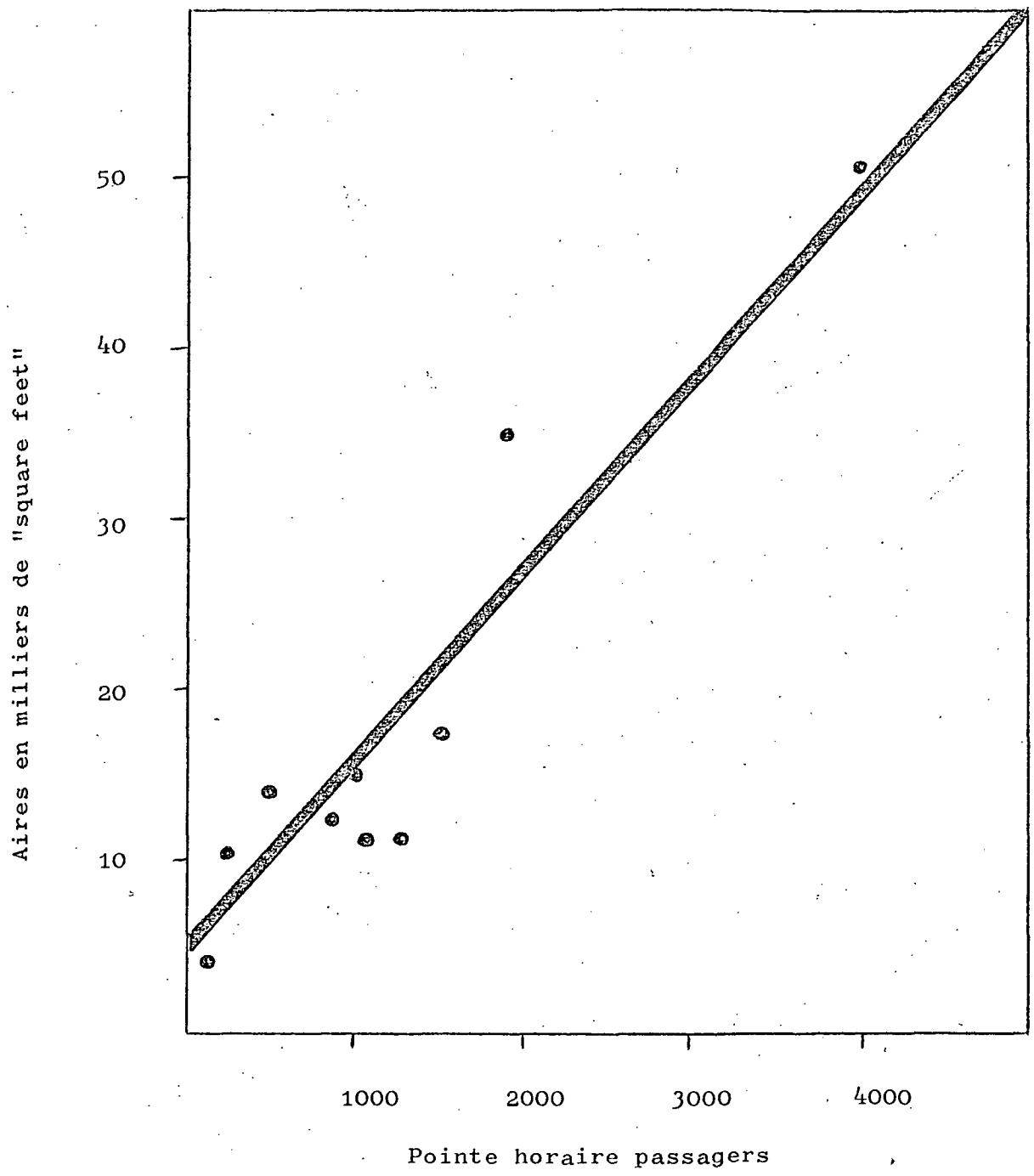


FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES AU PUBLIC



Pointe horaire passagers

FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES OCCUPEES PAR LES SERVITUDES
ET EQUIPEMENTS



FONCTION D'ESTIMATION DES AIRES RESERVEES AUX SERVICES ADMINISTRATIFS

3. ESTIMATION DES COÛTS DES SOLS

Pour estimer les coûts d'achat du sol, on a distingué 3 cas :

- zones urbaines,
- zones rurales,
- zones mixtes.

Nous nous contenterons ici de présenter les fonctions d'estimation des coûts du sol en ZONE URBAINE :

Pour chacune des régions géographiques retenues les données sur les prix des terrains furent regroupées suivant leur nature : résidentiel, commercial, industriel.

Le tableau (p. 20) résume les chiffres ainsi obtenus. Quant aux fonctions d'estimation des coûts du sol elles seront données dans le tableau ci-dessous :

EQUATIONS ECONOMETRIQUES	Coefficient de correlation
$LIR = 32100 \cdot PA^{0,5924}$	0,89
$LIC = 104000 \cdot PA^{0,5219}$	0,93
$LII = 40000 \cdot PA^{0,5888}$	0,81

PA = densité de la population (en acres)

LIR = prix en dollars/acre en zone résidentielle urbaine

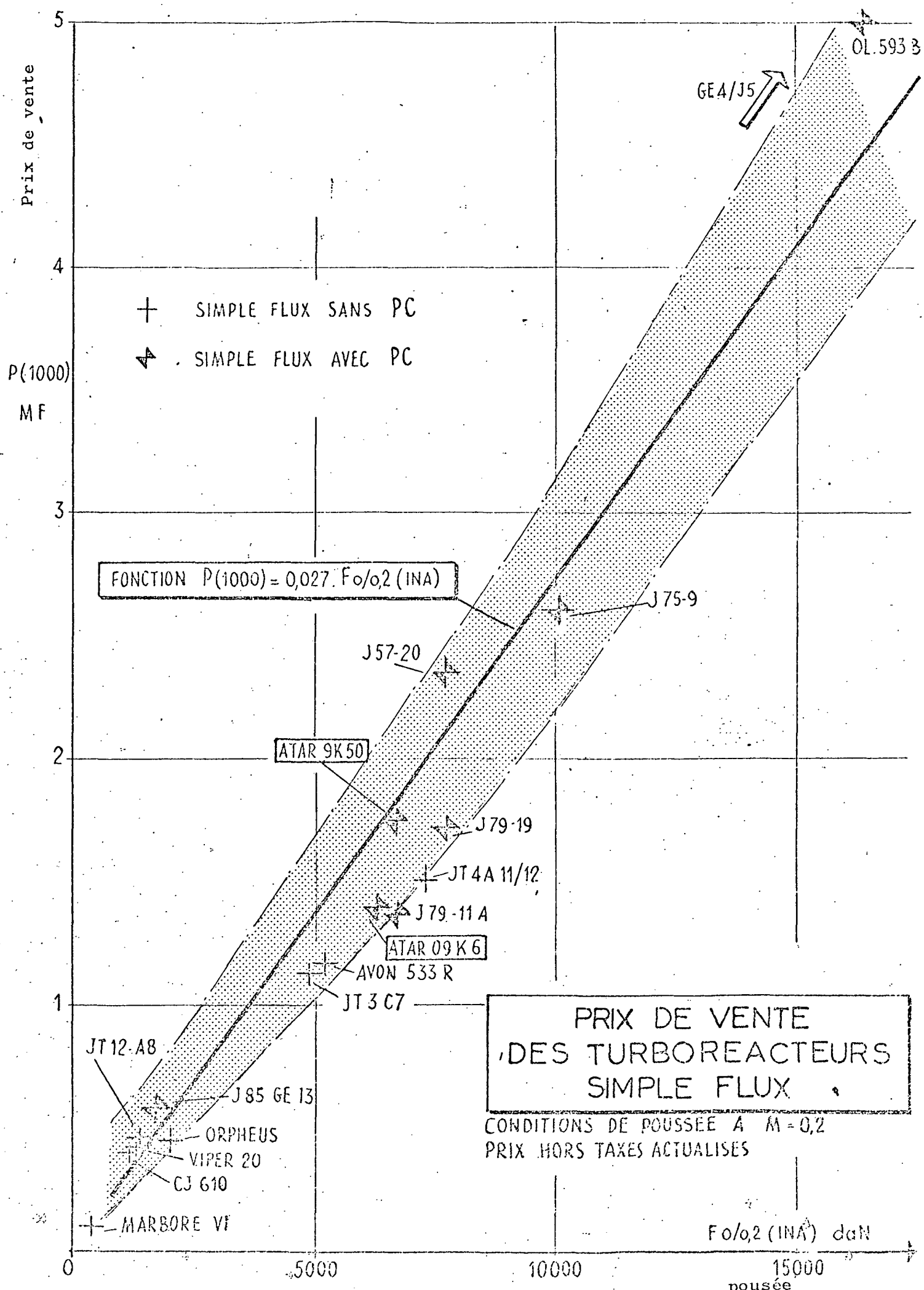
LIC = prix en dollars/acre en zone commerciale urbaine

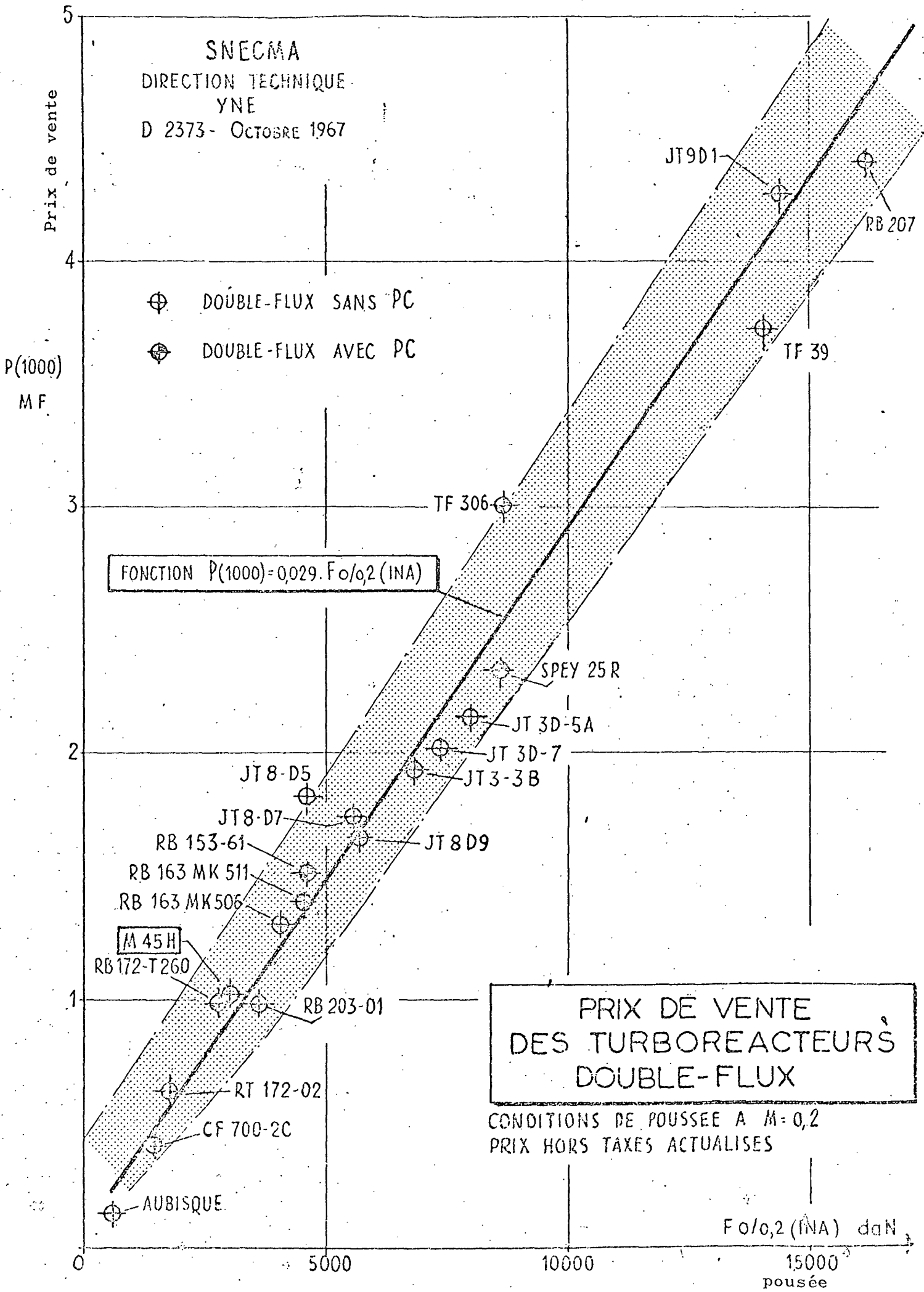
LII = prix en dollars/acre en zone industrielle urbaine

DONNEES POUR L'ESTIMATION DES COUTS DES SOLS

	EN DOLLARS 1970 PAR ARE			Revenus urbains en dollars 1968 par Are	Population par Are	Revenu par tête
	Résidentielle	Commerciale	Industrielle			
<u>Connecticut</u>						
Bridgeport/New Haven	40.356	217.742	102.822	7.841	2,60	3.016
Hartford/New Britain	27.746	93.718	39.116	3.499	1,20	2.916
<u>Delaware</u>						
Wilmington	33.807	74.442	45.286	2.065	0,71	2.909
<u>District of Columbia</u>						
Washington	67.717	273.722	148.734	4.945	2,10	2.355
<u>Maryland</u>						
Baltimore	67.488	165.234	23.542	4.282	1,78	2.405
<u>Massachusetts</u>						
Boston	55.285	193.394	96.093	13.969	4,20	3.326
<u>New Hampshire</u>						
Manchester	14.938	61.470	23.626	1.332	0,22	6.058
<u>New Jersey</u>						
Newark	53.657	283.495	70.658	19.371	7,20	2.690
Paterson/Clifton/Passaic	39.845	248.634	114.625	20.889	8,20	2.549
<u>New York</u>						
New York	125.398	455.302	228.103	42.988	17,10	2.513
<u>Pennsylvania</u>						
Philadelphia/Camden	50.704	168.278	75.450	6.542	2,75	2.379
<u>Rhode Island</u>						
Providence	43.078	62.577	18.852	4.306	1,98	2.175
CITIES						
Baltimore	195.363	255.722	51.790	37.002	18,70	1.978
New York	466.428	1.129.610	325.091	99.220	40,60	2.443
Philadelphia	365.126	533.446	415.033	48.776	24,40	1.998
Washington	362.363	3.759.840 ^a	616.121	49.420	19,40	2.547
Boston	174.600	635.672	427.475	(45.100)	23,70	(1.905)

a. non inclus dans la régression.





FRAIS DE DEVELOPPEMENT D'UN TURBOREACTEUR CIVIL

(DONT LE MARCHÉ PEUT ATTEINDRE 2000 EXEMPLAIRES)

COUT DE DEVELOPPEMENT CUMULE

PRIX UNITAIRE DU MOTEUR SERIE

