

N° d'affaire : 91 0570

**UNE APPROCHE COLLECTIVE ET CONCERTEE  
POUR L'OPTIMISATION DES COUTS DE POSSESSION  
DANS LES TRANSPORTS URBAINS**

Phase 1 :

Faisabilité et évaluation des enjeux

Conclusion des travaux menés par BERTIN et SYSTRA  
pour le compte du Groupe Recherches Stratégiques du PREDIT

2944

Décision d'aide à la recherche DRAST n° 97 MT 10

PREDIT 1996-2000

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement  
Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques

Vérifié par	GALANT Serge		Directeur du Développement		
Rédigé par	BOUCON Thierry		Responsable d'Unité Opérationnelle		
RESPONSABILITES	NOM	Prénom	Fonction	Date	Visa
<b><u>DIFFUSION :</u></b>					
PREDIT : M. PENY	BERTIN : S. GALANT				
	T. BOUCON				
SYSTRA : M. CHRISTEN/BRAHIMI					
UTP : Mme MEYER					
GART : M. GOLIAS					

Référence interne	NT 98 Jh 08 C	Système hôte	Word 6
Fond documentaire	Sans objet	Dossier d'affectation	DP
Nomenclature de gestion	Sans objet	Document contractuel	Oui

### HISTORIQUE DES EVOLUTIONS

Indice	Date	MODIFICATIONS (raisons principales, paragraphes et pages concernés, références des demandes de modification, ...)	Rédacteur/vérificateur
A	29/05/98	Création du document.	BOUCON/GALANT
B	04/06/98	Intégration des remarques GART et UTP.	BOUCON/GALANT
C	08/06/98	Version finale communiquée au PREDIT.	BOUCON/GALANT

## 1. INTRODUCTION

Cette note résume les résultats d'une première phase de recherche menée par **BERTIN** et **SYSTRA** dans le cadre d'un programme soutenu par le **Groupe « Etudes Stratégiques » du PREDIT** et financé par la décision d'aide à la recherche du Ministère des Transports 97 MT 10 du 29/09/1997.

Ce programme vise globalement, sur trois à quatre ans, à généraliser les méthodes d'optimisation du coût de possession (ou coût de cycle de vie) d'un système de transport collectif urbain.

Compte tenu des efforts déjà initiés en la matière par les trois acteurs clés de ce secteur (**Autorités Organisatrices, Constructeurs de matériels et Exploitants de systèmes**), ce travail s'est focalisé spécifiquement sur la partie du cycle de vie la plus délicate à maîtriser : le **coût opératoire ou coût d'exploitation**, avec une attention plus particulière sur les **coûts de maintenance**.

BERTIN et SYSTRA se sont dans ce contexte efforcés de répondre aux questions suivantes :

- Quel est l'intérêt des Autorités Organisatrices, des Exploitants et des Constructeurs vis-à-vis de la généralisation d'une démarche de meilleure maîtrise du coût de possession ?
- Quel est l'état des données de terrain caractéristiques de cette période du cycle de vie, permettant de guider une mise en œuvre de cette approche encore plus efficace ?
- Quelle est l'importance relative des coûts réellement mesurés, ceci pour un échantillon de villes, de modes de transport et de technologies de transport suffisamment représentatif de la situation française ?
- Quelles sont les innovations méthodologiques à soutenir par le PREDIT, qui permettraient de déployer ce type d'approche pour le bénéfice mutuel des trois acteurs impliqués ?

## 2. QUELQUES DEFINITIONS ET RAPPELS

La Figure 1 ci-dessous rappelle la définition du coût de cycle de vie (ou coût de possession). Le présent travail s'est focalisé sur la partie « coût opératoire » (ou coût d'exploitation), qui couvre, pour tout système de transport collectif urbain, la période de garantie constructeur puis la phase d'exploitation stabilisée où l'on distingue coûts d'exploitation et de maintenance.

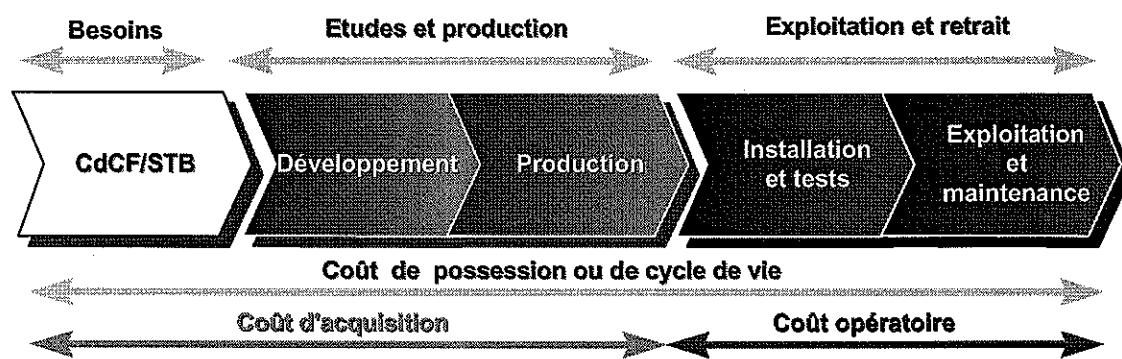


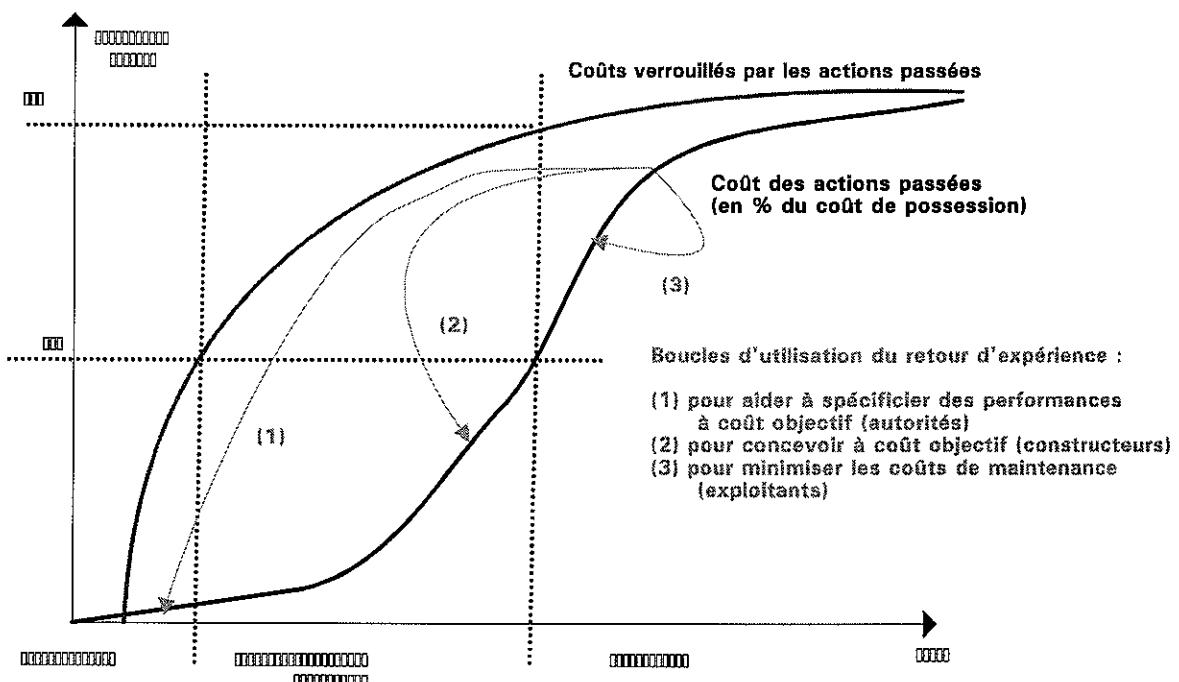
Figure 1 : Définition du coût de possession

Une des voies les plus efficaces pour renforcer la maîtrise du coût de possession d'un système de transport collectif est d'utiliser les **données de fiabilité et de coût d'un matériel en exploitation** pour :

- **agir sur la politique de maintenance** : conserver une disponibilité matérielle optimale, tout en focalisant les engagements de dépenses de réparation sur les équipements les plus critiques,
- **innover technologiquement** lors du développement de nouveaux matériaux pour rendre les sous-ensembles les plus critiques plus robustes et plus fiables,
- **spécifier le besoin de nouveaux systèmes** de façon suffisamment détaillée pour en déduire des règles économiques plus crédibles qui aideront à mieux gérer les contrats d'acquisition de matériel et d'exploitation en conformité avec l'expression du besoin.

Comme l'indique la Figure 2 ci-après, cette rétroaction est d'autant plus justifiée que :

- le coût d'exploitation ne représente en général que 40 % du coût total de possession d'un matériel,
- lors de la mise en route, 95 % des coûts de possession ont déjà été verrouillés par l'ensemble des décisions prises durant les phases de spécification, d'études et de fabrication.

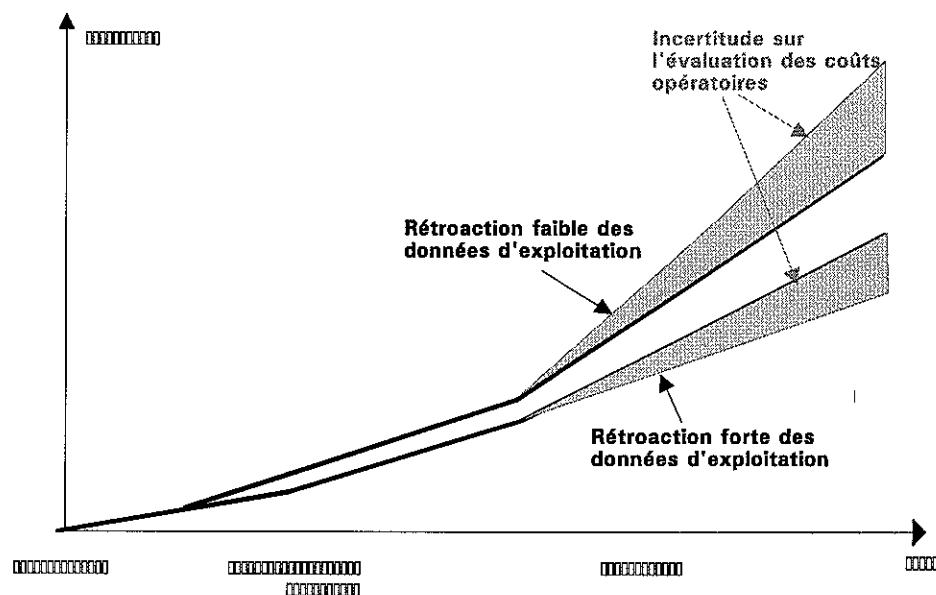


**Figure 2 : Evolution relative du coût de possession en fonction des décisions prises**

Une meilleure maîtrise du coût de possession d'un système de transport collectif passe donc par un décloisonnement des relations entre les acteurs des trois phases classiques de la vie d'un matériel de transport. Ce décloisonnement consiste à partager les données d'exploitation pour rétroagir à tous les stades de la vie d'un système.

Comme illustré sur la Figure 3, à qualité de service fixée, cette rétroaction permet une utilisation des données qualitatives et quantitatives d'exploitation les plus appropriées :

- en vue d'en contenir les coûts de maintenance en exploitation par ajustement permanent de la politique d'entretien,
- en phase de conception pour affiner les modèles de prédition de fiabilité les plus critiques (donc resserrer la fourchette d'incertitude inhérente à toute évaluation du coût de cycle de vie, surtout en fin de vie) et innover technologiquement sur les sous-systèmes les plus critiques,
- en phase de spécification pour afficher des objectifs réalisables de coût de possession et fixer un cadre contractuel cohérent pour l'émission des offres des constructeurs et des exploitants.



*Figure 3 : Evolution des coûts cumulés de possession en fonction du temps*

### 3. LA DEMARCHE SUIVIE PAR BERTIN ET SYSTRA

Compte tenu du manque patent de données publiées en matière de coûts de maintenance, BERTIN et SYSTRA, avec l'accord du PREDIT, du GART et de l'UTP ont focalisé cette phase de recherches auprès des Autorités Organisatrices et des Exploitants, **détenteurs prioritaires de données sur la fiabilité de matériels de transport en service.**

Une série d'entretiens en face à face a été réalisée en croisant les paramètres suivants : taille de ville, structure de l'opérateur, technologie de transport. Le tableau ci-dessous résume ce croisement :

	Groupe	Autorités	Exploitants	Bus	Trolleybus	Métro	Tramway
Amiens	CGEA	x	x	x			
Lyon	VIA	x		x	x	x	
Marseille	-		x	x	x	x	x
Mulhouse	AGIR	x	x	x			
Nantes	TRANSCET	x	x	x			x
Strasbourg	TRANSCET		x	x			x
Toulouse	TRANSCET	x		x		x	

### 4. LES RESULTATS IMPORTANTS DE CETTE PHASE DE RECHERCHE

Le dépouillement des entretiens ainsi que les recoupements faits avec les quelques données publiées [1][2][3] permettent de dégager les conclusions suivantes :

#### 4.1 *La notion de coût de possession devient un enjeu stratégique pour les acteurs rencontrés*

Les récentes conclusions entre autorités organisatrices, constructeurs et opérateurs de chemins de fer peuvent être généralisées à leurs homologues du transport urbain [1]. L'implication future des constructeurs dans la suite des travaux permettra de cerner les limites de cette approche qui se révèlent être à trois niveaux :

- cette approche est d'autant plus puissante que le niveau de qualité et de pertinence des données collectées sur le terrain est grand (recueil de pannes, analyses de causes et conséquences de pannes, coûts de réparation...). La frontière entre coût direct d'exploitation et coût de maintenance reste floue,
- la prévision des coûts de possession recèle encore des faiblesses, surtout en fin de vie des matériels : les engagements pris par les constructeurs comme par les opérateurs sur la base de modèle de prévision de fiabilité dépendent de ces niveaux d'incertitude,
- réutiliser les données acquises par un opérateur sur un matériel donné doit être tempéré par le contexte d'acquisition de ces informations.

#### 4.2 *La création de référentiels de collecte, de traitement et de restitution d'informations d'exploitation par technologie est possible et souhaitable pour favoriser la rétroaction en phases de spécification, de conception et d'exploitation*

Déjà initié chez certains des acteurs rencontrés, ce référentiel doit être construit par les autorités organisatrices et les exploitants, les constructeurs fournissant l'architecture fonctionnelle pour le bâtir en fonction :

- des modes de défaillance, effets attendus et criticité associée pour le système,
- de la nature des événements techniques observés.

Le choix de la période d'échantillonnage pour l'observation des événements techniques est laissé à l'initiative des opérateurs. Ce référentiel est alors structuré pour fournir aux autorités organisatrices des possibilités d'agrégation suffisantes en vue de disposer d'une vision globale des coûts et donc des leviers qui permettent de mieux les maîtriser.

Une telle démarche a déjà été choisie par les trois acteurs pour les bus (protocole pour le bus R312, nouveau protocole pluriconstructeur pour les bus à plancher surbaissé). Elle peut servir de base pour une extension à d'autres modes de transport, pour l'ensemble des autorités organisatrices.

#### **4.3 Les coûts de maintenance représentent une part significative des coûts d'exploitation**

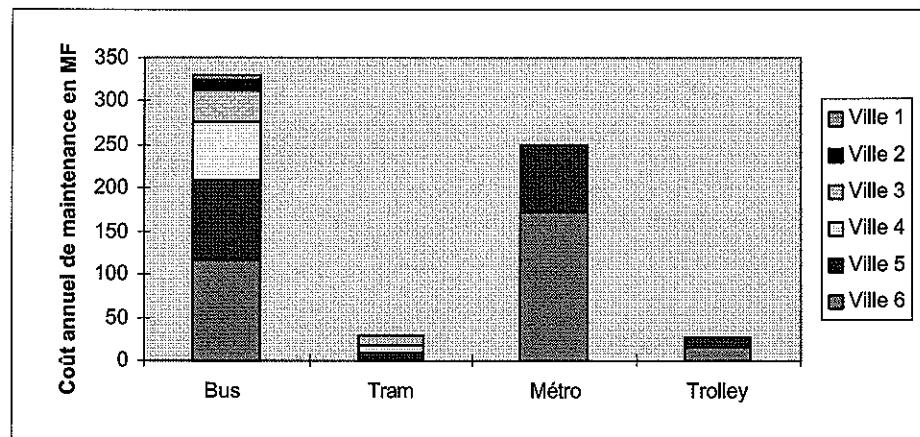
Pour l'échantillon étudié, la part des coûts de maintenance dans les coûts d'exploitation varie en fonction des modes de transports :

- entre 9 et 15 % pour les autobus,
- entre 20 et 30 % pour les tramways et les trolleybus,
- entre 30 et 35 % pour le métro.

Les écarts observés dépendent vraisemblablement beaucoup de la **structure du référentiel de calcul des coûts et des processus de collecte d'informations décrivant ces coûts**.

Ces résultats relatifs doivent être cependant modulés par l'effet de parc qui positionne les bus comme la source de coûts de maintenance de loin la plus importante pour les parcs étudiés.

La Figure 4 ci-dessous compare, pour l'ensemble de l'échantillon, la somme des coûts annuels en MF affectés à la maintenance de chacune des technologies étudiées.



**Figure 4 : Cumul des coûts annuels de maintenance par technologie**

Ces valeurs recoupent les statistiques nationales qui placent les bus en opération (plus de 10000) comme une source de coût de maintenance majeure à maîtriser en aidant **toutes les autorités organisatrices** dans leur négociation avec les constructeurs et les opérateurs de transport. Le protocole R312 a initié une démarche dans ce sens.

#### 4.4 Les coûts de main d'œuvre restent prépondérants dans la structure des coûts de maintenance

Le tableau ci-dessous résume les parts relatives de main d'œuvre, pièces de rechange et sous-traitance pour les villes du panel. Alors que la part de sous-traitance reste encore faible à ce jour, elle tend à croître en fonction de l'évolution des technologies et des stratégies de maintenance. Cette évolution semble s'inscrire dans une perspective à long terme de plus grande externalisation des fonctions de maintenance (évolution de la technologie, gestion fonctionnelle des pannes, ...).

Matériel	Main d'œuvre (%)	Pièces rechange (%)	Sous-traitance (%)
Bus	40	40	20
	63	22	14
	84	16	0
	35	43	22
Trolleybus	65	21	13
Tramway	50	20	30
	63	30	7
Métro	47	44	9
	59	31	10

#### 4.5 Les trois facteurs principaux influençant les coûts de maintenance sont la « complexité » de la ville, les technologies utilisées et l'organisation des équipes gérant le processus de maintenance

Pour une ville, il est possible de mesurer sa « complexité » (c'est-à-dire une combinaison du niveau de desserte et de la typologie des voies de circulation pour servir un PTU donné) soit par le nombre total de véhicules disponibles pour assurer le service de transport, soit par la population du PTU, les deux étant fortement corrélés.

En supposant ces mesures globales de « complexité » comme fiables (donc facilement accessibles et comparables entre elles), on observe une relation de proportion directe entre les charges de maintenance et cette complexité.

Les Figures ci-dessous montrent que pour l'échantillon étudié, la complexité pénalise les charges de maintenance, alors qu'on aurait pu espérer un « effet de parc » qui favorise les grandes villes par rapport aux petites, du fait de l'accroissement du parc de véhicules identiques acquis pour assurer une qualité de service donné (dans les graphiques qui suivent, les point rouges représentent les données issues des entretiens, les bleus proviennent de la bibliographie).

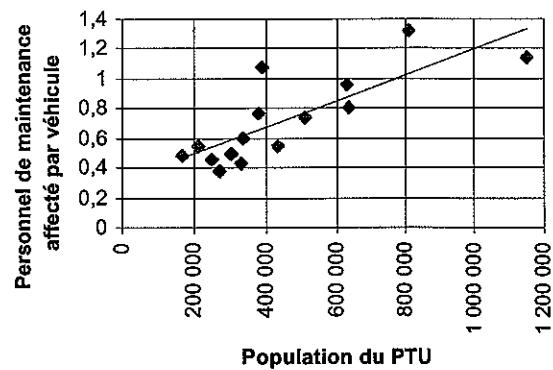
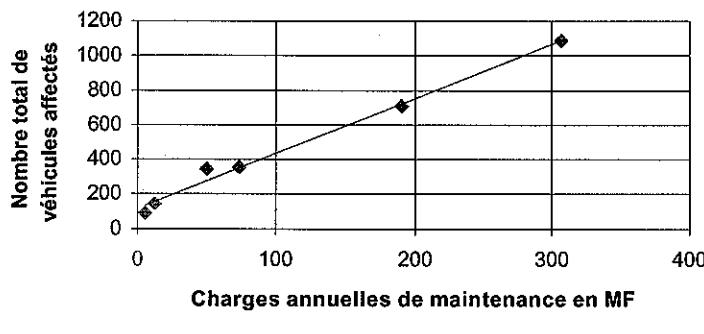


Figure 5 : Evolution des charges de maintenance en fonction de la « complexité » de la ville

L'influence de la **technologie** (elle-même caractérisée par l'**âge moyen du parc et sa typologie**) est décrite en Figure 4, mais aussi 6 ci-dessous, qui représente les coûts constatés par bus en fonction de l'âge moyen de la flotte.

La disparité entre les différents points est expliquée par la complexité du réseau (topographie), mais aussi par le manque d'homogénéité des différents référentiels utilisés pour positionner chacune des valeurs sur cette planche.

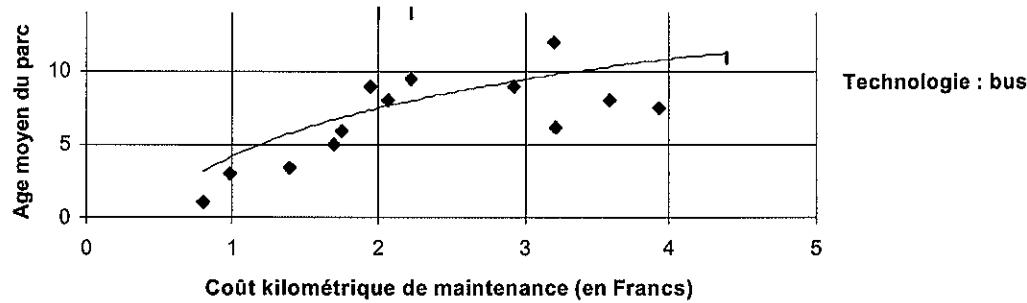


Figure 6 : Evolution des charges de maintenance en fonction de l'âge moyen du parc de bus

En l'absence de données fines sur l'influence de l'organisation sur le nombre de personnes affectées aux tâches de maintenance, l'organisation des équipes de maintenance peut être caractérisée par le ratio « nombre d'agents de maintenance sur nombre total d'opérateurs d'exploitation ».

Comme le suggère la Figure 7 ci-dessous, le coût d'exploitation (largement fonction de l'effectif), donc le coût de maintenance, évolue en fonction de l'organisation. Ce rapport semble se stabiliser pour les villes de « grande complexité » autour de 40 %.

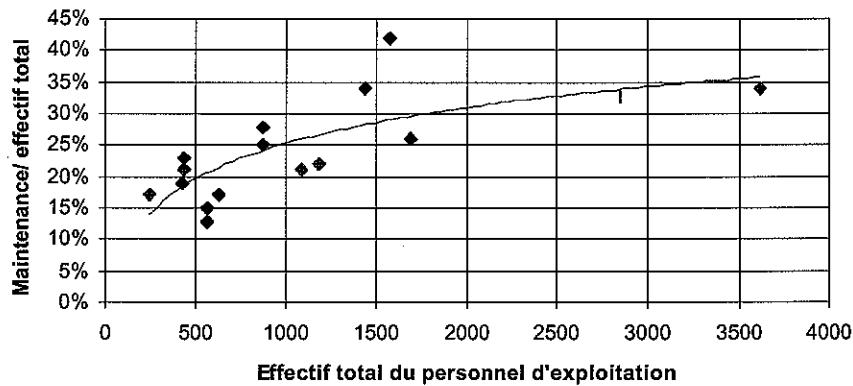


Figure 7 : Influence de l'organisation sur les charges de maintenance en personnel

#### 4.6 L'analyse fonctionnelle des éléments critiques en vue d'une optimisation de leur fiabilité commence à être promue

Les premières approches mises en place par certains opérateurs sont basées sur une analyse fonctionnelle des défaillances. Mais l'absence de référentiel homogène pour la collecte des données ne permet pas une exploitation efficace des données terrain.

Il reste donc à éclaircir la structure du référentiel nécessaire et suffisant à une bonne exploitation :

- Comment classer les niveaux de criticité des pannes ?
- Sur quels critères baser les décisions de maintenance préventive ou corrective ?
- Comment attribuer les taux de défaillance aux fonctions impliquées ?
- .....

#### ***4.7 Des actions spécifiques de maîtrise des coûts de maintenance et d'exploitation sont engagées localement, mais ces bonnes pratiques ne diffusent pas encore de manière homogène vers l'ensemble des acteurs***

Le terrain apparaît aujourd'hui favorable pour que les actions engagées par certains opérateurs puissent être généralisées et harmonisées en concertation avec les constructeurs. En particulier, l'arrivée de technologies électroniques va modifier à la fois les règles de l'art d'exploitation d'un parc et les compétences requises en gestion et réalisation de la maintenance, accentuant la tendance à l'externalisation des tâches de maintenance.

## **5. CONCLUSIONS**

Le coût de possession (ou coût de cycle de vie) d'un système de transport collectif urbain est l'addition du coût de développement, du coût de fabrication et du « coût opératoire » (ou coût d'exploitation) de ce système. Ce dernier couvre la période de garantie constructeur puis la phase d'exploitation stabilisée où l'on s'efforce de distinguer les coûts d'exploitation et les coûts de maintenance.

**Grâce à la coopération active des autorités organisatrices et opérateurs de transport qui ont participé à l'enquête menée par BERTIN et SYSTRA,** cette phase de recherche a permis de mieux appréhender la structure des coûts de maintenance et donc de sensibiliser encore plus les acteurs sur les motifs de ce travail : toute action concertée visant à mieux maîtriser les coûts de maintenance conduira à

- une source d'économie pour les autorités organisatrices,
- une source nouvelle de profitabilité pour les exploitants,
- une source de compétitivité renforcée pour les constructeurs de matériel.

Les résultats de ces travaux de recherche permettent de conclure sur les points suivants :

- dans la ligne des démarches pilotes testées avec succès au niveau national pour les bus (protocole R312 en particulier), les autorités organisatrices et les opérateurs **apparaissent convaincus de l'intérêt d'une maîtrise des coûts de possession** d'un système de transport. Il reste à tester cette conviction auprès des constructeurs, maillon indispensable dans la mise en place de méthodes homogènes pour assurer cette maîtrise.
- Les données de terrain sur la fiabilité des matériels et les coûts de maintenance associés existent mais **sont délicates à utiliser en l'état : la création de référentiels de collecte des données d'exploitation (spécialisés par technologie)** a le mérite de pouvoir agréger les résultats sur un parc de matériel beaucoup plus grand, donc d'accroître notamment la capacité des modèles de prédiction de pannes utilisés soit en phase d'appel d'offres, soit en phase de développement, soit en phase de maintenance.

- Au-delà de la création de ce référentiel national, il apparaît important de favoriser toute méthode qui permet d'optimiser les trois processus qui concourent à une meilleure prévision et donc une meilleure gestion du coût opératoire :
  - ◊ la **collecte transparente et fine** des données qualitatives et quantitatives sur les pannes (**niveau opérateur**),
  - ◊ l'**utilisation plus systématique de modèles de coûts de possession** dès la phase de conception, en utilisant la base de données construite dans le référentiel national pour réduire le niveau d'incertitude des modèles (**niveau constructeur**),
  - ◊ une **technique de spécification de besoins** adaptée au niveau d'incertitude maîtrisée par les constructeurs et les exploitants en face de cahiers des charges décrivant de nouveaux besoins (**niveau autorité organisatrice**).
- Les niveaux enregistrés de **coûts de maintenance** sont suffisamment significatifs pour engager la mise en place de telles méthodes : elles se justifient d'autant plus que la complexité des agglomérations s'accroît naturellement et qu'elle apparaît, au même titre que la technologie ou l'organisation des équipes, conditionner les charges de maintenance.

Aussi, BERTIN et SYSTRA proposent au PREDIT (et aux partenaires qui souhaitent renforcer ce projet) trois programmes d'innovation méthodologique qui, tous, concourent à l'utilisation du concept de « coût de possession » comme moyen d'optimiser le coût de systèmes de transport collectif urbain :

- **la construction d'un référentiel national de collecte de données** pour toutes les technologies disponibles ou innovantes, en insistant sur le processus de collecte des données de fiabilité qui doit rester cohérent avec les modes d'exploitation ultérieure de ces données,
- **la construction d'une technique de spécification de besoins pour des systèmes de transport collectif**, technique qui puisse utiliser les données de coût opérationnel de fonctionnement pour mieux prédire le coût de possession des solutions envisagées,
- **l'optimisation de modèles de prédition de coût de cycle de vie** (matériel courant et matériel innovant) de façon à les rendre plus fiables dans leur utilisation par les constructeurs tant dans la préparation d'offres que dans la gestion des contrats de garantie et de maintenance avec les opérateurs.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Life Cycle Cost Applied to Railway Projects - UNIFE Conference Report - December 1996
- [2] Transports collectifs urbains - Annuaire statistique - Evolution 1990/1995 - CERTU
- [3] Annuaire national des transports publics 1998 du GART
- [4] Transports publics urbains en France - Organisation institutionnelle - Septembre 1995
- [5] Kofi Obeng, « Application of path analysis methodology to transit system maintenance performance ».