

# ETUDE DES COUTS DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT FERROVIAIRE EN ZONES URBAINE ET SUBURBAINE

## ETUDE DES COUTS DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT FERROVIAIRE EN ZONES URBAINE ET SUBURBAINE

Cette étude statistique porte sur 31 opérations (300 ouvrages sur 146 km). Elle distingue les ouvrages en ligne et les stations. Les ouvrages en ligne sont étudiés suivant le mode de réalisation et les contraintes d'environnement. Les stations sont étudiées en fonction de leur profondeur.

### 1. INTRODUCTION

Un système de transport performant constitue un atout déterminant pour le développement économique. Il est particulièrement important en milieu urbain et y représente donc une des activités principales.

Actuellement dans le monde, 80 villes possèdent un réseau de métro classique, représentant environ 270 lignes pour un total de l'ordre de 4.700 km et 4.300 stations. Si l'on y inclut les métros régionaux (de type RER) et les métros légers à grande capacité, on décompte environ 100 réseaux, 300 lignes représentant une longueur de l'ordre de 5.300 km et comportant environ 5.000 stations. Le rythme de développement de ces réseaux reste soutenu, puisque, au cours des dernières années, ont été construits en moyenne annuelle environ 160 km de lignes et 175 stations. Le marché des métros, matériel roulant compris, représente un chiffre d'affaires annuel moyen de plus de 100 milliards de francs, chiffre que l'on peut pratiquement doubler si l'on tient compte des travaux de renouvellement et de modernisation des réseaux existants.

Ces chiffres reflètent le très fort accroissement des besoins de mobilité. Il est difficile à cet égard de ne pas évoquer le constat négatif dont font généralement l'objet les conditions de déplacement en sites urbains. Les villes françaises n'échappent bien sûr pas à ces difficultés, qui sont pour une grande part la cause de la dégradation des conditions de vie, en particulier dans les grandes métropoles.

Les inconvénients qui en résultent sont nombreux et bien connus : la pollution, les encombrements, les pertes de temps, pour ne citer que les principaux, sont de plus en plus mal ressentis par les populations. De nombreuses

Animateur :	<b>J.P. GODARD (RATP)</b>
Rapporteurs :	<b>J.F. BARRIÉ (RATP) et ZHANG CHI</b>
Membres du groupe :	
CETu :	<b>M. CONSTANTIN</b>
CETUR :	<b>M. LESNE</b>
Communauté Urbaine de Lille (CUDL) :	<b>MM. CROUET, PROUILLET</b>
Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) :	<b>M. SCHNARR</b>
GETAS :	<b>M. MÜLLER</b>
INRETS CRESTA :	<b>M. KUHN</b>
RATP :	<b>M. FARIN</b>
SEMALY :	<b>M. MARX, Mme MARTINET</b>
SNCF :	<b>MM. ANDRÉ, FAUVEL, LAPLACE, VIGNAT</b>
Société du Métro de Marseille (SMM) :	<b>M. OSTORERO</b>
SOFRETU :	<b>M. HUGONNARD</b>

## STUDY OF RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE COSTS IN URBAN AND SUBURBAN AREAS

This statistical study covers 31 operations (300 structures over 146 km). It makes a distinction between structures on the line and the stations. Structures on the line are studied according to the construction method and the environmental constraints. Stations are studied on the basis of their depth.

Journées d'études de l'AFTES tenues à Nice, pour l'étude présentée par le groupe de travail n° 10 de l'AFTES sur "Les coûts des infrastructures de transports ferroviaires en zones urbaine et suburbaine" a conduit le nouveau groupe à entreprendre une mise à jour de cette étude pour tenir compte des réalisations intervenues depuis cette date.

L'objectif du présent rapport est, comme le précédent, de donner des points de repère et certains ordres de grandeur susceptibles de contribuer à la prévision de ces coûts.

Une étude menée conjointement à ce rapport, est déjà parue dans le n° 121 de TOS ("Etude des coûts des tunnels de métros français"). Il s'agit d'un travail de recherche effectué par M. Zhang Chi dans le cadre d'une thèse universitaire. M. Zhang Chi a été associé au groupe de travail et à la rédaction du présent rapport. A quelques variations près dans la sélection des échantillons, les données de base sont identiques pour les deux études. Nous serons donc conduits par la suite à faire fréquemment référence à cette étude.

### 2. LES DONNÉES DU PROBLÈME

Il n'existe pas de formule simple pour définir le coût des lignes de transport ferroviaire en zones urbaine et suburbaine. Pourtant, une bonne connaissance des coûts constitue un important facteur dans le processus de décision.

Le coût de telles infrastructures est lié à de multiples facteurs que l'on peut répartir en trois rubriques :

- facteurs liés au système de transport proprement dit : capacité de la ligne,

études démontrent que les évolutions constatées ne peuvent raisonnablement pas se prolonger sans engendrer de graves conséquences sur les conditions de vie urbaine. Et il est désormais admis que c'est de l'amélioration des transports en commun que les villes doivent attendre la plus grande bouffée d'air.

L'importance des flux de déplacements à satisfaire, l'encombrement de l'espace urbain et la volonté de plus en plus affirmée de préserver et d'améliorer l'environnement conduisent dans la grande majorité des cas à recourir à des infrastructures souterraines. Or l'aménagement de telles infrastructures se heurte lui-même à l'importance de leur coût d'établissement par rapport à des infrastructures aériennes présentant certes théoriquement les mêmes fonctionnalités, mais dont l'insertion s'avère le plus souvent très difficile, voire impossible, quand elle n'est pas purement et simplement rejetée par la plupart des parties concernées.

Il entre dans la mission de l'AFTES de fournir aux maîtres d'ouvrages et décideurs des éléments d'appréciation concernant les coûts de telles infrastructures, ainsi qu'en ce qui concerne les avantages spécifiques, souvent difficilement quantifiables, des ouvrages souterrains. C'est la raison pour laquelle elle a créé un groupe de travail dont le thème est "Coûts et avantages de la réalisation d'ouvrages souterrains" et a suscité la création, au sein de l'AFTES, d'un groupe international sur le même sujet.

L'intérêt manifesté en 1981, lors des

caractéristiques du matériel roulant et des équipements, espacement des stations,

- facteurs liés à l'environnement physique : particularités du site (topographie, climat), caractéristiques du tissu urbain, encombrement du sol et du sous-sol, caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des terrains traversés,

- facteurs liés à la conjoncture et à l'environnement socio-économique.

C'est pourquoi toute évaluation d'un projet fondée sur la seule longueur des ouvrages et ne prenant pas en compte les éléments essentiels de leur définition physique et de leur environnement risque de conduire à des erreurs grossières d'appréciation.

### 3. MÉTHODOLOGIE DE CONDUITE DE L'ÉTUDE

L'objet de cette étude est l'analyse statistique des coûts de plusieurs opérations de création de lignes nouvelles ou de prolongements de lignes, cette analyse portant à la fois sur les ouvrages élémentaires et sur certains postes de dépenses individualisées.

#### 3.1. CHAMP DE L'ÉTUDE

Les sociétés qui ont participé à l'étude sont les suivantes :

- Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP),
- Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF),
- Société d'Economie Mixte d'Aménagement de l'Agglomération Lyonnaise (SEMALY),
- Société du Métro de Marseille (SMM),
- Communauté Urbaine de Lille (CUDL),
- Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS).

L'analyse porte sur 31 opérations représentant environ 300 ouvrages, soit une longueur totale de 146 kilomètres (en "équivalent deux voies" et ceci avant élimination des données inexploitables), se répartissant comme suit selon les grandes natures d'infrastructures :

##### - Infrastructures à l'air libre :

45 km environ, soit 31 % de la longueur totale,

##### - Infrastructures enterrées réalisées en tranchées couvertes :

50 km environ, soit 34 % de la longueur totale,

##### - Infrastructures enterrées réalisées en souterrains à l'avancement :

51 km environ, soit 35 % de la longueur totale.

La liste des opérations analysées est donnée en Annexe I. Chaque opération est constituée d'une ligne ou d'un tronçon de ligne formant un élément exploitable exécuté à une période déterminée et auquel il a été possible d'attribuer une date d'établissement de prix

### 3.2. OUVRAGES ÉTUDIÉS

Les opérations sont décomposées en deux classes d'ouvrages : les "ouvrages en ligne" et les stations.

Chaque "ouvrage en ligne" est constitué d'un tronçon de ligne à deux voies situé en voie courante et présentant des caractéristiques homogènes au regard :

- du type d'infrastructure : plate-forme, viaduc, tunnel,
- du niveau moyen d'implantation (par convention : niveau des voies) par rapport au niveau du sol,
- de la configuration géométrique et du dimensionnement transversal, ainsi que du caractère "monotube" ou "bitube" dans le cas des ouvrages souterrains,
- des contraintes d'environnement liées aux caractéristiques de l'urbanisation,
- des conditions géologiques et hydrogéologiques,
- des méthodes d'exécution.

Entre deux stations il peut donc y avoir un ou plusieurs "ouvrages en ligne", mais il se peut aussi qu'un même type d'ouvrage en ligne englobe plusieurs ouvrages situés sur des interstations successives. La longueur de l'ouvrage pris en compte est celle du tronçon de ligne équivalent à deux voies.

Le découpage en ouvrages ne coïncide donc pas nécessairement avec la décomposition en lots des consultations.

Chaque station constitue un ouvrage, auquel sont rattachés, outre les tronçons de ligne qui la traversent, les accès et les ouvrages annexes qui lui sont propres.

### 3.3. MODALITÉS DE RECUIEL DES INFORMATIONS ET POSTES DE DÉPENSE PRIS EN COMPTE

Le recueil des informations auprès des diverses sociétés citées précédemment a été effectué à l'aide d'un questionnaire (voir Annexe II) comportant deux feuillets pour l'opération proprement dite et quatre feuillets pour chacun des ouvrages.

Les informations collectées ont été enregistrées dans une base de données informatisée (développée à l'aide

d'un logiciel de compilation travaillant au format DBase III).

#### 3.3.1. Postes de dépenses pris en compte

Les postes de dépenses pris en compte sont les suivants :

- ingénierie de maîtrise d'œuvre, à l'exclusion des dépenses liées à l'exercice de la maîtrise d'ouvrage ; les charges correspondantes ont été forfaitairement réparties sur le coût des ouvrages, au prorata de leurs coûts respectifs,

- dépenses liées à l'environnement, à savoir :

- \* acquisitions foncières,
- \* déplacement de réseaux, rétablissement et réfections de voirie,
- \* aménagements de surface ou traitements paysagers réalisés à l'occasion des opérations, étant observé qu'il était demandé de limiter le montant de ce poste à la part de tels travaux d'accompagnement incomitant "objectivement" au maître d'ouvrage,

- génie civil : gros-œuvre, travaux spéciaux (traitements de terrains), second-œuvre,

- équipements : voie, appareils éléveurs et translateurs, installations de ventilation, de climatisation et d'épuisement des eaux, équipements de péages, alimentation et distribution de l'énergie électrique, systèmes d'aide à l'exploitation, télécommunications, etc. Nous verrons par la suite que l'importance de ce poste "équipements" n'est pas totalement liée, en ce qui concerne les ouvrages en ligne, à la nature des infrastructures ; par conséquent, l'analyse de ces ouvrages se fera en général "hors équipements".

Le coût des ouvrages annexes associés à la ligne (ouvrages de ventilation et d'épuisement, locaux techniques divers en ligne) est réparti au prorata de la longueur des tronçons de ligne. Il en est de même dans le cas des infrastructures établies à l'air libre pour les ouvrages d'art de franchissement de la ligne.

La détermination de la quote-part affectée au système de transport dans les ouvrages multifonctions (communs à plusieurs opérateurs) a été établie cas par cas sur la base des principes suivants :

- chaque fois que c'est possible, les ouvrages "détachables" sont exclus (passages souterrains ou parcs de stationnement occupant un volume disponible),

- les parois mitoyennes sont incorporées à l'ouvrage "transports".

En conséquence, pour certaines opérations complexes, le coût d'un ouvrage

ce peut différer de celui qui est supporté effectivement par l'établissement qui est maître d'ouvrage de la ligne ou du réseau de transport.

### 3.3.2. Postes de dépenses non pris en compte

Observons qu'il a été convenu au sein du groupe de ne pas prendre en compte dans l'étude les équipements et aménagements suivants : matériel roulant et systèmes embarqués, garages et complexes de maintenance, transformateurs d'alimentation traction, postes de commande centralisée, ouvrages conjugués aux points d'échange (gares routières, parcs de stationnement, etc.), ouvrages de raccordement aux autres lignes, aux garages et aux complexes de maintenance.

### 3.4. RÉFÉRENCES ÉCONOMIQUES ET RÈGLE D'ACTUALISATION

Les coûts sont établis hors TVA et se réfèrent aux conditions économiques de janvier 1990.

Les périodes d'exécution des opérations étudiées étant très variées, la conversion des coûts en francs constants et l'actualisation à la date commune de référence ont été faites en utilisant la formule de révision suivante, inspirée de celle en vigueur pour les marchés publics de travaux :

$$0,15 + 0,85 \times \text{TP01} / \text{TP01}_0$$

formule dans laquelle :

- TP01 représente la valeur en janvier 1990 de l'index général des prix de travaux publics "tous travaux" publié mensuellement dans le Bulletin Officiel de la Concurrence et de la Consommation.

- TP01<sub>0</sub> représente le même index à la date moyenne d'exécution de chaque opération considérée.

Une analyse a révélé que cette formule reflétait de façon satisfaisante l'évolution des coûts en suivant d'assez près l'évolution de l'indice du coût de la vie de l'INSEE.

L'étude de M. Zhang Chi utilisait quant à elle l'indice du coût de la vie de l'INSEE. Les deux indices conduisent à des résultats comparables, compte tenu du niveau de précision d'une telle étude.

## 4. OUVRAGES EN LIGNE

### 4.1. ANALYSE GLOBALE QUALITATIVE - INSUFFISANCE DE CETTE ANALYSE

#### 4.1.1. Recherche de critères d'analyse

Nous avons défini ci-dessus les grandes natures d'ouvrage (à l'air libre, tranchées couvertes, ou souterrains proprement dits).

Les ouvrages à l'air libre (plateformes et viaducs) n'apparaissent que dans des conditions d'environnement bien particulières et leur coût est relativement facile à déterminer en comparaison des ouvrages enterrés. Les ouvrages de cette première nature ne figureront donc dans le présent rapport que comme éléments de comparaison.

Une fois l'ouvrage exécuté, le statisticien connaît, outre le prix de revient, les méthodes employées pour l'exécution de l'ouvrage et les contraintes externes dont il a fallu tenir compte durant l'exécution. Or l'auteur du pro-

jet ne connaît au niveau de l'étude préliminaire que la consistance fonctionnelle du projet et les contraintes externes dues à l'environnement. Il serait donc intéressant de rechercher si les contraintes d'environnement suffisent seules à expliquer le coût de l'ouvrage. Pour chaque ouvrage, celles qui ont été répertoriées sont respectivement :

- l'urbanisation, avec quatre niveaux de qualification (nulle, faible, périphérie urbaine, centre-ville),
- l'immersion éventuelle des ouvrages enterrés (hauteur de nappe au-dessus du fond de fouille),
- la géologie, avec quatre niveaux de qualification (roche, bonne cohésion, faible cohésion, sans cohésion).

La distance verticale entre le plan de roulement et le sol naturel ne peut pas être considérée comme une variable indépendante de ces contraintes. C'est néanmoins un facteur important en ce qui concerne la conception des stations et de leur accès.

En ce qui concerne les ouvrages enterrés, le classement peut également être fait selon les méthodes d'exécution des travaux.

Pour les ouvrages construits en tranchées couvertes, les critères de coûts qui apparaissent a priori déterminants sont : le mode de soutènement des fouilles (blindage proprement dit et mode de soutènement), les éventuelles mesures vis-à-vis de la présence de la nappe phréatique, ainsi que les modalités d'exécution du terrassement (à ciel ouvert ou en sous-œuvre de platelages ou de la dalle supérieure de l'ouvrage).

Pour les ouvrages construits en souterrain, interviennent quatre critères : le mode d'attaque (division de section

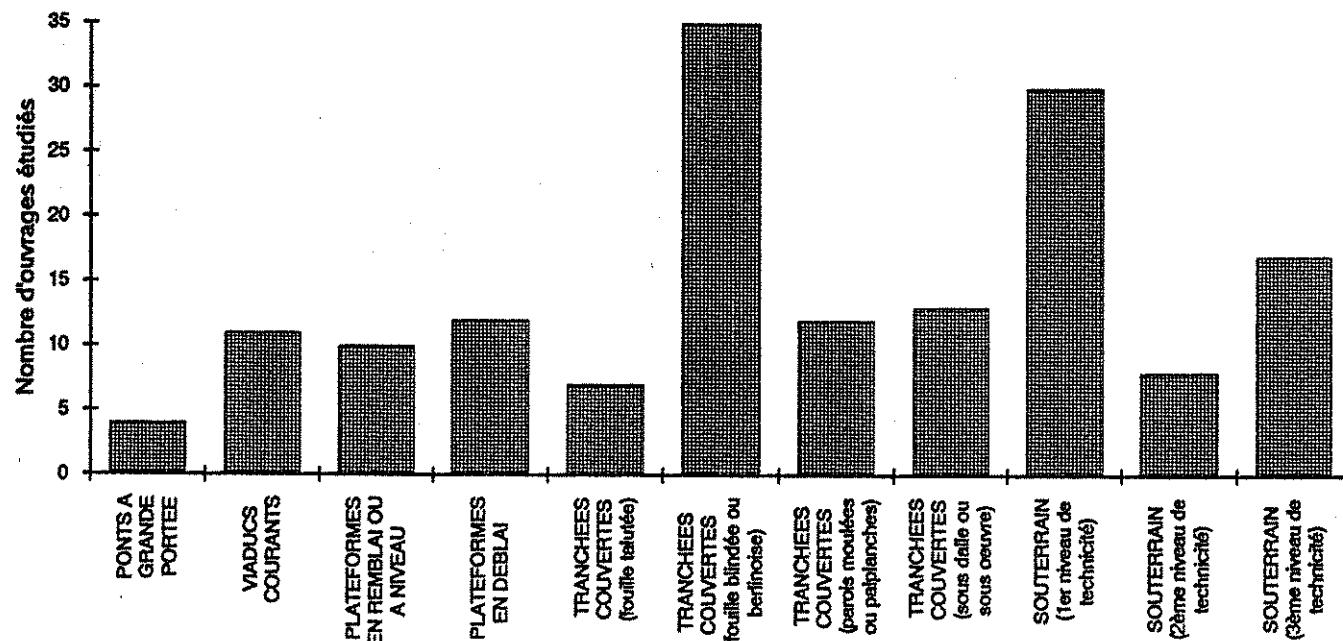


Figure 1 - Répartition de la population d'ouvrages en ligne étudiés.

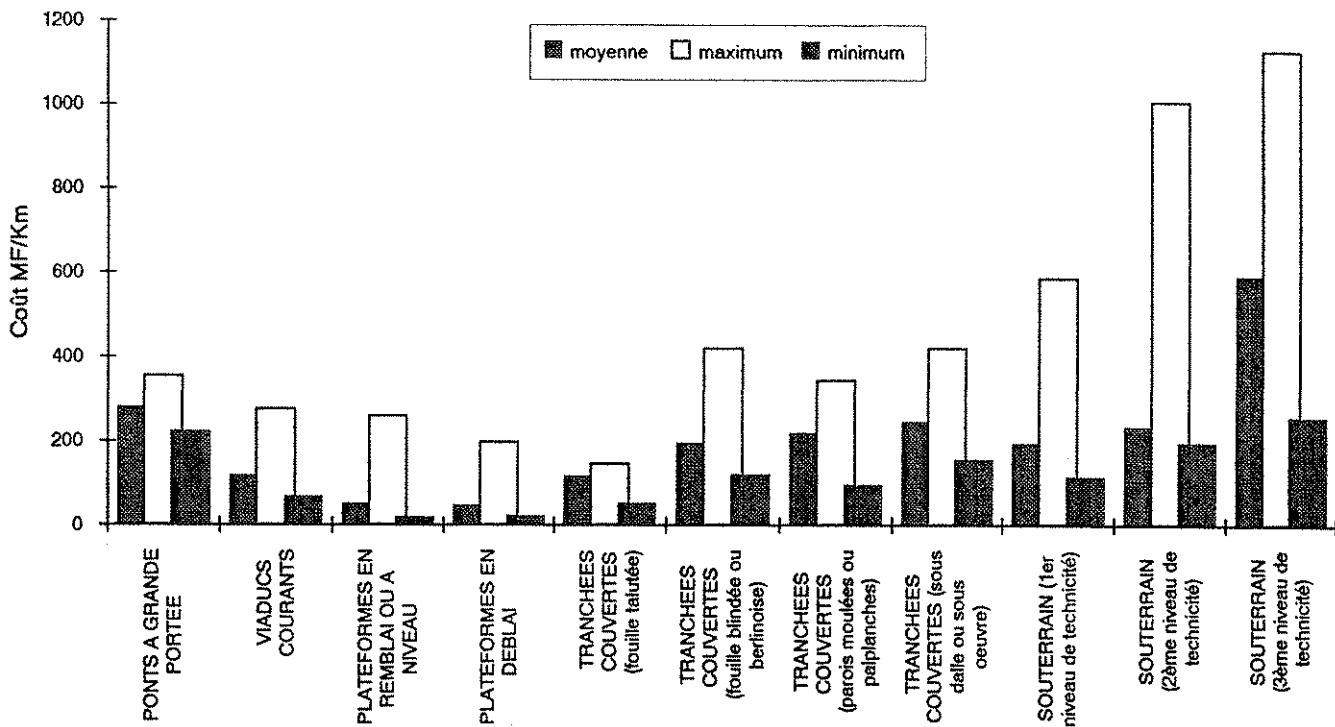


Figure 2 - Ouvrages en ligne - Coût total (équipement compris)

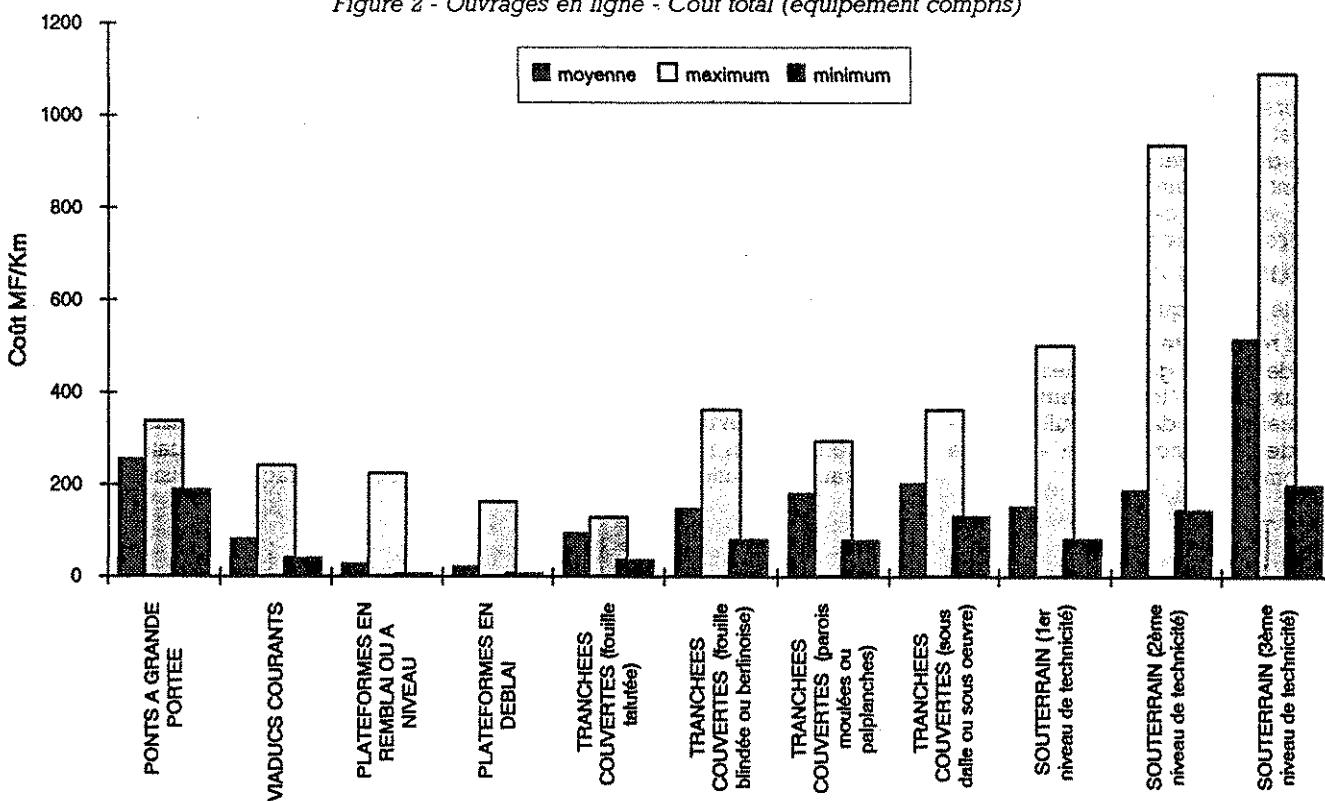


Figure 3 - Ouvrages en ligne - Coût hors équipement

plus ou moins poussée), la réalisation éventuelle de traitements de terrains et les modalités de leur exécution (depuis la surface, une galerie ou le front de taille), le type de soutènement et les modalités d'exécution du creusement (degré de mécanisation, explosif, etc.). Les niveaux de technicité résultant de cette classification sont explicités ci-après.

La Figure 1 donne la répartition des ouvrages en ligne étudiés selon les grandes natures d'infrastructures.

Les Figures 2 et 3 donnent les fourchettes générales de coûts rencontrées pour les ouvrages en ligne, respectivement équipements compris et hors équipements.

Les coûts d'équipement (ingénierie

correspondante comprise) qu'il faut ajouter au coût des infrastructures sont en moyenne, au kilomètre de ligne, de 27,7 MF/km pour un ouvrage en viaduc ou en plateforme, de 42 MF/km pour un ouvrage exécuté en tranchée couverte et de 52,4 MF/km pour un ouvrage exécuté en souterrain.

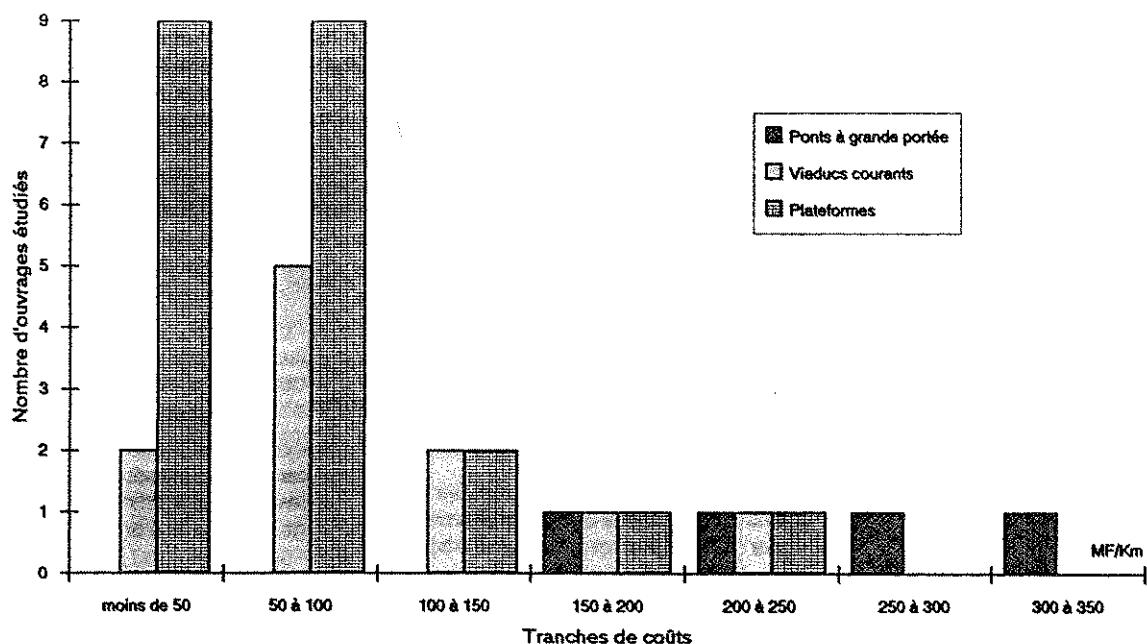


Figure 4 - Ouvrages en ligne à l'air libre - Distribution des coûts hors équipement selon la nature d'ouvrage

tion régulière, la valeur correspondant au plus grand nombre d'échantillons rencontrés, laquelle correspond à une valeur "dominante". La moyenne pon-

dérée est généralement la plus faible de ces valeurs parce que, dans ce cas, les ouvrages les plus longs, généralement les moins chers, "tirent" la

#### 4.1.2. Distribution et valeurs moyennes des coûts selon la nature des ouvrages et les méthodes d'exécution

##### 4.1.2.1. Ouvrages à l'air libre

Rappelons que ces ouvrages ne figurent dans le présent rapport que comme éléments de comparaison. Leur prix, et ce n'est pas une surprise, est généralement inférieur à celui de la plupart des ouvrages enterrés, excepté pour les ponts de grande portée dont les coûts sont, en moyenne, du même ordre de grandeur que ceux de certains ouvrages enterrés, si l'on excepte bien sûr ceux d'un niveau de difficulté exceptionnel. Ceci démontre que, pour le franchissement des grandes coupures, le choix entre "aérien" et "souterrain" n'est pas forcément de stricte nature économique et confirme le poids de certains autres facteurs, en particulier ceux relatifs à la protection de l'environnement.

La Figure 4 donne, pour les ouvrages établis à l'air libre, la distribution des coûts (hors équipements) en fonction de la nature de ces ouvrages, et la Figure 5, la distribution de ces coûts en fonction des caractéristiques générales de l'urbanisation.

Il convient ici d'indiquer, ce qui vaut pour toute la suite de l'étude, que pour le calcul de prix moyens relatifs à un groupe d'ouvrages, il est possible de prendre en compte, soit la moyenne pondérée par la longueur des ouvrages, soit la simple moyenne arithmétique calculée sur la base du nombre d'échantillons, soit, en cas de distribu-

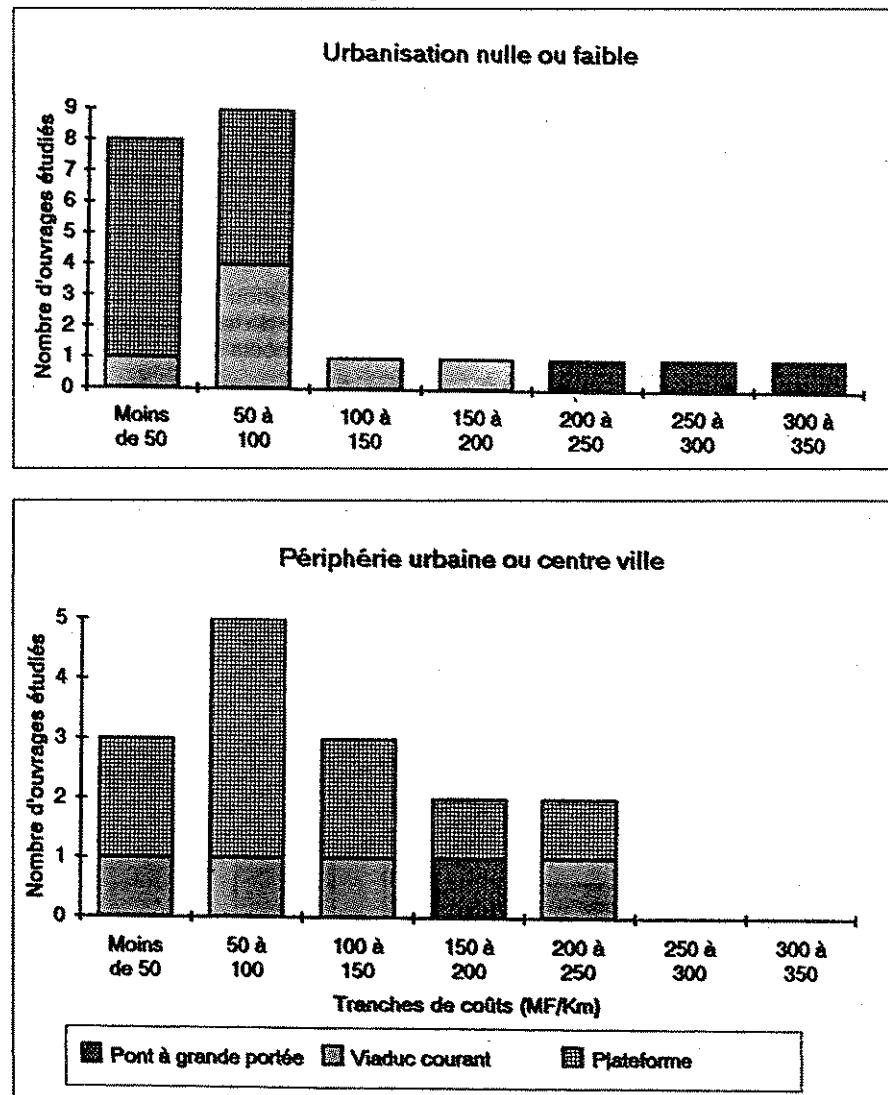


Figure 5 - Ouvrages à l'air libre - Distribution des coûts hors équipement selon l'urbanisation

moyenne vers le bas par rapport à la "dominante".

*Les coûts (hors équipements) se situent aux niveaux suivants :*

- *Viaducs : 100 MF/km en moyenne pondérée dont :*

\* *Viaducs courants : dominante à 90 MF/km*

\* *Ponts à grande portée : dominante à 250 MF/km*

- *Ouvrages en plateforme : 25 MF/km en moyenne pondérée, dominante à 50 MF/km.*

#### 4.1.2.2. Ouvrages enterrés réalisés en tranchées couvertes

Les maîtres d'ouvrages attendent généralement de ces ouvrages un coût inférieur à celui des ouvrages exécutés en souterrain, mais ce n'est pas toujours vrai (voir Figure 3).

Ce coût dépend assez peu de la méthode employée, si l'on excepte bien sûr l'exécution en fouille talutée, dont le domaine d'application se limite forcément aux zones faiblement urbanisées. Toutefois, en raison de l'incidence des contraintes d'environnement et en particulier de celles liées à la présence des réseaux souterrains des divers concessionnaires, les cas où le coût de tels ouvrages peut dépasser celui du même ouvrage exécuté en souterrain ne sont pas rares. Il est donc important de choisir ce type d'ouvrage après un examen sérieux des conditions d'exécution, ce qui suppose notamment une bonne connaissance des réseaux de concessionnaires au moment de l'établissement du projet.

Un classement selon les méthodes d'exécution permet de distinguer trois

types principaux pour cette classe d'ouvrages en fonction des caractéristiques des fouilles dans lesquelles ils sont construits, pour lesquels les coûts moyens pondérés s'établissent comme suit (voir Figure 3) :

- **97 MF/km** pour les ouvrages exécutés en **fouilles talutées**,

- **151 MF/km** pour les ouvrages exécutés en **fouille blindée ou à l'abri de blindage de type "berlinois"**,

- **183 MF/km** pour les ouvrages exécutés à l'abri de **parois moulées ou de palplanches**.

La distribution de ces coûts apparaît sur la Figure 6.

Le cas des **ouvrages exécutés sous dalle ou en sous-œuvre** a été traité à part. Ces ouvrages peuvent apparaître d'ailleurs à une quelconque des catégories précédentes. Il apparaît que pour cette famille, le **prix moyen est de 205 MF/km** et la distribution remarquablement régulière (voir Figures 3 et 7).

#### 4.1.2.3. Ouvrages enterrés réalisés en souterrain à l'avancement

L'exécution des infrastructures de transport en souterrain permet certes de s'affranchir de certaines contraintes d'environnement de la surface mais, en raison de la diversité des conditions d'exécution rencontrées, cette famille d'ouvrages présente une très grande dispersion des coûts.

Une classification a donc été recherchée, en vue de tenter d'expliquer les niveaux de coûts constatés.

Pour établir cette classification, les quatre critères cités précédemment

(voir § 4.1.1.) ont été examinés successivement en ce qui concerne le nombre des ouvrages rencontrés et la distribution des coûts dans chaque classe. Le mode de soutènement n'a pas paru à cet égard suffisamment significatif pour être pris en compte.

Finalement, la classification adoptée comporte trois "niveaux de technicité", définis dans la Figure 8 en fonction :

- du **mode d'attaque de la section**, pour lequel trois modes ont été pris en compte : pleine section, pleine demi-section supérieure et section divisée,

- de la **réalisation éventuelle de traitements de terrains** et des modalités de leur exécution : depuis la surface, une galerie ou le front de taille,

- du **mode d'exécution du terrassement**, mécanisé (tunneliers ou machines à attaque ponctuelle) ou non.

L'étude de M. Zhang Chi, utilise cette même classification (chapitre 4.3), induite par l'analyse des échantillons étudiés. Observons que cette classification n'est pas complètement indépendante de la configuration de l'échantillonnage. L'emploi pour les ouvrages futurs d'autres technologies que celles qui ont été employées dans les échantillons analysés (jet grouting, tunneliers à confinement, injection à partir de puits "viennois") pourrait conduire à la réviser.

La Figure 3 donne la fourchette générale des coûts (hors équipement) et la figure 9 leur distribution selon ces niveaux de technicité. Il ressort d'une analyse que les moyennes pondérées s'établissent comme suit :

- **155 MF/km** pour le premier niveau de technicité,

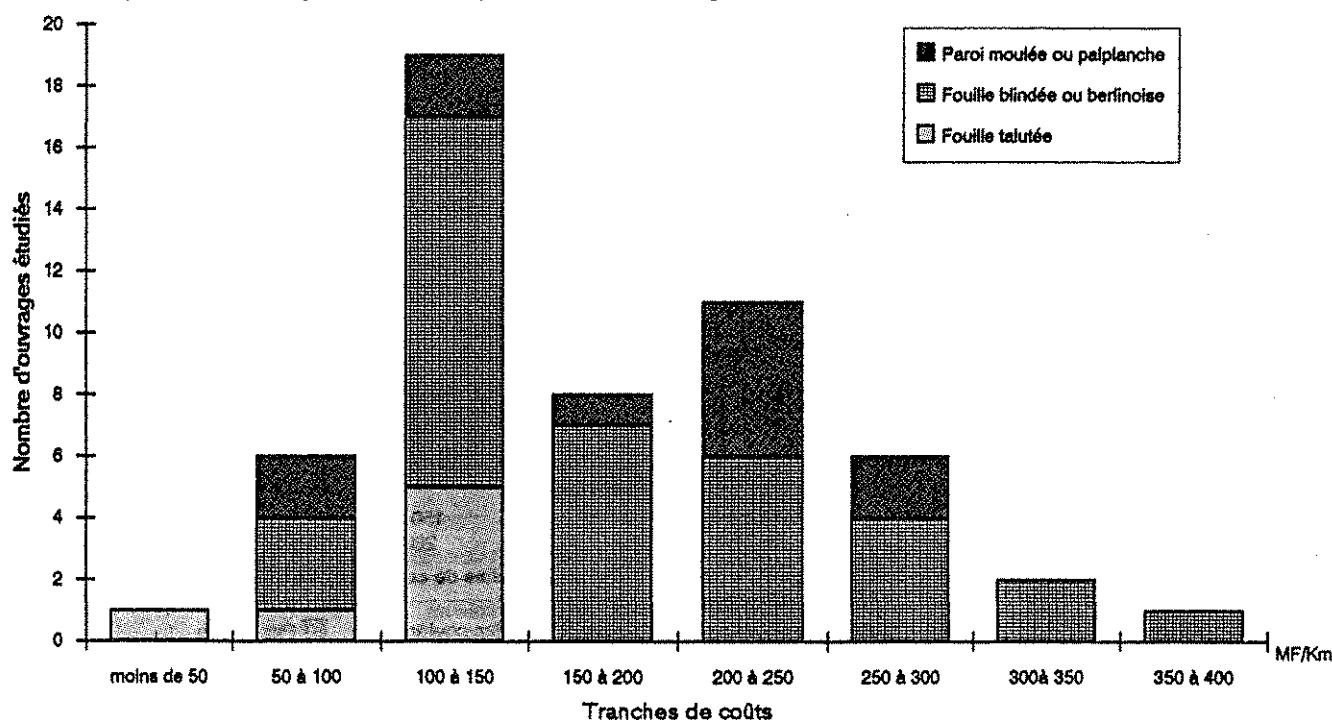


Figure 6 - Ouvrages en ligne - Tranchées couvertes - Distribution des coûts hors équipement selon les méthodes d'exécution

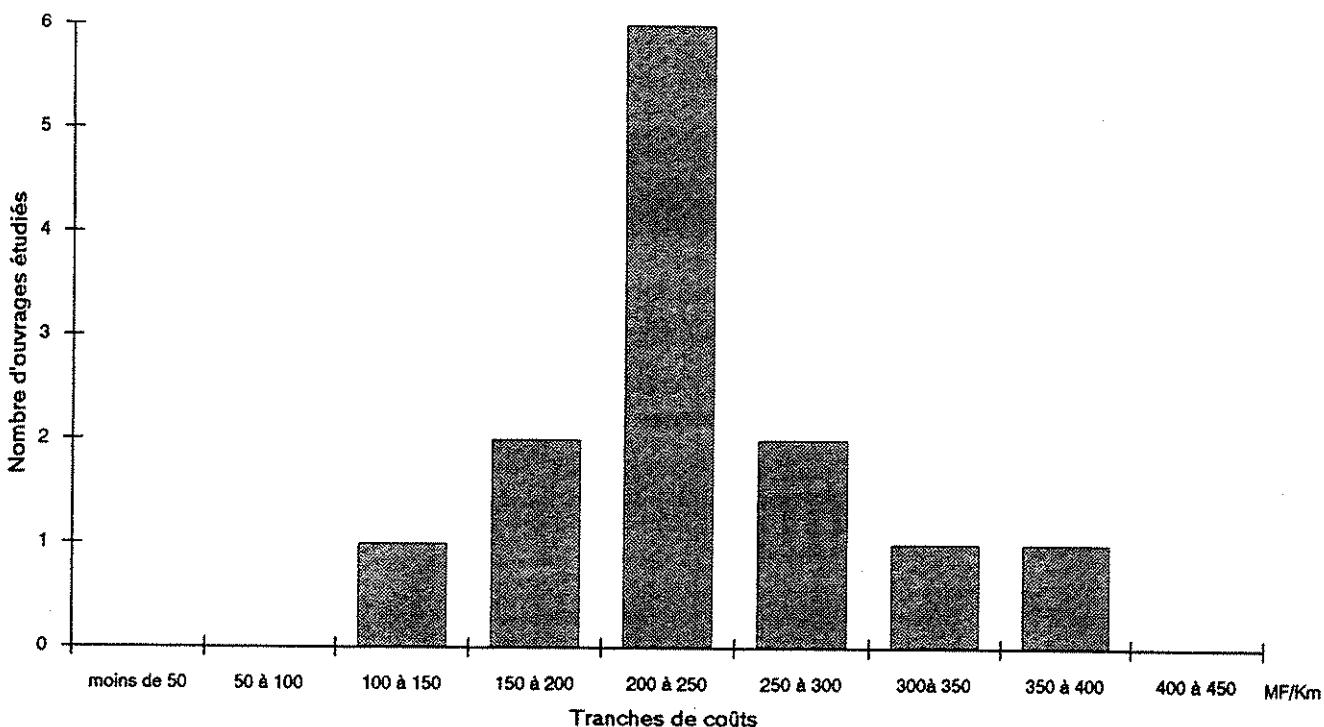


Figure 7 - Ouvrages en ligne - Tranchées couvertes exécutées sous dalle - Distribution des coûts hors équipement

- 191 MF/km pour le second niveau de technicité,

- 517 MF/km pour le troisième.

La dispersion reste importante mais la graduation des coûts suit celle des niveaux retenus.

#### 4.1.3. Incidence des contraintes d'environnement

Il serait du plus grand intérêt pour les auteurs de projets d'avoir une corréla-

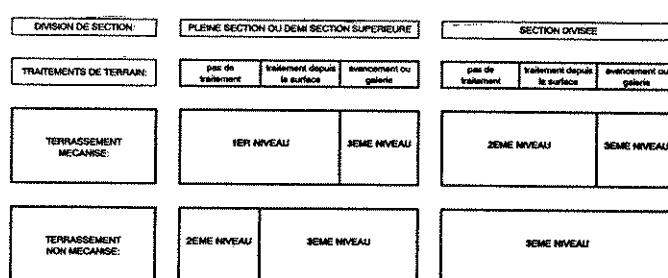


Figure 8 - Ouvrages en ligne - Exécution en souterrain  
Définition des niveaux de technicité selon les méthodes d'exécution

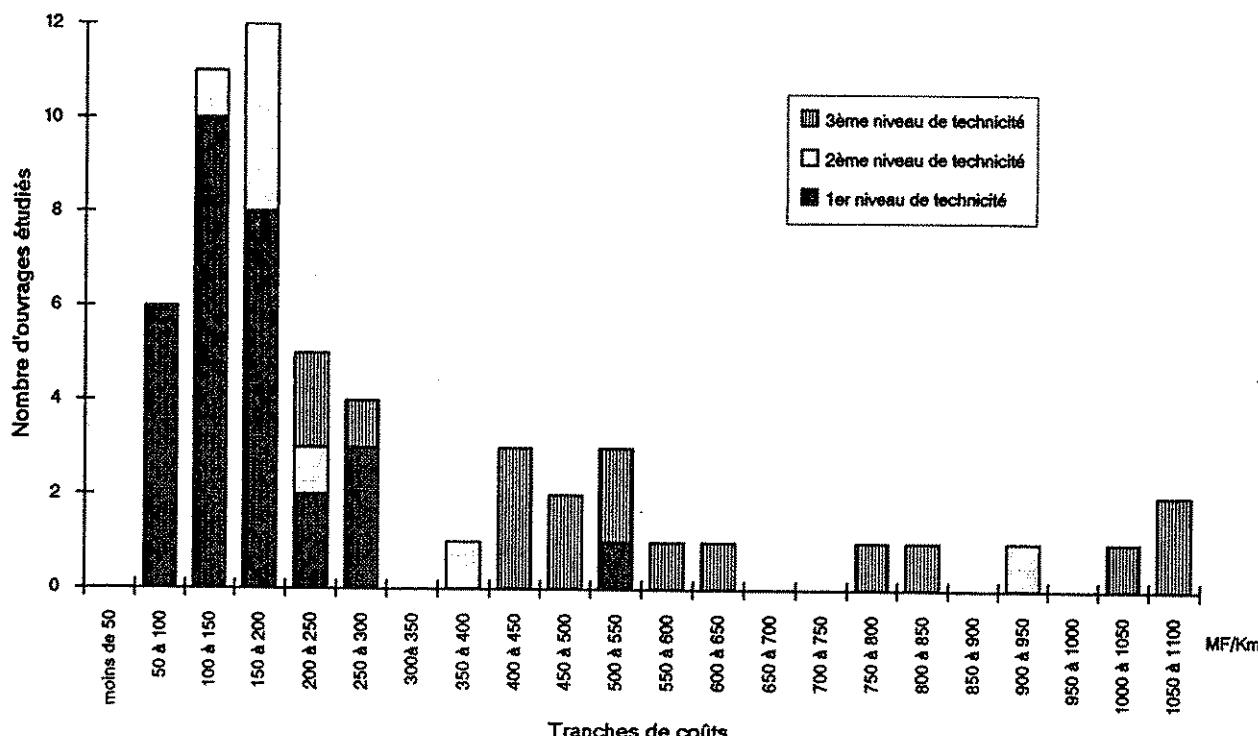


Figure 9 - Ouvrages en ligne - Exécution en souterrain  
Distribution des coûts hors équipement selon les niveaux de technicité des méthodes d'exécution

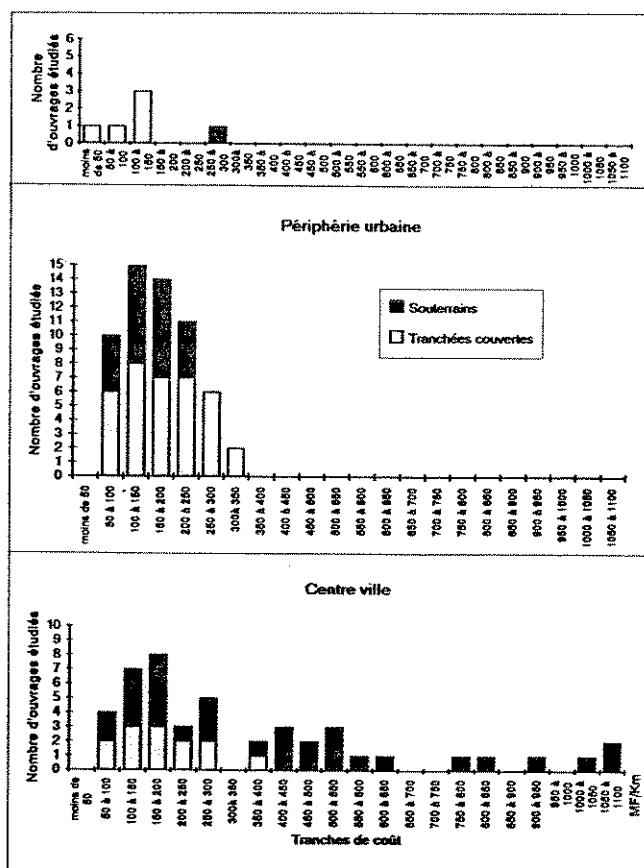


Figure 10 - Ouvrages en ligne enterrés - Distribution des coûts (hors équipement) selon le mode d'exécution et l'urbanisation

tion entre les coûts d'ouvrages et les contraintes qualitatives d'environnement, sans préjuger de la méthode employée pour les travaux. Cependant une telle analyse qualitative montre une très grande dispersion, qui apparaît dans les histogrammes des Figures 10 et 11.

La Figure 10 qui prend en compte uniquement l'urbanisation permet cependant de faire apparaître quelques résultats intéressants. Les ouvrages localisés en zones d'urbanisation nulle ou faible sont en trop petit nombre pour être significatifs, alors que l'on constate en périphérie urbaine une distribution de coûts presque identique pour les tranchées couvertes et les souterrains et en centre ville, trois familles assez distinctes :

- la première (tranches de coûts allant de 50 à 300 MF/km), comportant quelques tranchées couvertes mais surtout des souterrains, avec des coûts analogues à ceux rencontrés en périphérie urbaine,

- la seconde (tranches de coûts allant de 350 à 650 MF/km), composée uniquement de souterrains,

- la troisième, composée de quelques ouvrages isolés exécutés en souterrain dans des conditions de difficulté exceptionnelles, et partant d'un coût très élevé.

La même Figure 10 montre également que, tous modes d'urbanisation confon-

dus, il existe globalement trois classes d'ouvrages :

- une première classe d'ouvrages qui apparaît dans tous les cas d'urbanisation et dont le coût moyen est de l'ordre de 200 MF/km d'équivalent deux voies,

- une seconde classe d'ouvrages qui n'apparaît qu'en centre ville avec des ouvrages exclusivement souterrains et un coût moyen de l'ordre de 500 MF/km,

- enfin quelques ouvrages isolés, qui constituent la troisième classe et atteignent des coûts supérieurs à 800 MF/km.

La Figure 11, qui combine le facteur "urbanisation" avec ceux relatifs à la géologie et à l'hydrogéologie ne permet pas de dégager des enseignements significatifs. L'incidence combinée des divers critères fera l'objet d'une analyse approfondie (voir Chapitre 4.2).

Observons enfin que, dans le cadre d'une prochaine itération de la présente étude, il serait intéressant de définir deux classes supplémentaires d'urbanisation bien spécifiques :

- d'une part, les zones en réaménagement, où le bâti existant est appelé à disparaître pendant ou après les travaux (ZAC par exemple),

- d'autre part les périphéries urbaines

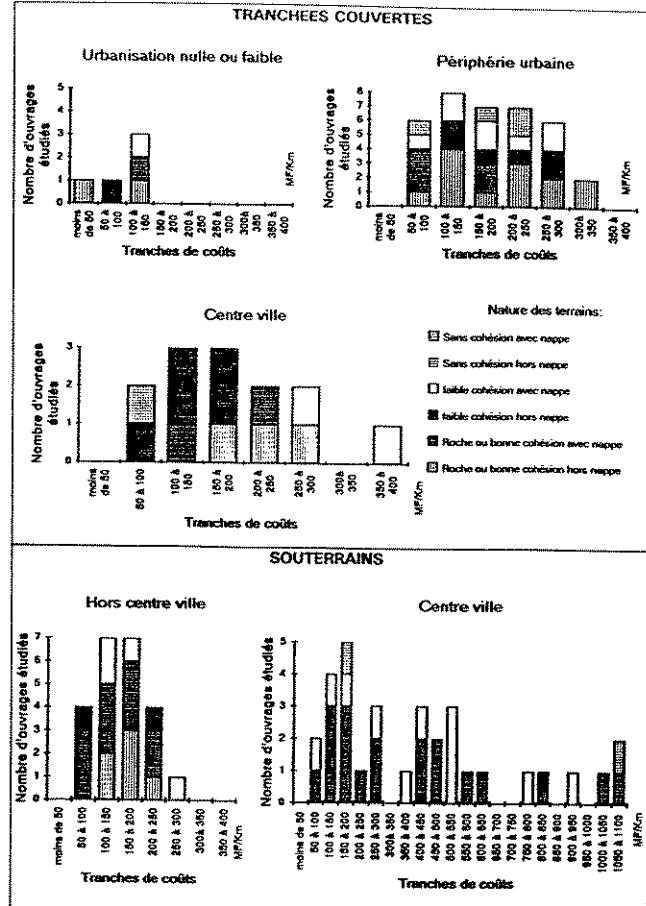


Figure 11 - Ouvrages en ligne enterrés - Distribution des coûts (hors équipement) selon la nature des terrains et l'urbanisation

particulièrement sensibles (hyper-centre des agglomérations, quartiers historiques, sites protégés, etc.).

#### 4.1.4. Répartition des coûts selon les principaux postes de dépenses

La Figure 12 donne, pour chacune des grandes natures d'ouvrages, la répartition des coûts selon les grands postes de dépenses. Il en ressort notamment que :

- les frais de déviation des réseaux et de voirie (liés à l'environnement immédiat en surface) sont importants pour les tranchées couvertes autres qu'en fouille talutée,

- les coûts du foncier les plus faibles sont rencontrés pour les ouvrages exécutés en souterrain, les ponts et les tranchées couvertes réalisées en fouilles talutées, ce qui n'est pas surprenant ;

- le poste "gros œuvre" représente une part comprise entre 50 et 75 % pour les ouvrages enterrés,

- pour les mêmes ouvrages, le poste global "génie civil" (gros œuvre + traitements de terrains) représente une part pouvant atteindre 82 % (souterrains de technicité 3),

- le coût des équipements est à peu près constant et indépendant du type d'ouvrage (cas des ouvrages enterrés), ce qui semblait prévisible ; ce

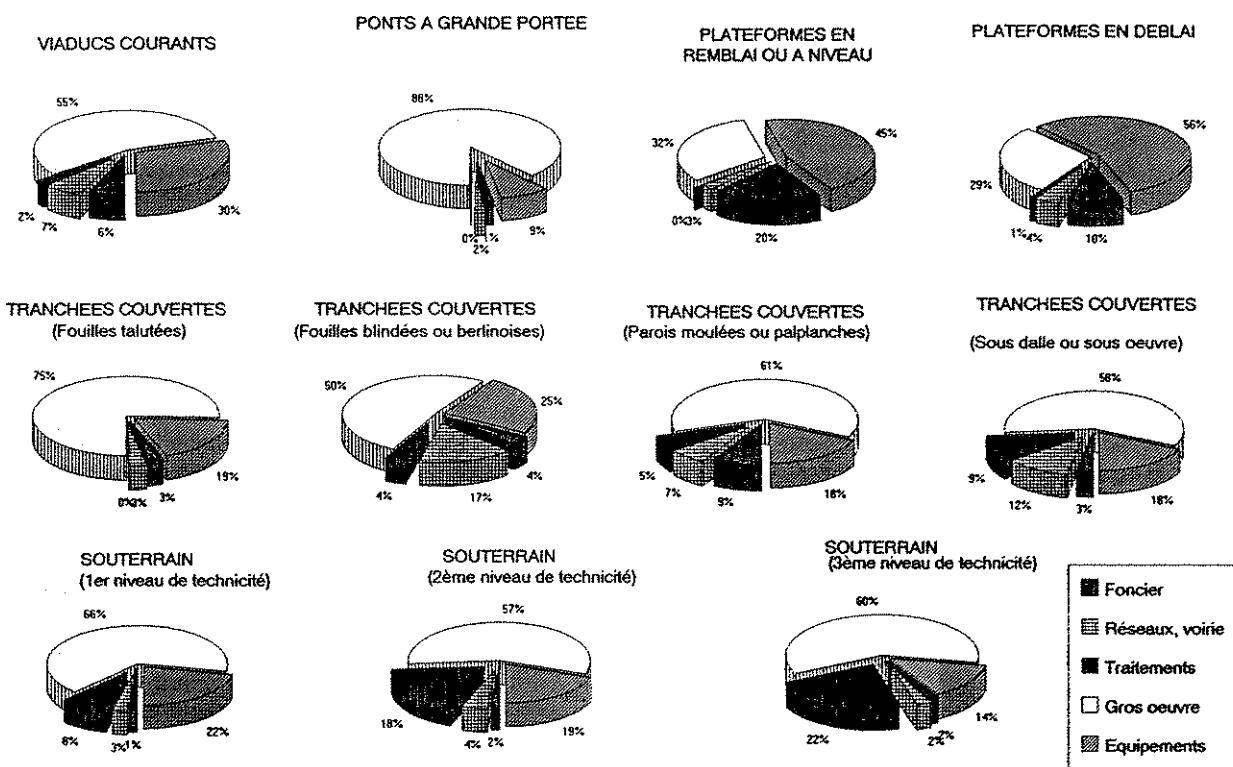


Figure 12 - Ouvrages en ligne - Répartition des coûts moyens selon les grands postes de dépenses

coût est d'ailleurs difficile à appréhender par ouvrage car les marchés correspondants sont souvent passés pour l'ensemble d'une ligne.

Le poste "ingénierie" a été réparti sur les autres postes car il est calculé très diversement selon les maîtres d'œuvre. En moyenne, celui-ci représente 10,7 % de la masse des travaux (équipements compris).

#### 4.1.5. Limites des analyses globales qualitatives

Pour intéressantes qu'elles soient, les analyses précédentes, effectuées nécessairement sur un nombre limité de facteurs ne conduisent pas à des interprétations totalement significatives. Il convient donc de procéder à des analyses plus fines, mettant en œuvre des outils statistiques avancés permettant d'apprécier l'incidence de plusieurs facteurs pris simultanément.

C'était l'objet de l'étude de M. Zhang Chi. Comme nous l'avons dit, les échantillons analysés y sont les mêmes mais des différences subsistent en ce qui concerne la sélection des échantillons et le choix des formules d'actualisation des prix.

Le chapitre 4.2 sera consacré au rappel des résultats de cette étude et aux commentaires qu'elle appelle. Les figures 13 à 15 proviennent de ce document.

#### 4.2. ANALYSE APPROFONDIE DES OUVRAGES EN LIGNE

Les analyses utilisent des méthodes statistiques avancées (régressions simples et multiples).

Les coûts y sont exprimés en **Milliers de Francs par mètre linéaire d'ouvrage**, évalués aux conditions économiques de janvier 1990. Par ailleurs, tous les coûts sont "hors équipements".

##### 4.2.1. Coût total

La Figure 13 (1<sup>er</sup> graphe) donne la distribution des coûts des ouvrages enterrés selon les longueurs construites, en distinguant les ouvrages réalisés en tranchée couverte et ceux réalisés en souterrain à l'avancement et en indiquant le type de réseau auxquel appartiennent les divers ouvrages : métros urbains ou métros régionaux. **Trois familles d'ouvrages** sont considérées :

- Exécution en souterrain - Métros urbains
- Exécution en souterrain - Métros régionaux
- Tranchées couvertes - Métros urbains.

Le classement des ouvrages selon ces trois familles apparaît pertinent car :

- d'une part, l'incidence des contraintes extérieures diffère sensiblement selon que l'on adopte le parti d'exécu-

ter l'ouvrage en tranchée couverte ou à l'avancement,

- d'autre part, l'insertion dans l'environnement des ouvrages du métro régional est plus difficile, compte tenu notamment des caractéristiques du système de transport, qui impose entre autres des sections d'ouvrages plus importantes et des règles de tracé plus contraignantes (rayons minimaux et caractéristiques de profil admissibles).

##### 4.2.2. Analyse des facteurs

L'étude citée en référence présente les coûts dans leur ensemble et recherche les causes de leur dispersion et les facteurs déterminants de leur valeur.

La méthode employée permet grâce aux régressions linéaires de rechercher des formules reproduisant le plus correctement possible les valeurs des coûts et susceptibles de servir par la suite à des estimations prévisionnelles, sous réserve bien sûr que le projet correspondant présente des caractéristiques comparables à celles rencontrées pour les ouvrages de l'échantillon.

###### 4.2.2.1. Analyse des facteurs pris isolément

Parmi les analyses de facteurs pris isolément, celles qui sont relatives à

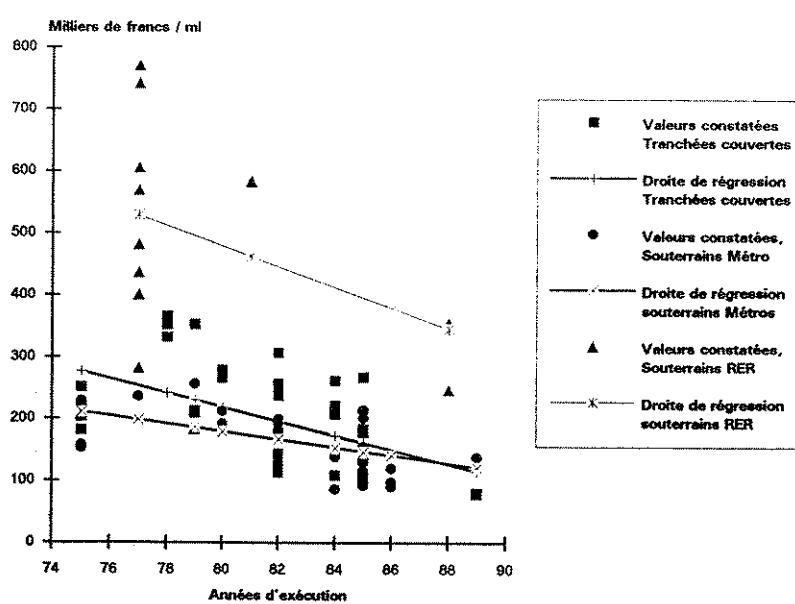
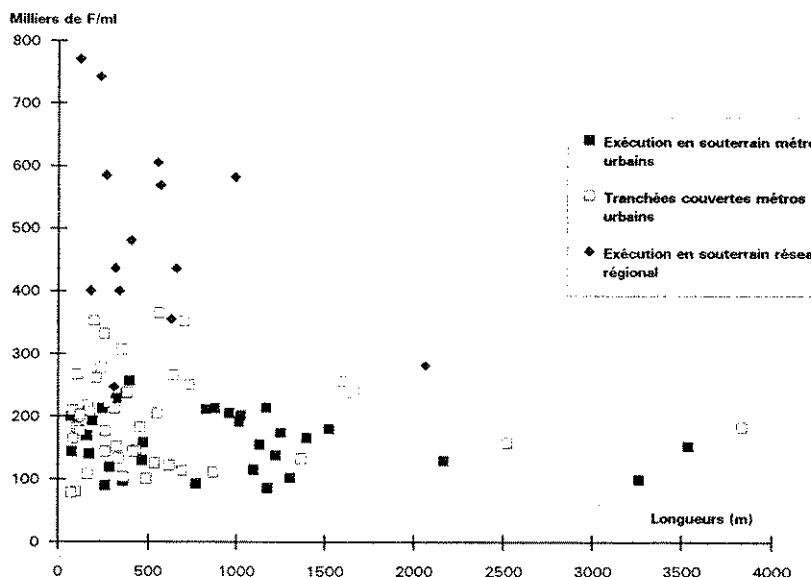


Figure 13 - Ouvrages en ligne enterrés - Distribution des coûts hors équipement selon le mode d'exécution, la longueur réalisée et le type de réseau.  
Evolution de ces coûts dans le temps.

l'évolution dans le temps, à l'incidence de la section terrassée et au volume de structure présentent une importance particulière.

La Figure 13 (2<sup>e</sup> graphe) montre bien la tendance à la baisse des coûts au cours du temps (3,5 % en moyenne par an). Cette tendance est confirmée par certaines des analyses par régression multiple. Mais comme la régression a été conduite avec un modèle linéaire, il faudrait se garder d'opérer une extrapolation. Par ailleurs, compte tenu de la diversité des ouvrages étudiés, la dispersion est importante.

La Figure 14 montre la relation entre le coût et la section terrassée ( $m^2$ ) pour les ouvrages réalisés en souterrain.

Une bonne valeur de la corrélation ( $R^2 = 0,76$ ) semble démontrer que la relation est significative. Cette figure fait cependant apparaître deux familles d'ouvrages bien distinctes, la deuxième regroupant en majorité des ouvrages au gabarit RER. Pour cette famille d'ouvrages, la progressivité est beaucoup plus importante. C'est la conséquence du fait que les ouvrages à plus forte section correspondent généralement aux points singuliers de la ligne et sont donc plus courts, plus délicats à réaliser et moins susceptibles d'une mécanisation du creusement. La formule correspondante :

$$C = -231,20 + 7,45 S$$

$S = \text{section terrassée } (m^2)$

est donc à utiliser avec la plus grande prudence.

La figure 15 montre, quant à elle, la relation entre le coût et le volume de structure mise en place ( $m^3/ml$ ), toujours pour les ouvrages réalisés en souterrain. Bien que la corrélation soit moins bonne que pour la section terrassée ( $R^2 = 0,65$ ), la répartition des valeurs est nettement plus homogène. Une étude est d'ailleurs en cours au sein du groupe de travail, dans le cadre de l'analyse des coûts du génie civil seul, pour déterminer l'incidence effective du volume de structure de divers ouvrages, y compris des sta-

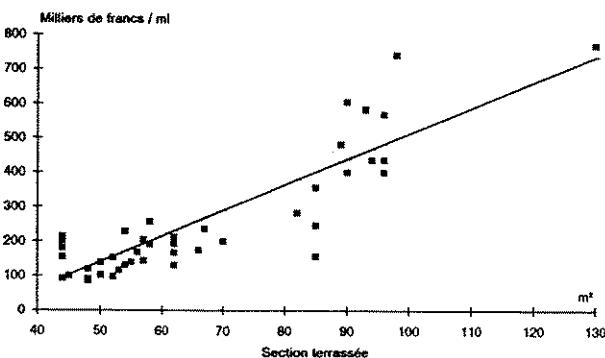


Figure 14 - Ouvrages en ligne enterrés  
Exécution en souterrain - Coût hors équipement  
en fonction de la section terrassée

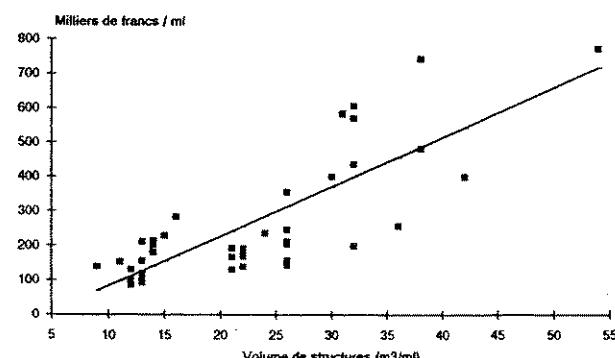


Figure 15 - Ouvrages en ligne enterrés  
Exécution en souterrain - Coût hors équipement  
en fonction du volume de la structure

tions et des ouvrages ponctuels. Rappelez la formule issue de la régression :

$$C = -60,44 + 14,37 V$$

**V = volume de structure (m<sup>3</sup>/ml)**

Les principales conclusions de cette analyse des facteurs pris isolément sont les suivantes :

- Le volume de structure et la section terrassée des ouvrages sont deux facteurs déterminants des coûts ; ceci

éclaire une des pistes de réduction des coûts, à savoir une optimisation des dimensionnements fonctionnel et structurel des ouvrages ;

- Les analyses effectuées sur les autres variables qualitatives prises individuellement n'ont pas donné de résultats satisfaisants, ce qui n'a rien d'étonnant compte tenu de la complexité de la formation des coûts des tunnels ;

- Remarque : sur les figures 14 et 15, l'axe des abscisses ne recoupe pas

celui des ordonnées à la valeur "0". Par ailleurs, les formules ne doivent pas être extrapolées à l'extérieur de l'intervalle des valeurs explicatives.

#### 4.2.2.2. Analyse par régression multiple

L'étude citée en référence présente un certain nombre de modélisations. Les plus significatives sont résumées dans le tableau ci-après :

Libellé	Facteurs quantitatifs						Facteurs qualitatifs						Partie fixe	Coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	
	Année de construction	Ouverture intérieure (ml)	Section terrassée (m <sup>2</sup> )	Volume de structure (m <sup>3</sup> /ml)	Profondeur (m)	Hauteur immergée (m)	Urbanisation île/île ou périphérie urbaine	Urbanisation centre ville	Type d'ouvrage (RER)	Type d'ouvrage (Métro urbain)	Niveau de technicité (1er niveau)	Niveau de technicité (2ème niveau)	Niveau de technicité (3ème niveau)		
Valeur minimale	75	6,2	42	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Valeur maximale	90	12,6	130	54	28	17	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Valeurs des coefficients :</i>															
Modèle 2 - Métros régionaux, exécution en souterrain															
			7,61		-8,84	16,63								-225,8	0,75
Modèle 3 - Métros urbains et régionaux, exécution en souterrain															
			7,57			-40,37	0	208	0					49,38	0,88
Modèle 4 - Métros urbains, exécution en souterrain															
			-4,18	8,4		-53,6	0				0	29,6	60	256,7	0,8
Modèle 5 - Métros urbains et régionaux, exécution en souterrain															
			6,55		6,48	6,11					0	0	81,7	-149,6	0,88
Modèle 6 - Métros urbains, tranchées couvertes															
	-12,85	43,23		-3,06			-40,33	0						995,4	0,79

#### Formules donnant les coûts des ouvrages en ligne ; Coefficients des équations de régression relatifs à diverses variables explicatives

Les meilleurs coefficients de corrélation sont obtenus avec les modèles 3 et 5.

Dans le modèle 3, le volume de structure représente une part importante du coût expliqué ; dans le modèle 5, apparaissent la section terrassée (équivalente à la section extradossale puisqu'il s'agit d'ouvrages exécutés en souterrain) et des caractéristiques physiques d'insertion de l'ouvrage dans l'environnement. Nous voyons donc apparaître deux paramètres "classiques".

Le modèle 5 justifie partiellement le recours au volume extradossal comme unité d'œuvre pour l'évaluation du coût des ouvrages, à condition bien sûr de disposer de prix d'ordre correspondant aux principales méthodes d'exécution et d'être en mesure de prévoir ces méthodes dès le stade des premières estimations des projets.

Le modèle 3 fait apparaître une moins grande sensibilité de l'unité d'œuvre "volume de structure" vis-à-vis des contraintes externes. Il sera donc intéressant que des études plus approfondies soient conduites par le Groupe de travail sur ce paramètre.

#### 4.2.3. Conclusion de l'analyse approfondie

Le calcul des coûts des ouvrages en ligne par les formules paramétrées marque une avancée sur les méthodes faisant appel aux prix moyens ou à une unité d'œuvre unique. Certes, les analyses par régressions simples ou multiples ne peuvent pas totalement expliquer le phénomène complexe du coût d'un tunnel. Cependant, elles nous permettent de mieux comprendre ce phénomène et elles contribuent à donner un outil de prévision. Toutefois, comme il est dit dans l'étude citée en référence, leur emploi est plus complexe et leur fiabilité relative, les paramètres obtenus restant liés à l'échantillon étudié. L'introduction de nouvelles opérations et de nouveaux ouvrages pourrait donc conduire à des résultats quelque peu différents.

### 5. STATIONS (1)

L'analyse des coûts des stations se heurte à d'importantes difficultés en raison de la très grande variété des

ouvrages rencontrés, beaucoup plus importante que celle des ouvrages en ligne. Cette diversité porte sur les points suivants :

- l'importance des ouvrages, à savoir :
- \* la longueur des quais, qui varie de 52 à 325 m,
- \* le nombre de niveaux, allant de 1 à 3 et pouvant être supérieur dans certains cas particuliers,
- \* la surface totale des différents niveaux, obtenue en additionnant toutes les surfaces de plancher ou de sol, y compris celle qui est occupée par les voies en station. Cette surface totale varie de 1.000 à 8.000 m<sup>2</sup> environ,
- \* l'importance des ouvrages d'accès.
- les conditions d'exécution, à savoir :
- \* les conditions d'insertion dans le site et le type d'infrastructure adopté en voie courante,
- \* les conditions géologiques et hydrogéologiques,

(1) Le terme "station" sera utilisé également pour les ouvrages traditionnellement désignés "gares" sur certains réseaux (SNCF, RER).

\* les méthodes d'exécution mises en œuvre, en particulier pour les stations enterrées (exécution en tranchée couverte ou en souterrain).

- les caractéristiques des aménagements et équipements, qui sont fonction de l'importance des ouvrages, mais aussi du type d'infrastructure (à l'air libre ou en souterrain) et des principes et systèmes d'exploitation. C'est la raison pour laquelle le coût des stations est analysé **équipements compris**.

La Figure 16 illustre la très grande dispersion de la population des ouvrages étudiés par rapport aux facteurs suivants : surface totale, nombre de niveaux et profondeur.

Il n'a pas été possible d'analyser l'incidence de ces divers facteurs. Les tentatives de classement effectuées en fonction de certains d'entre eux n'ont pas fait apparaître de résultats intéressants.

Il a donc fallu se limiter à un classement simple intégrant plusieurs facteurs. Ce classement comporte les **quatre classes de stations** suivantes :

- stations établies sur **viaduc**,
- stations à **faible profondeur** (niveau

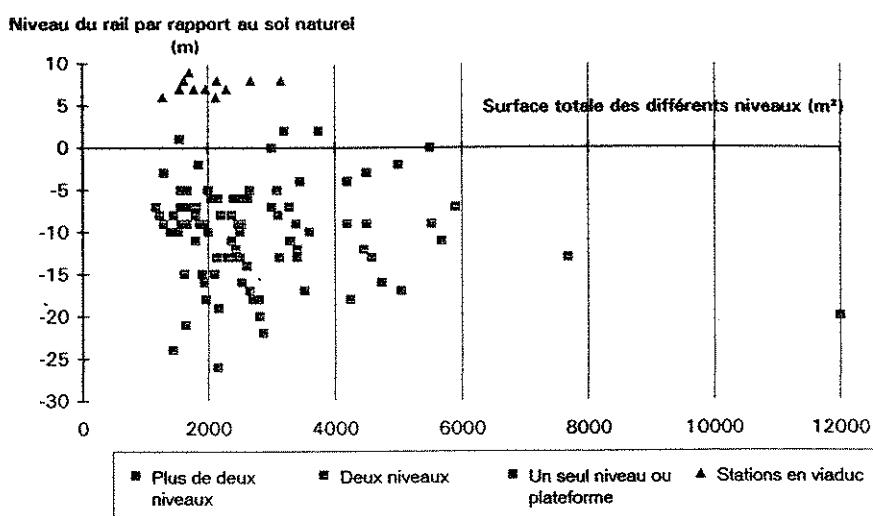


Figure 16 - Stations  
Caractéristiques générales (surface, nombre de niveaux, profondeur)

du rail situé à une profondeur inférieure à 7 m au-dessous du niveau du sol) et stations établies sur **plate-forme au sol**,

- stations à **moyenne profondeur** (niveau du rail compris entre 7 et 15 m au-dessous du niveau du sol) comportant pour la plupart 2 niveaux,

- stations à **grande profondeur** (niveau du rail situé à plus de 15 m au-dessous du niveau du sol) comportant pour la plupart 3 niveaux ou plus.

Ces quatre catégories de stations ont été repérées sur les Figures 17 et 18 qui donnent respectivement :

- le coût de l'unité de station en fonc-

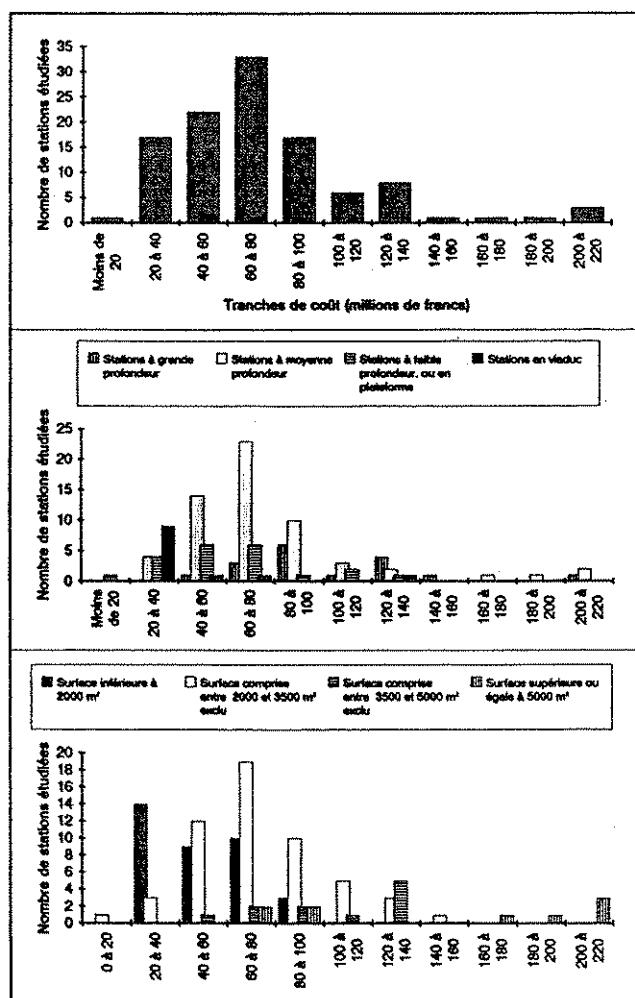


Figure 17 - Stations  
Distribution des coûts totaux

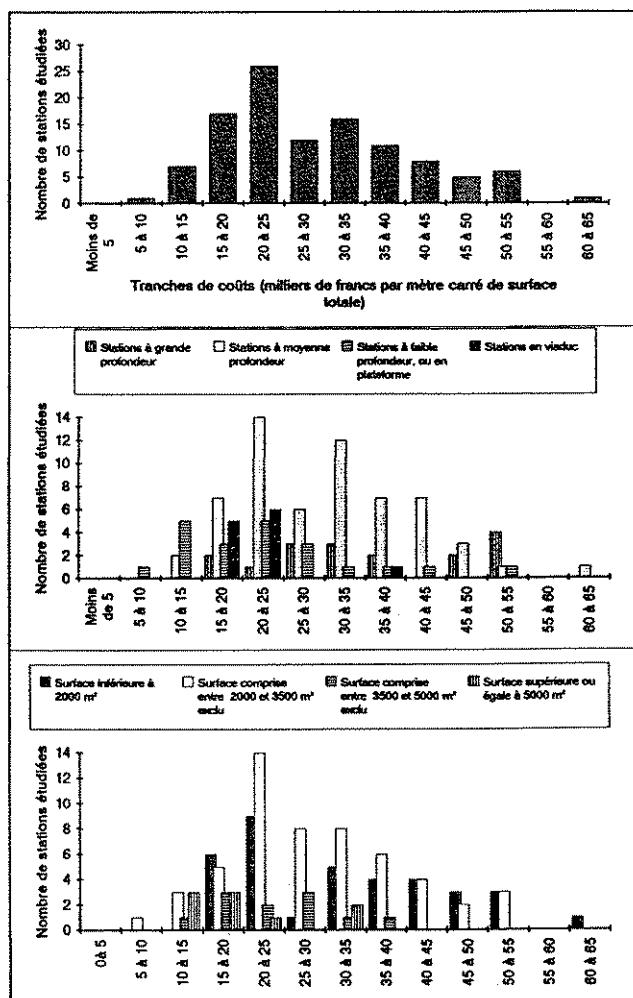


Figure 18 - Stations  
Distribution des coûts au mètre carré de surface totale

tion de la surface totale des différents niveaux,

- le coût rapporté à l'unité de surface en fonction de la surface totale des différents niveaux.

On ne peut que constater l'extrême dispersion de ces coûts.

Il ne faut par perdre de vue, en effet, que les coûts des stations ne sont pas

déterminés uniquement par la capacité de la ligne et l'environnement physique, mais aussi par le parti architectural et les spécifications relatives aux modalités d'exploitation. Seul l'effet de la profondeur semble à peu près significatif.

C'est d'ailleurs ce qui ressort des coûts moyens de stations indiqués dans le tableau suivant :

TYPES DE STATIONS	COUTS MOYENS (janvier 1990)	
	A l'unité de station (MF)	Au m <sup>2</sup> de surface (F)
Stations sur viaducs	45	21.900
Stations en plate-forme ou à faible profondeur	61	23.000
Stations à moyenne profondeur	79	32.300
Stations à grande profondeur	104	36.100

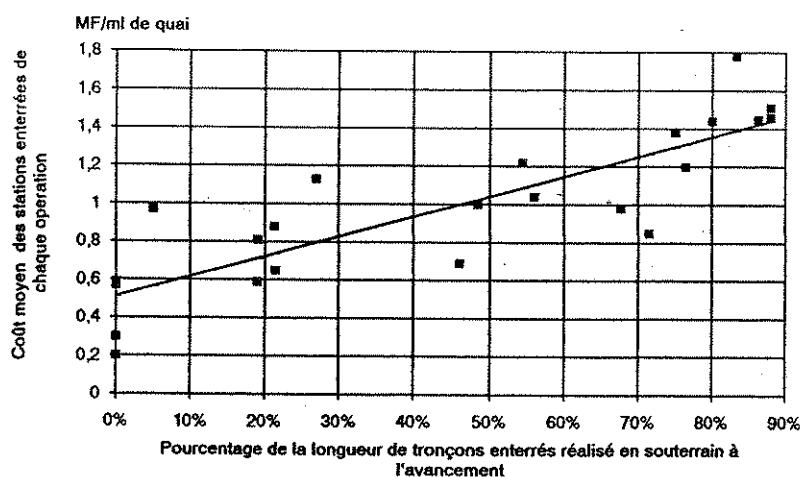


Figure 20 - Relation entre le coût moyen des stations enterrées et le pourcentage de la longueur de tronçons enterrés réalisé en souterrain à l'avancement

Comme la dispersion des coûts est très forte, il ne faut pas oublier que les valeurs réelles peuvent s'écartez d'une façon importante de ces moyennes.

Les coûts des dernières stations souterraines connues (et non analysées dans l'étude) dépassent nettement ces valeurs, non seulement en raison des conditions difficiles d'exécution en zone urbaine sensible, mais encore en raison de l'évolution de la réglementation (accès des handicapés, évaluations plus défavorables des tréfonds expropriés).

La Figure 19 donne la répartition des coûts moyens des quatre types de station suivant les principaux postes de dépenses. On constate que, contrairement aux ouvrages en ligne, cette répartition varie assez peu selon les types d'ouvrages.

Enfin, il a été procédé à une dernière analyse, inspirée par le fait que l'estimation du coût d'un projet ne se ramène pas à l'addition de coûts d'ouvrages en ligne et de stations, mais qu'il existe des interactions entre ces deux catégories d'ouvrages.

A cet effet, les deux valeurs suivantes ont été calculées pour les tronçons enterrés de chaque opération :

- d'une part, le coût moyen C (MF/ml) des stations rapporté au mètre linéaire de quai, (longueur maximale d'un train qui peut être reçu dans cette station),

- d'autre part, la proportion de la longueur des tronçons considérés réalisés en souterrain à l'avancement (variable R comprise entre 0 et 1).

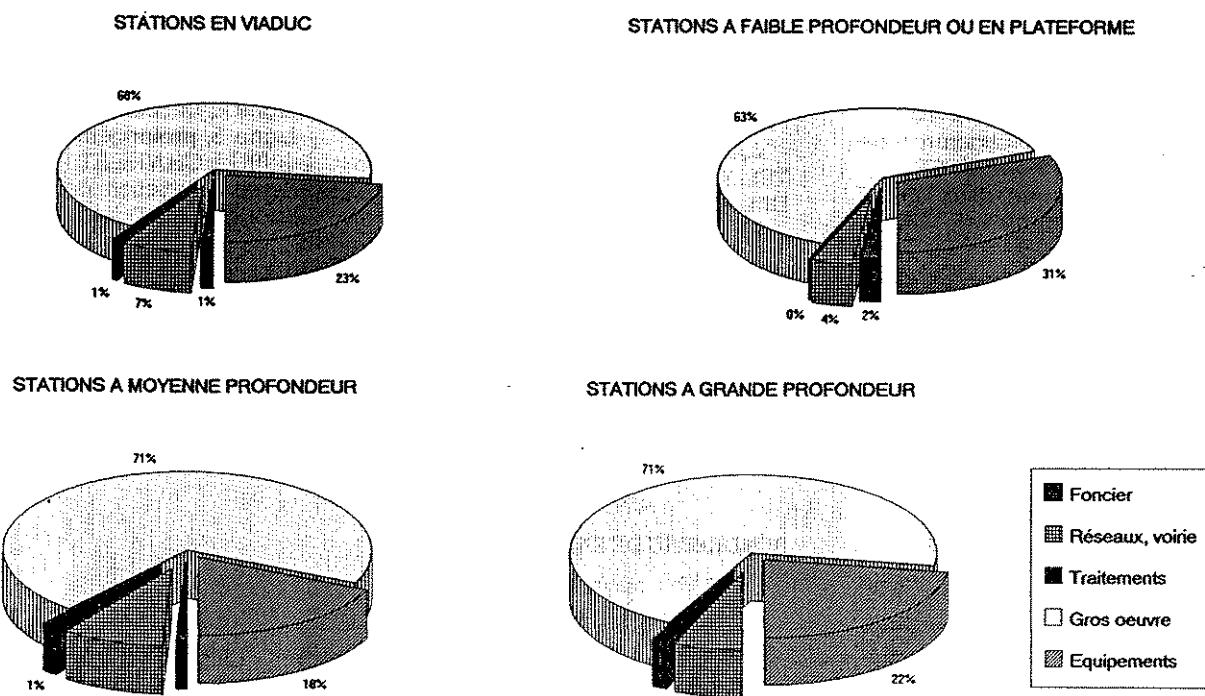


Figure 19 - Stations et gares - Répartition des coûts moyens selon les grands postes de dépenses

Une assez bonne corrélation (coefficient de corrélation de 0,72) existe entre des deux variables et la relation suivante a pu être établie pour l'ensemble des opérations :

$$C = 0,51 + 1,05 \times R$$

La Figure 20 illustre cette relation.

## 6. CONCLUSION GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

La présente étude montre, comme la précédente, la très grande diversité des facteurs influençant les coûts des ouvrages considérés. Les résultats qui s'en dégagent, est-il besoin de le préciser, sont le reflet de l'échantillon des ouvrages pour lesquels des données ont pu être collectées. Quelle que soit l'importance et la variété de cet échantillon, il est donc clair que les analyses et tendances n'ont pas, loin de là, une signification "universelle". Il convien-

dra donc d'utiliser les données qui figurent dans ce document avec la plus grande précaution pour une application à de nouveaux projets. Il ne s'agit pas d'un bordereau de prix dans lequel "il n'y a qu'à choisir", mais d'un outil de cadrage permettant de situer, confirmer ou comparer certains ordres de grandeurs de coûts. En effet, aucun outil statistique, si perfectionné soit-il, ne peut remplacer l'appréciation directe du concepteur.

Pourtant, une telle étude - comme d'ailleurs la précédente - marque une nouvelle étape importante pour une meilleure connaissance des coûts et du "pourquoi" de ces coûts. Et le fait d'avoir pu trouver un "langage commun" aux divers réseaux ayant participé à l'étude n'est certainement pas le moindre des mérites de cette étude. C'est en tout cas cet aspect - en dehors bien sûr de la recherche et de la transcription des données par les divers

réseaux - qui a demandé le plus de temps.

Le groupe trouvera sa meilleure récompense si cette étude apporte aux maîtres d'ouvrages et décideurs les éléments qui leur font souvent cruellement défaut dans ce domaine.

Mais il ne s'agit là que d'une nouvelle étape dans les recherches du groupe. Il serait notamment souhaitable qu'une telle base de données soit enrichie de façon permanente par les données relatives à des opérations récentes et aux projets qui se font jour dans d'autres villes françaises. Aussi, le groupe serait-il heureux d'accueillir des représentants de réseaux qui n'ont pu participer à la présente étude.

En tout cas, et pour conclure (provisoirement), que les Sociétés qui ont bien voulu participer à cette étude soient encore vivement remerciées.

## ANNEXE I

### LISTE GÉNÉRALE DES OPÉRATIONS

#### LILLE (CUDL) - Métro

- Ligne n° 1, tronçon de CHR B CALMETTE à QUATRE CANTONS
- Ligne n° 1 bis, tronçon de GARES à SAINT PHILIBERT

#### PARIS (RATP) - Métro

- Ligne n° 5, prolongement d'EGLISE DE PANTIN à BOBIGNY
- Ligne n° 7, prolongement de PORTE DE LA VILLETTÉ à LA COURNEUVE
- Ligne n° 7, prolongement de MAISON BLANCHE à VILLEJUIF
- Ligne n° 13, prolongement de CARREFOUR PLEYEL à SAINT-DENIS
- Ligne n° 13 bis, prolongement de PORTE DE CLICHY à ASNIÈRES
- Ligne n° 10, prolongement de PORTE D'AUTEUIL à BOULOGNE (PONT DE SAINT-CLOUD)
- Ligne n° 13, prolongement de MIRO-MESNIL à INVALIDES

#### LYON (SEMALY) - Métro

- Ligne B, prolongement de PART-DIEU à JEAN MACÉ

- Ligne C, prolongement de CROIX PAQUET à HOTEL DE VILLE
- Ligne D, tronçon de VÉNISSIEUX à GORGE DE LOUP
- Ligne A, tronçon de PERRACHE à LAURENT BONNEVAY et ligne B, tronçon de CHARPENNES à PART-DIEU.

#### MARSEILLE (SMM) - Métro

- Ligne n° 1, tronçon de CASTELLANE à LA ROSE
- Ligne n° 2, tronçon de CASTELLANE à LA JOLIETTE
- Ligne n° 1, prolongement de CASTELLANE à LA TIMONE
- Ligne n° 2, prolongement de LA JOLIETTE à BOUGAINVILLE
- Ligne n° 2, prolongement de BOUGAINVILLE à MADRAGUE VILLE
- Ligne n° 2, prolongement de CASTELLANE à SAINTE MARGUERITE-DROMEL

#### RÉGION ILE DE FRANCE (SNCF)

- RER Ligne A, desserte de la ville nouvelle de CERGY PONTOISE
- RER Ligne D, desserte de la ville nouvelle d'EVRY

- RER Ligne C, jonction d'INVALIDES à ORSAY
- RER Ligne B, desserte de l'aéroport de Paris-Nord (ROISSY-CHARLES DE GAULLE)
- TGV ATLANTIQUE - Souterrains et tranchées couvertes entre FONTE-NAY-AUX-ROSES (Hauts de Seine) et MARCOUSSIS (Essonne)
- RER Ligne C, Branche Nord Ouest, jonction de PEREIRE aux GRÉSILLONS

#### RÉGION ILE DE FRANCE (RATP) RER

- Ligne A, prolongement de VINCENNES à NOISY-LE-GRAND
- Ligne A, prolongement de NOISY-LE-GRAND (MONT D'EST) à TORCY
- Ligne A, jonction d'AUBER à NATION
- Ligne B, prolongement de LUXEMBOURG à CHATELET
- Ligne B, jonction de CHATELET à GARE DU NORD

#### STRASBOURG (CTS)

- Première ligne de tramway, tronçon de BAGGERSEE (commune d'Illkirch) à CERVANTES (quartier de Haute Pierre)

## ANNEXE II BORDEREAU DE SAISIE DE DONNÉES

(Voir pages suivantes)

**OPÉRATION**

	Code opération		
<b>Libellé opération</b>			
<b>Ville</b>			
Lille	1	Strasbourg	5
Lyon	2		6
Marseille	3		7
Paris	4		8
<b>Société</b>			
CUDL	1	SNCF	5
RATP	2	CUS	6
SEMALY	3		7
SMM	4		8
<b>Ligne</b> (numéro, indice)			
<b>Type de transport</b>			
Réseau urbain	1		
Réseau régional	2		
Réseau national	3		
<b>Période de réalisation</b>			
Date de début des travaux (mois, année)			
Date de mise en service (mois, année)			
<b>Gabarit matériel roulant (m)</b>			
<b>Nature de la ligne</b>			
Ligne nouvelle	1		
Tronçon de ligne nouvelle	2		
Prolongement de ligne existante	3		
Jonction de lignes	4		
<b>Longueur totale de la ligne</b> (km)			
<b>Longueur totale des ouvrages pris en compte</b> (km)			
<b>Longueur totale hors stations</b> (km)			
<b>Répartition de la longueur totale par classes d'infrastructure (en %)</b>			
Viaduc			
Plate-forme			
Tranchée couverte			
Souterrain			
<b>Nombre de stations</b>			
Simples			
Correspondances			
<b>Longueur des stations (quais) (m)</b>			

**CARACTÉRISTIQUES D'OUVRAGE**

Codes  
Opération  
Ouvrage

<b>Désignation de l'ouvrage</b>		
<b>Nature de l'ouvrage</b>		
Ouvrage en ligne	1	
Station	2	
Accès et correspondance(*)	3	
<b>Classe d'infrastructure</b>		
Viaduc	1	
Plate-forme : à niveau	21	
en déblai	22	
en remblai	23	
Tranchée couverte	3	
Souterrain - Traversée sous-fluviale	4	
<b>Longueur de l'ouvrage (m)</b>		
<b>Largeur de l'ouvrage/ouverture intérieure (tunnel)</b>		
<b>Section extradossale</b> (m <sup>2</sup> )		
<b>Section terrassée (tranchée)</b> (m <sup>2</sup> )		
<b>Volume de structure mis en place</b> (m <sup>3</sup> /m)		
<b>Niveau du rail par rapport au sol naturel (m)</b>		
<b>Nombre de voies</b>		
<b>Nombre de niveaux</b> (stations)		
<b>Surface totale des différents niveaux</b> (stations) (m <sup>2</sup> )		
<b>CARACTÉRISTIQUE DU SITE</b>		
<b>Urbanisation</b>		
Nulle	1	
Faible	2	
Périmétrie urbaine	3	
Centre ville	4	
<b>Nappe phréatique</b>		
Hauteur moyenne au-dessus du fond de fouille (m)		
<b>Géologie</b>		
Roche		
Bonne cohésion		
Faible cohésion		
Sans cohésion		

(\*) situés en dehors de la structure principale de la station proprement dite : pour cette nature d'ouvrage ne remplir que la fiche E2, et ne pas renseigner les autres critères de la présente fiche.

Mars 1990

	Codes Opération Ouvrage	
<b>Blindage périphérique</b>		
Fouille talutée	1	
Blindage traditionnel	2	
Paroi moulée	3	
Paroi préfabriquée	4	
Palplanches	5	
Berlinoise	6	
Procédés divers	7	
<b>Mesures vis à vis de la présence de la nappe phréatique</b>		
Aucune	1	
Rabattement de nappe	2	
Rideau d'injections périphériques	3	
Injectons en radier	4	
Pompage	5	
Procédés divers	6	
<b>Soutènement</b>		
Pas de soutènement	1	
Butons	2	
Tirants	3	
Cloutage	4	
Procédés divers	5	
<b>Terrassement</b>		
A ciel ouvert		
Sous dalle ou sous platelage		

**MÉTHODES D'EXÉCUTION EN SOUTERRAIN**

Codes  
Opération  
Ouvrage

<b>Mode d'attaque</b>		
Pleine section	1	
Pleine demi-section supérieure	2	
Demi-section supérieure divisée	3	
Procédés divers	4	
<b>Traitement de terrain</b>		
Pas de traitement	1	
Traitement depuis la surface	2	
Traitement à l'avancement en alternance avec le creusement	3	
Traitement à l'avancement à partir d'une galerie pilote		
Procédés divers	4	
	5	
<b>Soutènement</b>		
Pas de soutènement	1	
Cintres + planches de blindage	2	
Prévoûte	3	
Béton projeté	4	
Tubes	5	
Procédés divers	6	
<b>Terrassement</b>		
Machine à forer pleine section	1	
Machine à attaque ponctuelle	2	
Explosif	3	
Manuel	4	
Procédés divers	5	

Mars 1990

COUT TOTAL OPÉRATION

	Code opération
Ingénierie (hors maîtrise d'ouvrage)	██████,0
Foncier	██████,0
Déplacement de réseaux, frais de voirie	██████,0
Aménagements de surface	██████,0
<b>Génie civil</b>	
Gros oeuvre	
- Traitement de terrain	██████,0
- Gros oeuvre proprement dit	██████,0
Second oeuvre	██████,0
<b>Équipements</b>	
Voie	██████,0
Équipements électro-mécaniques	
- Appareils élévateurs ou translateurs	██████,0
- Ventilation, climatisation, épuisements	██████,0
Péages et distributeurs	██████,0
Équipements électriques	
- Courants forts	██████,0
- Courants faibles - Systèmes embarqués	<input checked="" type="checkbox"/> inclus <input type="checkbox"/> exclus
Divers	██████,0
<b>Coût total</b>	██████,0
Référence des prix (mois, année)	██ ██
Niveau de saisie des données	
1 - APS	3 - Passation marchés principaux
2 - APD	4 - Règlement définitif
Conjoncture	
1 - Favorable	3 - Défavorable
2 - Neutre	

COUT D'OUVRAGE

	Code opération
Ingénierie (hors maîtrise d'ouvrage)	██████,0
Foncier	██████,0
Déplacement de réseaux, frais de voirie	██████,0
Aménagements de surface	██████,0
<b>Génie civil</b>	
Gros oeuvre	
- Traitement de terrain	██████,0
- Gros oeuvre proprement dit	██████,0
Second oeuvre	██████,0
<b>Équipements</b>	
Voie	██████,0
Équipements électro-mécaniques	
- Appareils élévateurs ou translateurs	██████,0
- Ventilation, climatisation, épuisements	██████,0
Péages et distributeurs	██████,0
Équipements électriques	
- Courants forts	██████,0
- Courants faibles - Systèmes embarqués	<input checked="" type="checkbox"/> inclus <input type="checkbox"/> exclus
Divers	██████,0
<b>Coût total</b>	██████,0
Référence des prix (mois, année)	██ ██
Niveau de saisie des données	
1 - APS	3 - Passation marchés principaux
2 - APD	4 - Règlement définitif
Conjoncture	
1 - Favorable	3 - Défavorable
2 - Neutre	

**2<sup>e</sup> Salon International sur le perçement de tunnels et galeries et sur les excavations souterraines**

**INTERTUNNEL 94**  
20 novembre au 1<sup>er</sup> décembre 1994/Bâle, Suisse



**Le salon sur la construction des tunnels organisé en Suisse prend de l'essor avec le développement de grands projets européens.**

Le nombre de projets clés en cours de réalisation en Europe, en particulier celui d'AlpTransit en Suisse, est l'un des facteurs d'attraction de la grande diversité d'exposants internationaux aux deux expositions professionnelles concomitantes sur la construction de tunnels (**Intertunnel 94**) et sur les chemins de fer (**ET 94**).

Le Bundesrat suisse devrait autoriser le programme de construction de cet ouvrage, phases et durée de travail, vers la fin de 1994 ou au début de l'année prochaine, l'événement **Intertunnel 94** tombera donc à point nommé !

A ce jour, les 13 pays représentés à **Intertunnel 94** sont la Suisse, l'Allemagne, la Belgique, l'Autriche, la France, la Grande-Bretagne, l'Italie, les Etats-Unis, Singapour, la Suède, le Canada, la Pologne et la Finlande.

De plus amples renseignements sur **Intertunnel 94** sont disponibles auprès de Doris STIDSTON  
Mack-Brooks Exhibitions, Forum Place,  
Hatfield, Hertfordshire, ALIO ORN, Angleterre  
tél. : + 44 707 275 641, fax : + 44 707 275 544.