

Neuchâtel, le 9 juillet 1998/JEA/bon

Marcel BOURQUIN
Bureau d'études SA

Rue des Sablons 10
2000 Neuchâtel
Tél. 032 724 28 38
Fax 032 721 18 92

Ablage: **AlpTransit**
Dossier-Nr.: **211-28**
Datum: **9.7.1998**

Office fédéral des transports
Amthausgasse 18

3003 BERN

A l'att. De M. O.Middendorp

BAV	10. JULI 1998	OFT
TU Nr.:		212
KOM	DST	D
		X
		SI
In openGEKO: <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		

Réalisation de 2 tunnels à 1 voie en lieu et place de 1 tunnel à 2 voies

Monsieur,

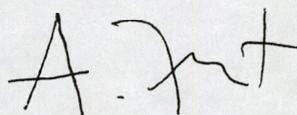
Nous vous remettons ci-joint, en 4 exemplaires, le rapport final relatif à l'objet sous rubrique.

Nous avons inclus dans le même document notre premier rapport du 18.05.98 et notre deuxième étude relative à une comparaison des coûts pour les deux systèmes de tunnel (à 2 voies ou 2 x 1 voie).

Nous espérons que notre étude vous donnera satisfaction, et restons à votre entière disposition pour des commentaires éventuels, ou pour tout complément que vous pourriez souhaiter.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de notre parfaite considération.

Marcel BOURQUIN
Bureau d'études SA



A. Jeanneret

BAV	
10. JULI 1998	
<input checked="" type="checkbox"/>	T
<input checked="" type="checkbox"/>	1 mio 3 Ex.
<input type="checkbox"/>	sbe
<input type="checkbox"/>	sup
<input type="checkbox"/>	scr
<input type="checkbox"/>	frp
<input type="checkbox"/>	gif
<input type="checkbox"/>	nib
<input type="checkbox"/>	the
<input type="checkbox"/>	saj
<input type="checkbox"/>	ned
<input checked="" type="checkbox"/>	dnk 1 Ex.

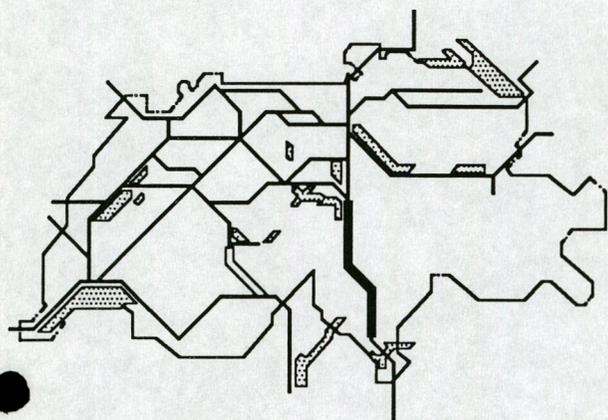
Annexes : ment.



BUNDESAMT FÜR VERKEHR
OFFICE FEDERAL DES TRANSPORTS
UFFICIO FEDERALE DEI TRASPORTI
UFFIZI FEDERAL DA TRAFFIC



AlpTransit Abteilung Infrastruktur



Axe ferroviaire du Gothard

REALISATION DE 2 TUNNELS A 1 VOIE EN LIEU ET PLACE DE 1 TUNNEL A 2 VOIES

Partie 1 : Examen des coûts annoncés par la direction de projet CFF-AT

Partie 2 : Comparaison des coûts pour 2 systèmes de tunnels

Auteur :

Marcel BOURQUIN
Bureau d'études SA

Rue des Sablons 10
2000 Neuchâtel

Tél. 032 724 26 38
Fax 032 721 18 92

Format : 16 A4

Masstab : -

AlpTransit Code

Herkunft

Abschnitt

Fachgebiete

Plan Nr.

Gez.

Kontr.

Datum

Genehmigt

Änderungen

A

B

C

D

E

MBO-AT-Nr. 04

DRO

JEA/BP

09.07.98

Réalisation de 2 tunnels à 1 voie en lieu et place de 1 tunnel à 2 voies -

PREMIERE PARTIE

Examen des coûts annoncés par la Direction de projet CFF-AT

1. **Mandat**

Début mai 1998, l'OFT a mandaté Marcel Bourquin, bureau d'études SA, pour examiner la plausibilité des coûts établis par la Direction de projet de l'axe ferroviaire du Gothard pour la réalisation de deux tunnels à une voie (2 T1V) plutôt que d'un seul tunnel à 2 voies (1T2V, comme prévu par l'avant-projet de 1994), pour les tronçons d'accès au tunnel de base (Zusatzauftrag A3 gemäss Schreiben EVED vom 30.06.95).

2. **Documents mis à disposition**

L'étude est basée sur les documents listés à l'annexe 1, mis à disposition par l'OFT.

3. **Comparaisons de coûts établies par les groupements d'ingénieurs en mars 1995**

En mars 1995, les groupements d'ingénieurs des tronçons hors tunnel de base du Gothard ont établi, à l'attention de la Direction de projet CFF-AT, une estimation des coûts pour la modification de 1T2V à 2T1V, sur leurs tronçons respectifs.

Le document "Beilage 5" contient des extraits, numérotés "Beilage 5.1" à "Beilage 5.6", de ces estimations de coûts.

En synthèse, les remarques suivantes peuvent être faites sur ces documents :

- d'une manière générale, les degrés d'élaboration des extraits des rapports sont différenciés : bien détaillés pour certains tronçons, sans détails pour d'autres;
- seuls des coûts globaux sont donnés (par objet et nature de coûts); avec les documents à disposition, il n'est pas possible de vérifier les coûts unitaires;
- les coûts sont en général structurés selon les objets et les natures de coûts (L, B', B'', H, F);

- coûts de 1T2V : basés sur l'avant-projet pour les tronçons Rigi, Axen, Uri, Riviera, Bellinzona, Ceneri;
basés sur une combinaison entre le projet de mise à l'enquête de la 2^{ème} double voie Zürich-Thalwil et la comparaison fine des variantes pour le tunnel du Zimmerberg;
bases de prix : octobre 1991;
précision des coûts +/- 20 % en général ; +/- 25 % pour le tunnel du Zimmerberg;
- coûts de 2T1V : sur la base de compléments d'études et de valeurs d'expérience;
bases de prix : octobre 1991 ou autre (juillet 1993 par ex.);
précision des coûts : +/- 25 %;
- en général, les coûts comprennent :
 - 15 % des coûts de construction et des équipements ferroviaires pour les honoraires d'études,
 - 3 % pour les honoraires de la Direction de projet;
- les coûts supplémentaires annoncés pour la variante 2T1V, par rapport à la solution de base 1T2V, s'échelonnent, selon ces rapports, de + 21 % à + 43 %;
- des remarques générales ont été faites par les ingénieurs quant à l'opportunité de passer de 1T2V à 2T1V, relativement notamment à la sécurité, au planning des travaux, aux ouvrages annexes.

4. Rapport de synthèse de la Direction de projet CFF-AT, du 27 mars 1996

La Direction de projet CFF-AT a établi un rapport de synthèse contenant :

- les bases de réflexion générales pour le choix 1T2V / 2T1V pour les tunnels de base du Zimmerberg et du Ceneri;
- en annexe, la comparaison 1T2V / 2T1V pour tous les autres tunnels des voies d'accès.

Daté du 27 mars 1996, le rapport reprend les bases établies par les ingénieurs des tronçons de l'axe du Gothard et présentées au chapitre précédent. Selon ce rapport, les ingénieurs ont confirmé début 1996, les données des études de mars 1995.

Après adaptation des données de base, par la Direction de projet CFF-AT, les coûts supplémentaires de 2T1V par rapport à 1T2V sont de :

- + 31 % pour le tunnel de base du Zimmerberg, soit Fr. 457 mio,
- + 27 % pour le tunnel de base du Ceneri, soit Fr. 290 mio.

Pour les autres tunnels de l'axe du Gothard, et également après adaptation des données de base, ils s'échelonnent :

de + 21 % pour la variante de base du tronçon Bellinzzone, soit 77 mio,
à + 43 % pour la variante alternative du tronçon Riviera, soit 128 mio.

Les coûts comprennent les natures de coûts L, B', B'', H et F. Les coûts des équipements ferroviaires ont été estimés par CFF-AT.

Aucune donnée supplémentaire ne permet d'analyser plus en détail les coûts annoncés.

5. Tunnel de base du Zimmerberg : nouvelle comparaison des coûts de novembre 1996

Dans la "Beilage 6", des extraits d'une nouvelle comparaison des coûts 1T2V / 2T1V pour le tunnel de base du Zimmerberg sont présentés, calculés par deux groupements d'ingénieurs, datée du 20.11.96 pour la 1^{ère} partie (Zürich HB - Thalwil), respectivement datée du 19.11.96 pour la 2^{ème} partie (tunnel du Zimmerberg).

Les données de base des comparaisons ne sont pas identiques :

	1 ^{ère} partie	2 ^{ème} partie
Base de prix	avril 1996	octobre 1990
Prévision des coûts	+/- 20 %	+/- 20 %
Etudes	---	15 %
Direction de projet	---	3 %

Les deux groupements d'ingénieurs ont admis un surcoût de 25 % pour l'équipement ferroviaire de 2T1V.

Sur ces bases, les surcoûts de 2T1V par rapport à 1T2V sont de :

+ 42 % pour la 1^{ère} partie, soit Fr. 371 mio,
+ 27 % pour la 2^{ème} partie, soit Fr. 195 mio.

6. Analyse

L'examen des documents à disposition montre qu'en règle générale tous les aspects de la modification de projet 1T2V / 2T1V qui engendrent des coûts ont été pris en compte, sur la longueur des tunnels : modification des besoins en terrains et droits, surplus de quantités de transports et de mises en dépôt, adaptation des ouvrages annexes, etc.

Seuls les surcoûts liés aux tunnels ont été considérés. Les coûts supplémentaires d'adaptation des ouvrages adjacents ont parfois été estimés, mais n'ont pas été intégrés dans la comparaison globale.

La variation des coûts supplémentaires de la variante 2T1V par rapport à la solution de base 1T2V va de + 21 % à + 43 %. Malgré les conditions différentes de chaque tronçon (géologie, configuration des ouvrages, conditions de réalisation), cette variation des surcoûts semble relativement élevée.

Elle pourrait vraisemblablement être diminuée si des directives précises et identiques étaient données à tous les groupements d'ingénieurs pour :

- les prix : base de prix, prix de base moyens, précision des coûts,
- le projet : profils-types, ouvrages annexes, standards,
- les coûts annexes : honoraires, équipements ferroviaires.

Nos premières estimations, établies indépendamment sur la base de prix similaires actuels du marché, montrent un surcoût de l'ordre de 25 % à 35 % pour 2T1V, par rapport à 1T2V. Ce surcoût correspond environ à la moyenne des valeurs calculées par les groupements d'ingénieurs. Nous affinons actuellement le calcul pour préciser ces valeurs.

Le degré d'élaboration des projets des variantes 2T1V n'est pas aussi élevé que celui de la solution de base 1T2V. Ceci ne porte en principe pas à conséquence, les comparaisons étant effectuées sur chaque tronçon par les mêmes groupements d'ingénieurs, qui connaissent bien les projets.

Les coûts pour les équipements ferroviaires ont toujours été maintenus constants pour les variantes 1T2V ou 2T1V, à l'exception du rapport de 1996 (Zimmerberg et Zürich Thalwil) qui considère un surcoût de 25 % pour la variante 2T1V.

7. Conclusions

Les coûts supplémentaires de la variante 2T1V par rapport à la solution de base 1T2V, pour les tunnels des voies d'accès de l'axe du Gothard, ont été estimés par les ingénieurs sur la base des avant-projets, respectivement d'études complémentaires et de valeurs d'expérience.

Seuls les surcoûts des tronçons en tunnels ont été pris en compte. Les surcoûts sur les tronçons adjacents à ciel ouvert ont parfois été calculés, mais n'ont pas été intégrés dans l'évaluation globale.

Le détail des données à disposition n'est pas suffisant pour analyser directement les coûts calculés. Malgré cela, et malgré également un certain manque d'unité d'un tronçon à l'autre, dans les hypothèses de base utilisées pour établir la comparaison des coûts, il est possible d'affirmer que les montants annoncés sont réalistes, et qu'ils tiennent compte de l'ensemble des éléments concernés par la modification de projet.

Pour augmenter la précision de l'estimation des coûts de la variante 2T1V, il serait nécessaire d'établir des directives précises et uniformes, pour tout les groupements d'ingénieurs, relativement aux prix, au projet et à ses standards, aux coûts annexes, et de mener les études jusqu'au niveau d'avant-projet.

La problématique du choix entre 1T2V et 2T1V ne dépend cependant pas du seul critère du coût de construction. Les autres critères de choix, étudiés et présentés dans le rapport de la Direction de projet CFF-AT, du 27 mars 1996, sont :

- la sécurité,
- l'exploitation,
- la maintenance,
- la durée de construction.

De ce fait, et au stade actuel du projet, l'augmentation de la précision de l'estimation des coûts n'a qu'une utilité relative.

L'examen et l'évaluation de l'ensemble des critères, ainsi que la consultation des solutions adoptées à l'étranger, ont conduit les CFF-AT à renoncer très clairement à la solution 2T1V pour les ouvrages qui seront réalisés en 1^{ère} étape (tunnels de base du Zimmerberg et du Ceneri).

Pour les autres ouvrages des voies d'accès, réalisés dans des étapes ultérieures, une même décision est envisagée, sous réserve toutefois d'un réexamen de l'ensemble des conditions au moment de leur réalisation. Selon ces conditions en effet, trois types principaux de solutions peuvent être envisagés :

- réalisation de 1T2V, comme prévu dans l'avant-projet, avec complément ultérieur possible de 1T1V, lorsque les besoins de capacité l'exigeront (voir rapport du 27 mars 1996, chapitres 9.3.2 et ss.),
- réalisation de 2T1V,
- réalisation de 1 seul tunnel à 1 voie, en complément du tracé existant (en principe pour tunnels courts seulement).

Pour ces étapes ultérieures, il pourra être nécessaire d'approfondir les études, aussi bien pour l'évaluation des coûts (établissement d'avants-projets et de directives relatives aux coûts) que pour les autres critères mentionnés.

ANNEXE 1

RÉSUMÉ DES SURCOÛTS POUR LE PASSAGE DE 1T2V À 2T1V

Sur la base des données du rapport du 27 mars 1996, les surcoûts de 2T1V par rapport à 1T2V sont les suivants :

- pour l'ensemble des voies d'accès, soit environ 80 km de tunnels :

tunnel de base	Zimmerberg	19.1 km	Fr.	457 mio	+ 31 %
var. alternative	Urmiberg/Axen	21.4		374	+ 28
var. alternative	Riviera	6.6		129	+ 43
var. de base	Bellinzona	7.6		77	+ 21
var. alternative	Ceneri + racc. P. Tresa	25.0		427	+ 27

Total du surcoût pour les tunnels : Fr. 1'464 mio + 29 %

- pour la première étape AlpTransit des voies d'accès, soit environ 35.1 km de tunnels :

tunnel de base	Zimmerberg	19.1 km	Fr.	457 mio	+ 31 %
var. alternative	Ceneri + racc. P. Tresa	25.0		427	+ 27

Total du surcoût pour les tunnels : Fr. 884 mio + 29 %

ANNEXE 2

LISTE DES DOCUMENTS MIS A DISPOSITION POUR L'ETUDE

Beilage 5 :		
Beilage 5.1	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 1 und 2	31.03.95
Beilage 5.2	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 3, 5 und 6	15.03.95
Beilage 5.3	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 4, 6 und 7	14.03.95
Beilage 5.4	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 8	23.03.95
Beilage 5.5	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 9 und 10	22.03.95
Beilage 5.6	Grundlagen für Tunnel Objekt Nr. 11, 12, 13, 14 und 15	21.03.95
Auswirkungen einer allfälligen Umstellung von Doppelspur- auf Einspurtunnels. Entscheidungsgrundlagen für die Basistunnels am Zimmerberg und am Ceneri. Zusatzauftrag A3, gemäss Schreiben vom 30.06.95.		27.03.96
Zusatzauftrag A3 : Entscheidungsgrundlagen, Auswirkungen einer allfälligen Umstellung von Doppelspur- auf Einspurtunnels.		20.09.96
Beilage 6.1	Kostenvergleich für den Zimmerberg-Basistunnel Teil 1	20.11.96
Beilage 6.2	Kostenvergleich für den Zimmerberg-Basistunnel Teil 2	19.11.96
Beilage 1	Auswirkungen einer allfälligen Umstellung von Doppelspur- auf Einspurtunnel. Zusammenfassendes Argumentarium zur Sicherheit.	27.11.96
Beilage 2	Kosten einer Zwischenwand in Doppelspur-Tunneln bei einem Abstand der Gleisachsen von 4.65 m.	09.12.96
Beilage 3	Berichte ausländischer Bahnen über die Sicherheit in den Tunneln der Zufahrtslinien.	09.12.96
Zusatzbericht A3 " Auswirkungen einer allfälligen Umstellung von Doppelspur- auf Einspurtunnels ". Grundlagenberichte für die Kostenschätzungen.		18.11.97

Réalisation de 2 tunnels à 1 voie en lieu et place de 1 tunnel à 2 voies -

DEUXIEME PARTIE

Comparaison de coûts pour 2 systèmes de tunnels-types

1. Introduction, but

Indépendamment de la première partie, cette seconde partie de l'étude a pour but d'évaluer les coûts supplémentaires de 2 tunnels à 1 voie (2T1V) par rapport à 1 tunnel à 2 voies (1T2V), puis de les comparer aux coûts annoncés par la Direction de projet CFF-AT.

2. Démarche et données de base

Pour cette étude, la démarche suivante a été entreprise :

- choix d'un tunnel-type d'une longueur de 25 km
- comparaison des 2 systèmes de tunnels (profils-types) :
 - 1 x 2 voies
 - 2 x 1 voie,
- considération de 2 méthodes d'exécution par système :
 - avancement au tunnelier (TBM)
 - avancement traditionnel (SPV),

Les coûts de construction selon chacun des systèmes (par mètre linéaire ou pour la longueur type admise) ont ensuite été évalués, distinctement pour les 2 méthodes d'exécution considérées, en admettant (voir aussi annexe 1) :

- des prix réalistes considérant les conditions du marché actuel,
- le gabarit ferroviaire : profil d'espace libre OCF4,
- les dimensions caractéristiques des profils-types tirées de l'étude d'optimisation des profils, du 09.02.96 (voir plan Nr 202 du rapport MBO-AT-Nr 02),
- un soutènement de 20 cm d'épaisseur,
- un système drainage/étanchéité classique, voûte et piédroits,
- anneau intérieur en béton non armé, épaisseur 30 cm,

3. Estimation des coûts

Les tableaux des annexes 2 et 3 détaillent le calcul des coûts au mètre linéaire de chaque profil-type des tunnels principaux (1 x 2 voies, respectivement 2 x 1 voie), qui varient de 26'542.-/ml à 36'431.-/ml. Ces coûts servent de base à l'estimation comparative des coûts de chaque système de tunnels, donnée aux annexes 4 et 5, pour chacun des 2 types d'avancement (TBM, respectivement SPV).

Autant dans le cas de la méthode TBM que dans le cas de la méthode SPV, la variante 2T1V est plus chère que la variante 1T2V; en plus des surcoûts dus aux volumes supplémentaires de matériaux des tunnels principaux (excavation, marinage et transport, soutènement et revêtement), nous avons tenu compte de coûts supplémentaires, selon les justifications suivantes :

- coûts de construction : il s'agit de prendre en compte les suppléments dus à la réalisation de galeries transversales piétons et de tunnels pour changement de voie (voir annexe 1);
- matériaux : la gestion (études et coordination) des matériaux supplémentaires d'excavation, ainsi que la recherche de nouveaux sites (acquisitions de terrains et compensations) engendrent un surcoût proportionnel à ces quantités supplémentaires. De plus, ces nouveaux sites, plus éloignés, impliquent un surcoût dû à la distance moyenne rallongée du transport.
- délais : les échéances imposées par les décisions et engagements politiques sont admises invariables quel que soit le système retenu de tunnels et impliquent donc un surcoût dû à l'engagement de moyens (machines et personnel) plus importants permettant d'augmenter les capacité et avancement;
- équipement ferroviaire : un faible surcoût (environ 1%) a été considéré en raison des équipements ferroviaires supplémentaires des tunnels pour changements de voie.

En revanche, nous avons admis que les coûts inhérents aux ouvrages annexes, utiles par exemple pour des attaques intermédiaires, sont équivalents dans chaque cas de système de tunnels et, partant, ils ne sont pas pris en compte dans le calcul du montant "Total général".

4. Comparaison et conclusion

Selon les modèles de tunnels utilisés pour la comparaison, la réalisation de 2 tunnels à 1 voie au lieu de 1 tunnel à 2 voies engendre des surcoûts de l'ordre de 28 à 33 % en fonction de la méthode d'avancement choisie (respectivement TBM ou SPV).

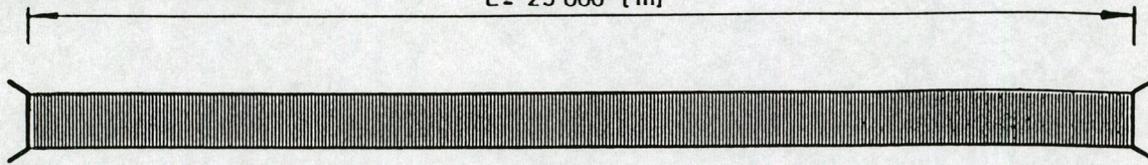
Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles annoncées par la direction de projet CFF-AT et dont la fourchette s'étendait de 21% à 43%, valeurs calculées pour des tunnels de longueurs s'échelonnant de 6.6 à 25.0 Km et pour des estimations faites par différents groupements d'ingénieurs. Chacune des approches fournit des valeurs du même ordre de grandeur, ce qui permet de considérer que ces estimations sont réalistes.

Issus de calculs basés sur des tunnels-types d'une longueur de référence admise à 25 km, les coûts estimés ont une signification indicative globale. Ils ne tiennent évidemment pas compte de conditions particulières, propres à chacun des tunnels d'accès au Gothard. Pour augmenter la précision de la comparaison des coûts, il serait nécessaire d'une part de tenir compte de ces conditions particulières et d'autre part de mener les études jusqu'au niveau de l'avant-projet sur les mêmes bases et pour chaque tunnel d'accès.

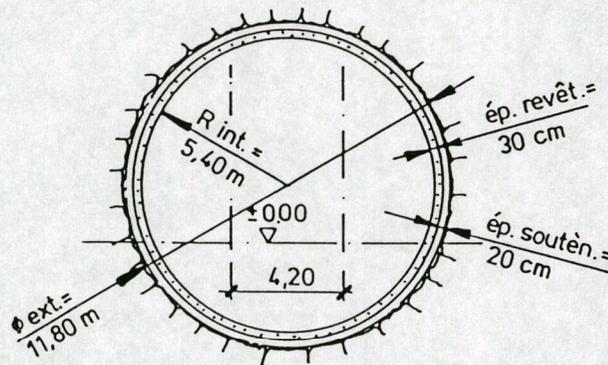
Représentation schématique des systèmes de tunnels étudiés

1 TUNNEL A 2 VOIES

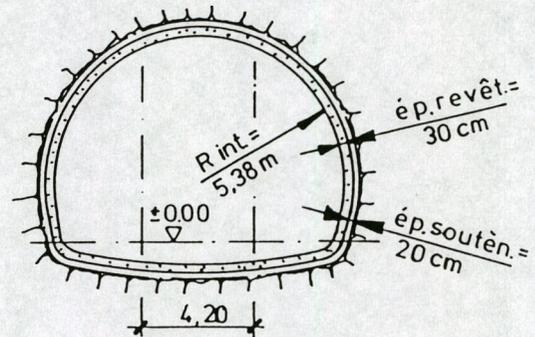
L = 25'000 [m]



avancement tunnelier :
coupe type

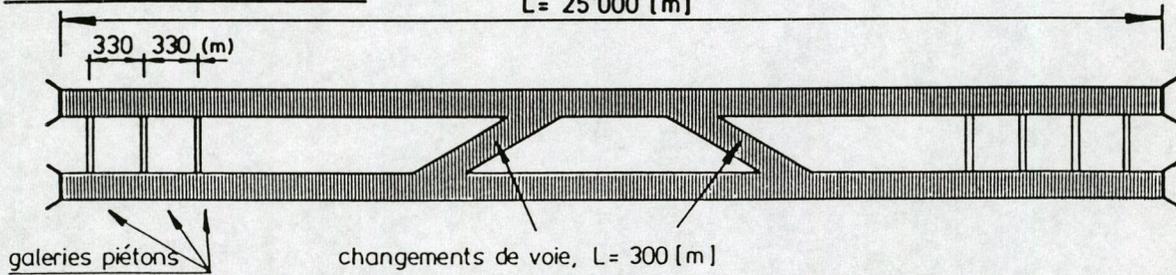


avancement traditionnel :
coupe type

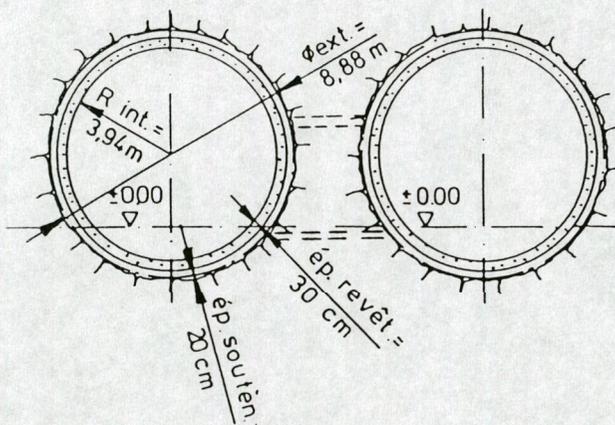


2 TUNNELS A 1 VOIE

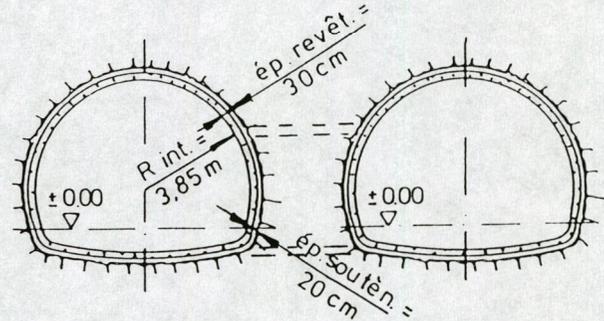
L = 25'000 [m]



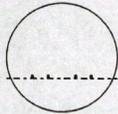
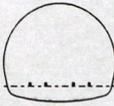
avancement tunnelier :
coupe type



avancement traditionnel :
coupe type



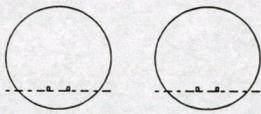
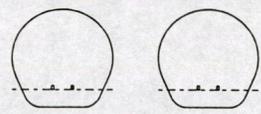
1 x 2 VOIES

	Avancement tunnelier					Avancement explosif				
	L = 25 Km					L = 25 Km				
										
	quantité par m' de tunnel	quantité total	coûts par unité	coûts par m' de tunnel	coûts totaux	quantité par m' de tunnel	quantité total	coûts par unité	coûts par m' de tunnel	coûts totaux
Excavation	109 m³/m	2'733'977 m³	40 Fr/m³	4'374 Fr/m'	109'359'096 Fr	96 m³/m	2'402'850 m³	62 Fr/m³	5'959 Fr/m'	148'976'700 Fr
Soutènement moyen	37 m²/m	926'772 m'	45 Fr/m'	1'668 Fr/m'	41'704'740 Fr	23 m²/m	569'948 m'	50 Fr/m'	1'140 Fr/m'	28'497'375 Fr
Etanchéité et drainage	24 m²/m	596'904 m²	100 Fr/m²	2'388 Fr/m'	59'690'400 Fr	23 m²/m	569'948 m²	100 Fr/m²	2'280 Fr/m'	56'994'750 Fr
Anneau intérieur : béton coffrage	10 m²/m 24 m²/m	261'538 m³ 596'904	350 Fr/m³ 30 Fr/m²	3'662 Fr/m' 716 Fr/m'	91'538'370 Fr 17'907'120	10 m²/m 23 m²/m	249'300 m³ 569'948 m²	430 Fr/m³ 30 Fr/m²	4'288 Fr/m' 684 Fr/m'	107'199'000 Fr 17'098'425 Fr
Aménagements divers				2'500 Fr/m'	62'500'000 Fr				2'500 Fr/m'	62'500'000 Fr
Transport ¹⁾	109 m³/m	2'733'970 m³	35 Fr/m³	3'828 Fr/m'	95'688'950 Fr	96 m³/m	2'402'850 m³	35 Fr/m³	3'364 Fr/m'	84'099'750 Fr
Installations de chantier		35 %			167'436'037 Fr		25 %			126'341'500 Fr
Divers et imprévus		5 %			32'291'236 Fr		5 %			31'585'375 Fr
Coûts de construction (tunnel principal)				27'125 Fr/m'	678'115'948 Fr				26'532 Fr/m'	663'292'875 Fr

1) prix moyen pour dépôts à 30 km

Bases: Profil d'espace libre OCF4 (pantographe S4)
Plan numéros: 202 (Ri = 5.40 m, TBM / Ri = 5.38 m, SPV)
anneau intérieur: ép 30 cm
soutènement: ép 20 cm

2 x 1 VOIE

	Avancement tunnelier					Avancement explosif				
	L = 25 Km					L = 25 Km				
										
	quantité par m' de tunnel	quantité total	coûts par unité	coûts par m' de tunnel	coûts totaux	quantité par m' de tunnel	quantité total	coûts par unité	coûts par m' de tunnel	coûts totaux
Excavation	124 m³/m	3'096'612 m³	40 Fr/m³	4'955 Fr/m'	123'864'492 Fr	120 m³/m	3'010'000 m³	62 Fr/m³	7'465 Fr/m'	186'620'000 Fr
Soutènement	56 m²/m	1'394'865 m²	45 Fr/m²	2'511 Fr/m'	62'768'925 Fr	38 m²/m	952'465 m²	50 Fr/m²	1'905 Fr/m'	47'623'250 Fr
Etanchéité et drainage	37 m²/m	929'914 m²	100 Fr/m²	3'720 Fr/m'	92'991'360 Fr	38 m²/m	952'465 m²	100 Fr/m²	3'810 Fr/m'	95'246'500 Fr
Anneau intérieur : béton coffrage	15 m²/m 37 m²/m	385'475 m² 929'914 m²	350 Fr/m² 30 Fr/m²	5'397 Fr/m' 1'116 Fr/m'	134'916'250 Fr 27'897'408 Fr	16 m²/m 38 m²/m	390'720 m² 952'465 m²	430 Fr/m² 30 Fr/m²	6'720 Fr/m' 1'143 Fr/m'	168'009'600 Fr 28'573'950 Fr
Aménagements divers (GC)				2'500 Fr/m'	62'500'000 Fr				2'500 Fr/m'	62'500'000 Fr
Transport ¹⁾	124 m³/m	3'096'605 m³	35 Fr/m³	4'335 Fr/m'	108'381'175 Fr	120 m³/m	3'010'000 m³	35 Fr/m³	4'214 Fr/m'	105'350'000 Fr
Installations de chantier		35 %			214'661'863 Fr		25 %			173'480'825 Fr
Divers et imprévus		5 %			41'399'074 Fr		5 %			43'370'206 Fr
Coûts de construction (tunnels principaux)				34'775 Fr/m'	869'380'546 Fr				36'431 Fr/m'	910'774'331 Fr

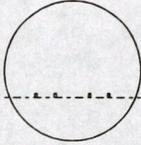
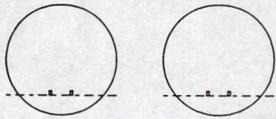
1) prix moyen pour dépôts à 30 km

Note: Ce système de tunnel impliquent des délais de construction plus long, des galeries de liaison, éventuellement de nouveaux sites pour dépôts de matériaux:

Bases: Profil d'espace libre OCF4 (pantographe S4)
Plan numéros: 202 (Ri = 3.94 m, TBM / Ri = 3.85 m SPV)
anneau intérieur: ép 30 cm
soutènement: ép 20 cm

Tableau comparatif pour un avancement au tunnelier (TBM)

Tunnel type de référence d'une longueur de 25 Km

	DOUBLEVOIE	%	2 x 1 VOIE	%
				
Achats de terrain	0 [mio Frs]	0.0	0 [mio Frs]	0.0
Coûts de construction tunnels principaux ①	678 [mio Frs]	60.3	869 [mio Frs]	60.6
Aménagements ferroviaires	275 [mio Frs]	24.4	275 [mio Frs]	19.2
Honoraires ②	172 [mio Frs]	15.3	206 [mio Frs]	14.3
Suppléments:				
constructions ③			45 [mio Frs]	3.1
matériaux			4 [mio Frs]	0.3
délai			33 [mio Frs]	2.3
divers ④			3 [mio Frs]	0.2
Total général	1'125 [mio Frs]	100 [%]	1'436 [mio Frs]	100 [%]
Plus-value [Frs]			+311 [mio Frs]	
Plus-value [%]			+28 [%]	
Coûts / m de tunnel	45'000 [Fr/m]		57'500 [Fr/m]	

① Voir annexes 2 et 3

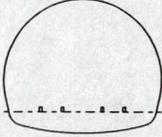
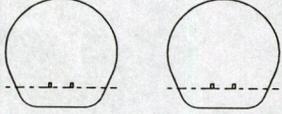
② 15% honoraires ingénieur, 3% autres

③ Galeries transversales et tunnels pour changements de voie

④ Aménagements ferroviaires (équipements des tunnels pour changements de voie)

Tableau comparatif pour un avancement à l'explosif (SPV)

Tunnel type de référence d'une longueur de 25 Km

	DOUBLEVOIE	%	2 x 1 VOIE	%
				
Achast de terrain	0 [mio Frs]	0.0	0 [mio Frs]	0.0
Coûts de construction tunnels principaux ①	663 [mio Frs]	59.9	911 [mio Frs]	61.9
Aménagements ferroviaires	275 [mio Frs]	24.8	275 [mio Frs]	18.7
Honoraires ②	169 [mio Frs]	15.3	213 [mio Frs]	14.5
Suppléments:				
constructions ③			42 [mio Frs]	2.9
matériaux			6 [mio Frs]	0.4
délai			20 [mio Frs]	1.4
divers ④			3.3 [mio Frs]	0.2
Total général	1'107 [mio Frs]	100 [%]	1'471 [mio Frs]	100 [%]
Plus-value [Fr]			+364 [mio Frs]	
Plus-value [%]			+33 [%]	
Coûts / m de tunnel	44'500 [Fr/m]		59'000 [Fr/m]	

① Voir annexes 2 et 3

② 15% honoraires ingénieur, 3% autres

③ Galeries transversales et tunnels pour changements de voie

④ Aménagements ferroviaires (équipements des tunnels pour changements de voie)