

Séminaire sur les coûts des tunnels
Rabat, Maroc – du 22 au 24 avril 1999

CONSIDERATIONS GENERALES
SUR LA COMPARABILITE DES COUTS

TABLES DES MATIÈRES

	page
RESUME	1
1. INTRODUCTION	1
2. BREVE DESCRIPTION DU PROJET DU TUNNEL FERROVIAIRE DE BASE DU ST. GOTHARD	2
3. ELEMENTS DETERMINANTS DANS LA COMPARAISON DES COUTS	4
3.1 En général	4
3.2 Définition des coûts	4
3.3 Référentiel économique	5
3.4 Cadre juridique du projet	6
3.5 Contingences particulières	6
3.6 Conditions d'environnement	7
3.7 Conditions naturelles	8
3.8 Conditions générales du projet	9
3.9 Conditions de réalisation	9
3.10 Progrès technique	10
4. LES COUTS DU TUNNEL FERROVIAIRE DE BASE DU ST. GOTHARD	11
5. CONCLUSIONS	11

RESUME

La comparaison entre eux des coûts de deux ouvrages souterrains différents même si similaires, se heurte souvent à de grandes difficultés de tout ordre.

Dans le présent exposé on essaye de faire l'inventaire le plus complet possible – mais certainement pas exhaustif – des facteurs qui peuvent influencer les coûts des ouvrages et qui indirectement créent des difficultés aux dites comparaisons et en fixent souvent les limites de validité.

Certains de ces aspects sont étayés par des références faites au tunnel ferroviaire de base du Saint Gothard (en Suisse) dont le début de la construction est imminent. Pour une meilleure compréhension de certains aspects particuliers, une brève description de cet ouvrage à double tube de 57 km de longueur est donc proposée.

1. INTRODUCTION

L'objectif du présent séminaire est de discuter les coûts de construction, et éventuellement d'exploitation, des grands tunnels ferroviaires.

La possibilité de comparer entre eux divers projets et d'en tirer certaines conclusions offre évidemment un intérêt certain à cet égard mais comporte des risques non négligeables.

Mais puisque les comparaisons de coûts dont j'ai dit peuvent présenter le danger de simplifications excessives ou de généralisations hâtives, il convient de définir les paramètres qui interviennent dans toute comparaison de ce genre et d'indiquer les limites qui s'imposent.

En réalité, chaque ouvrage important et, en particulier, tout grand tunnel doit être considéré comme un cas spécial, ou même comme un prototype et une comparaison sérieuse présuppose qu'on dispose d'une connaissance approfondie des projets mis à la base de la comparaison, faute de quoi les conclusions tirées risquent d'être douteuses.

Il est bien vrai que les considérations qui seront exposées sont de nature très générale et de certaines on pourrait dire qu'elles sont même triviales. Elles s'appliquent uniquement d'ailleurs à la partie génie civil de grands tunnels. On délaissera en particulier le coût des équipements ferroviaires et électromécaniques en général.

Le problème est tout d'abord celui de la définition des coûts à comparer. Que comprennent-ils?, Quelle en est la base? Dans quelles proportions les risques ont-ils été pris en compte? Et bien d'autres questions encore se posent à ce sujet.

Le tunnel ferroviaire de base du St. Gothard, dont la construction vient tout juste de commencer, sera pris comme référence, mais simplement, pour mettre en évidence quelques points particuliers.

2. BREVE DESCRIPTION DU PROJET DU TUNNEL FERROVIAIRE DE BASE DU ST. GOTHARD

Comme tout ouvrage de cette importance, le tunnel ferroviaire de base du St. Gothard a déjà une très longue histoire derrière lui, dont je vous ferai grâce. Elle se réfère tout d'abord au choix des tracés, c'est-à-dire au choix entre divers projets en compétition, à la définition des paramètres de projet, aux caractéristiques principales de l'ouvrage et à de nombreux points particuliers relatifs à la construction, l'exploitation, la sécurité et bien d'autres aspects encore. J'ai pour ma part commencé à suivre ce projet en 1963; cela fait 36 ans déjà. Les votations populaires qui ont eu lieu récemment en Suisse ont finalement permis de fixer les principes du réseau dit AlpTransit et de son financement. La première étape de ce projet comporte essentiellement la construction des deux tunnels de base du St. Gothard et du Lötschberg.

Le tunnel du St. Gothard trouve ainsi sa place dans un projet plus vaste d'aménagement du réseau ferroviaire suisse qui comprend la mise à jour des lignes principales et la création de deux transversales alpines essentiellement Nord-Sud, ainsi que le raccordement aux réseaux européens à grande vitesse (**Fig. 1, Projet du nouveau réseau ferroviaire suisse**).

Dans ce qui suit je ferai référence au projet de base daté de 1995 qui a toutefois subi depuis lors quelques perfectionnements et plusieurs mises au point de détail.

La figure suivante montre le tracé du tunnel de 57 km de longueur environ. On notera son axe assez tortueux dont les raisons sont d'ordre géologique et tiennent compte également de la possibilité de créer des attaques intermédiaires (**Fig. 2, Tracé en plan du tunnel**).

Dans son profil longitudinal le tunnel se caractérise par des pentes très faibles en raison de la différence de niveau minime qui existe entre les deux portails de Erstfeld au Nord, et de Bodio au Sud, situés au niveau 462 et 313 m s.m. respectivement. Les pentes sont de 4.1‰ au Nord et de 6.7 ‰ au Sud. On dispose comme attaques, outre que des deux portails, d'une fenêtre à Amsteg, d'un puits

vertical d'environ 800 m dans la vallée du Rhin Antérieur à Sedrun, actuellement en construction, ainsi que d'une rampe inclinée de 2'700 m à Faido (**Fig. 3, Profil en long du tunnel**).

Le tunnel comporte deux tubes à voie unique, dont la section est parfaitement circulaire dans les tronçons réalisés au tunnelier et s'approchant de cette forme dans le tronçon réalisé par méthodes traditionnelles (**Fig. 4, Section transversale**).

Un élément essentiel du projet est tout d'abord la prise en compte des conditions géologiques particulières aux Alpes, dont on peut dire que le tunnel du St. Gothard en traverse la totalité dans la zone centrale, là où elles se trouvent réduites à une seule chaîne de montagnes. S'il est vrai que les Alpes sont essentiellement de nature cristalline, il n'en reste pas moins que deux bandes de roches sédimentaires intensément sollicitées et tectonisées s'étendent tout au long de l'arc alpin, tel que cela ressort de la **Figure 5 (Géologie générale des Alpes)**.

Les conditions géologiques le long du tracé sont très variables. Elles sont résumées à la figure suivante où l'on peut observer les massifs granitiques de l'Aar et du St. Gothard, les deux zones de roches sédimentaires de la Piora et du Tavetsch ainsi que les gneiss des nappes méridionales (**Fig. 6, Profil géologique longitudinal**).

Cette situation géologique conditionne, entre autre, les méthodes de travail à employer, les avancements estimés probables et de ce fait le programme général des travaux tel qu'il ressort à la **Figure 7 (Programme général des travaux)**.

On notera que 90% du tracé sera réalisé au tunnelier et que seule la dixième partie, soit environ 6 km, dans la région du Rhin Antérieur fera l'objet d'une excavation de type traditionnel en raison des faibles caractéristiques mécaniques des roches rencontrées et de leur forte variabilité.

Actuellement le tunnel d'accès à la tête du puits de Sedrun, la chambre des treuils et la tête du puits de ventilation sont terminés. Le fonçage du puits est actuellement en cours et atteint une profondeur de l'ordre de 200 m. La profondeur maximale devrait être atteinte pour la fin de l'année en cours. Sur les autres chantiers le début des travaux préparatoires est imminent. La mise en soumission pour les lots principaux aura lieu à la fin de cette année et au début de la prochaine. Si le programme sera tenu il faudra 8 années pour terminer les excavations et 12 ans environ pour mettre l'ouvrage en service.

3. ELEMENTS DETERMINANTS DANS LA COMPARAISON DES COUTS

3.1 En général

Lors de la comparaison des coûts des divers ouvrages entre eux on se heurte à un nombre considérable de difficultés d'ordre et de nature différents. Le **tableau 1** indique quelques facteurs d'importance déterminante dans la comparaison des coûts.

Dans ce qui suit, on va traiter - certes très sommairement - les divers chapitres mentionnés au tableau.

La comparaison de deux projets ne peut se faire correctement que si tous les éléments qui ont influencé le coût final auront été pris en considération.

3.2 Définition des coûts

Une question essentielle est celle de la définition du coût d'un ouvrage. La réponse n'est pas aussi évidente qu'il y paraît dès l'abord. Les incertitudes sont en fait nombreuses.

Une première difficulté provient du fait que l'on est parfois amenés à faire des comparaisons soit directes, soit entrecroisées entre des devis a priori et des décomptes a posteriori. Or, on sait que la coïncidence des deux n'est en général pas assurée avec grande précision.

Dans ce cas il faut commencer par définir les deux termes de la comparaison. De quel niveau est le devis: simple estimation des coûts, devis estimatif, préliminaire, détaillé, formant la base de financement? Que comprend-il? Quelle est la date de référence?

Mais avant tout il conviendrait de savoir quelle est la dose d'optimisme ou de pessimisme qui en régit l'établissement, sans compter les diverses pressions qui ont pu être exercées lors de son calcul.

En outre la base d'un devis est une date, celle d'un décompte est en général une période, celle de la construction. L'actualisation correcte des coûts réels n'est pas aussi simple qu'il y paraît.

Une deuxième difficulté provient du fait que les chiffres connus comprennent, suivant le cas, des éléments qui sont ignorés dans d'autres, soit que l'on ait affaire aux frais directs de construction liés à l'entreprise, soit que l'on prenne en compte ou non des coûts supportés par le maître de l'ouvrage ou causés indirectement par le projet lui-même.

On ignore en général et on oublie volontiers les coûts directs et indirects des études préliminaires nécessaires jusqu'à la prise de la décision de construire. Or, ces coûts et leurs implications peuvent être fort substantiels. Ils portent souvent sur des décennies. Dans les coûts que j'indiquerai par la

suite, les frais de cette nature ne sont pas compris, ni même ceux directs ou indirects que les diverses votations populaires et procédures juridiques ont entraîné ou pourront encore causer (en Suisse)! On peut certes d'une façon quelque peu arbitraire regrouper les divers facteurs dans les chapitres indiqués au tableau suivant (**Tableau 2, Facteurs déterminants de la définition du "coûts"**) sans pouvoir toutefois entrer dans le détail des divers têtes de chapitre.

Quant au coût économique réel de l'ouvrage, qui au fond représente la totalité des efforts engagés pour réaliser l'ouvrage – avant d'avoir défalqué toute subvention explicite ou occulte et tout montant passé par pertes et profits – c'est très rarement qu'il a été calculé et encore plus rarement qu'il a été publié; si toutefois cela s'est produit une fois! Et tout cela sans parler de pertes subies, ou de bénéfices injustifiés réalisés par des tiers.

3.3 Référentiel économique

Un autre élément essentiel de la comparaison des coûts est le référentiel économique à prendre en compte, à moins qu'il ne s'agisse d'ouvrages réalisés dans des conditions identiques d'espace et de temps. Il concerne le ou les pays où le tunnel est réalisé. Le tunnel n'est pas un bien exportable pour lequel il existerait un prix fixé par le commerce international. De ce fait les conditions économiques et les exigences posées à la construction, tant sur le plan général que local, sont déterminantes et peuvent être substantiellement différentes. Dans le **Tableau 3 (Référentiel économique)** on a mentionné quelques-uns de ces facteurs. Certes, la liste n'en est pas exhaustive.

A titre d'exemple de ce type d'influences je citerai simplement le cas suivant. Après la deuxième guerre mondiale les conditions du marché financier en Suisse étaient très favorables, les taux d'intérêt fort bas, les entreprises jouissaient de moyens propres ou de possibilités de crédit conséquentes, le coût de la main-d'œuvre était par contre relativement élevé par rapport à d'autres pays voisins. Cette situation a amené plusieurs entreprises à investir dans l'achat de tunneliers. Il s'est produit de ce fait en Suisse une concentration assez remarquable de tunneliers par rapport à d'autres pays, et cela évidemment en raison aussi du volume des travaux à réaliser. Par la suite plusieurs de ces entreprises ont pu exporter leurs services dans ce domaine vers d'autres pays et maintenir un certain avantage concurrentiel, au moins pour quelque temps.

Un facteur fondamental dans la définition du coût final de l'ouvrage est aussi le degré de concurrence, interne et externe, qui a réellement joué au moment de la soumission.

En conclusion, disons qu'il pourrait être intéressant de calculer un certain "indice de base" relatif à chaque pays qui tiendrait compte de tous les éléments qui définissent le référentiel économique spécifique aux travaux souterrains.

3.4 Cadre juridique du projet

Un aspect souvent négligé dans la comparaison des devis et décomptes est l'ensemble des éléments qui forment le cadre juridique du projet.

Ainsi qu'indiqué au **Tableau 4 (Cadre juridique du projet)** de nombreux facteurs interviennent dans la détermination du coût final et par ricochet du devis préliminaire de l'ouvrage. Parmi ces divers facteurs je mentionnerai l'importance du partage des risques entre le maître de l'ouvrage et l'entrepreneur, ainsi que celle des procédures prévues et appliquées pour le règlement des litiges. Nombreux sont ceux qui, au moment de l'établissement des documents de soumission et du contrat d'entreprise, aiment se faire des illusions à ce sujet.

Je pense pour ma part qu'il vaut mieux dédier son énergie et son temps à la bonne réussite de l'ouvrage plutôt qu'à la défense, dans le cadre d'une procédure complexe, d'intérêts pourtant légitimement acquis. Le coût final et la qualité de l'ouvrage ne feraient que profiter de la simplification des procédures.

Dans un bulletin (N° 110) la Commission Internationale des Grands Barrages a été mis en évidence les surcoûts significatifs induits par des lois et des spécifications contractuelles non parfaitement adaptées au problème à résoudre.

Je m'imagine que des considérations semblables s'appliqueraient également aux ouvrages souterrains quand, par exemple, des exigences de qualité injustifiées sont imposées.

On sait bien comment de telles spécifications sont variables d'un pays à l'autre, mais aussi d'une décennie à la suivante.

3.5 Contingences particulières

Outre ces conditions générales tout projet doit encore tenir compte de contingences particulières que se reflètent également sur les coûts de l'ouvrage.

Le **Tableau 5 (Contingences particulières)** en donne une courte liste.

La relation entre les coûts de l'ouvrage et les délais de réalisation prévus ou imposés en est une. Des délais raccourcis mènent parfois à la réalisation d'attaques intermédiaires à la mise en service d'équipements supplémentaires ou au renoncement à des techniques plus lentes mais moins coûteuses. L'octroi de délais de réalisation excessivement courts cherche d'ailleurs souvent à masquer simplement les retards dus aux procédures politiques et administratives.

Il est intéressant de noter qu'au moment des choix à faire au stade du projet ou de la mise en marche du chantier, l'intention de raccourcir les délais se traduit par une augmentation des coûts devisés, mais qu'il en va de même si, au contraire, l'allongement de la durée des travaux s'impose durant la construction pour quelque raison que ce soit.

Connaître le coût final d'un ouvrage ne veut pas encore dire que l'on soit au courant de tous les facteurs qui l'ont influencé.

La manière d'établir le devis peut certes influencer dans une proportion non négligeable le résultat final, mais le même effet se retrouve, peut-être d'ailleurs même en plus grande mesure encore, pour ce qui est du degré de précision et de réalisme du projet mis en soumission.

3.6 Conditions d'environnement

On parle de plus en plus des conditions d'environnement dont il faut tenir compte lors de l'établissement du projet et dont l'influence sur les coûts peut être significative. Ce terme doit, à mon avis, être entendu dans un sens plus général qu'on ne le fait d'habitude.

Le **Tableau 6 (Environnement)** donne une subdivision possible de cette notion.

Pour ce qui est de l'environnement construit, on peut, par exemple, signaler, dans le cas du St. Gothard, le risque d'un abaissement de la nappe phréatique par effet de drainage. On peut craindre alors des tassements en surface susceptibles d'endommager les barrages situés au-dessus du tracé (**Fig. 8, Tracé du St. Gothard et barrages**), selon un scénario qui s'était produit au barrage de Zeuzier voilà 20 ans déjà et qui avait causé des dommages considérables. Peuvent s'ensuivre des coûts supplémentaires, soit pour limiter le débit drainé - par exemple par injection du rocher - soit à cause de la surveillance accrue des ouvrages rendue nécessaire, soit éventuellement en raison de mesures d'intervention à leur niveau ou de limitations d'exploitation.

La **Figure 9 (Influence possible du tunnel sur le barrage de Sta. Maria)** indique qu'au droit du barrage de Sta. Maria le tassement dû à l'effet drainant pourrait atteindre 1 à 2 cm, et la vallée pourrait s'ouvrir de 1 cm au moins en sollicitant la voûte en question.

Pour ce qui est de l'environnement habité citons le cas de l'agglomération de Biasca où au portail Sud du même ouvrage un tunnel de 3 km environ devra être réalisé pour transporter les déblais à la décharge sans devoir traverser les zones habitées (**Fig. 10, Tracé au portail sud**).

Le coût de cette galerie est évidemment inclus dans celui du tunnel ferroviaire.

Point besoin d'ailleurs de mentionner tous les ouvrages directement ou indirectement intéressés par la construction d'un grand tunnel dans la zone des portails et d'accès, sans que l'on sache toujours exactement jusqu'à point leurs coûts sont compris dans le devis et le décompte connus. En effet, des ouvrages secondaires sont souvent mis à la charge d'un budget plutôt que d'un autre selon des procédures parfois un peu spéciales.

Un facteur qui influe sur les coûts plus qu'il n'y paraît de prime abord est l'aspect politique: est-ce que le projet est bien vu par les populations et les autorités, ou doit-il au contraire compter avec nombre d'oppositions, des difficultés spéciales et donc des coûts supplémentaires?

Que tous les frais encourus soient effectivement liés au projet n'est pas sujet de discussion ici, mais s'agit-il par exemple simplement du rétablissement des voies de circulations préexistantes ou de leur amélioration concédée pour éviter des oppositions ou des difficultés administratives?

3.7 Conditions naturelles

Au **Tableau 7 (Conditions naturelles)** on mentionne les conditions naturelles qui conditionnent fondamentalement le projet et qui sont évidemment primordiales pour la définition du projet et des coûts. Dans le cas du St. Gothard (comme dans celui d'autres tunnels alpins) les hautes couvertures qui atteignent 2'000 m conduisent non seulement à des contraintes d'origine élevées mais également à des températures qui peuvent atteindre 50° (**Fig. 11 , Champ thermique prévisionnel du St. Gothard**). Il est certain que ces températures entraînent la nécessité de mesures particulières tant pendant la construction que pendant l'exploitation du tunnel.

Les conditions de vie plus ou moins agréables sur le chantier dans des endroits parfois difficilement accessibles peuvent causer des surcoûts qui dans d'autres cas ne sont pas donnés.

La **Figure 12 (Coûts comparatifs d'excavation)** montre la très forte variabilité du coût en fonction des conditions naturelles, pour la traversée du massif intercalaire du Tavetsch par le tunnel du St. Gothard.

Il est souvent fort difficile d'évaluer avec précision, lors de la comparaison de deux ouvrages, l'influence que ces diverses conditions et les difficultés y relatives ont réellement eu sur le décompte final.

3.8 Conditions générales du projet

Quelques-unes des conditions générales évidentes ou des exigences imposées au projet par le "cahier des charges" ressortent du **Tableau 8 (Cahier des charges du projet)**.

Les niveaux d'exigence au sujet de la sécurité de l'exploitation sont par exemple fonction de l'intensité du trafic présumé, et évidemment du gabarit. Les conditions imposées au climat intérieur du tunnel peuvent avoir des incidences non négligeables sur les coûts de l'ouvrage outre que sur ceux d'exploitation.

Une étude intéressante a été menée au sujet du revêtement du lot sud du tunnel du St. Gothard avec l'emploi ou non de voussoirs préfabriqués en relation avec nombre de scénarios d'organisation du chantier, du planning et des conditions d'exploitation du tunnel, mais à nouveau on ne saurait ici discuter ces particularités.

Il est certain que le niveau de confort requis pour les usagers et pour l'exploitation, qui est d'ailleurs fortement conditionnée par l'intensité et la nature du trafic prévu, a une importance loin d'être négligeable sur les coûts de l'ouvrage. Le degré d'étanchéité requis, par exemple, pour le revêtement en vue de limiter l'apport d'humidité peut être l'origine de coûts non négligeables. Mais il n'est pas possible d'entrer ici dans des considérations détaillées au sujet de ces aspects.

3.9 Conditions de réalisation

Quelques-unes des conditions de réalisation qui ont un effet significatif sur le coût final de l'ouvrage et que l'on oublie souvent, surtout si l'on procède à des comparaisons de divers ouvrages entr'eux, sont indiquées au **Tableau 9 (Conditions de réalisation)**.

L'expérience enseigne que les retards qui interviennent dans la prise de décision, les décisions non optimales ou même l'absence de décision peuvent entraîner des surcoûts considérables lors de l'exécution des travaux. L'on constate par ailleurs bien souvent une organisation des travaux trop complexe, et l'on ne saurait passer sous silence les coûts d'un contrôle de qualité mal compris, inutilement pointilleux et souvent bureaucratique.

Il s'agit de facteurs bien connus, mais souvent sous-évalués qui contribuent à rendre difficile la comparaison des coûts de divers ouvrages.

3.10 Progrès technique

Le progrès technique, même si relativement lent dans le domaine qui nous intéresse, change continuellement les conditions économiques de réalisation des ouvrages. Ainsi il a été établi dans le cadre d'une étude portant sur presque une centaine d'années que dans le cas d'aménagements hydroélectriques le coût des ouvrages souterrains a très fortement baissé en termes réels mais aussi en termes relatifs à des travaux d'autres types, tels que viaducs, bâtiments et équipement. Cela a conduit à une modification radicale des projets.

En fait, le progrès technique n'a d'autre sens et d'autre objectif que d'introduire sur le marché de nouveaux produits, d'en améliorer les qualités et les prestations et d'en diminuer le coût. Il s'agit de réduire la quantité du travail, direct ou indirect, nécessaire pour réaliser un certain ouvrage.

A la **Figure 13 (Productivité dans l'excavation et le revêtement de tunnels)** on peut remarquer l'énorme diminution du nombre d'heures de travail requises pour excaver et revêtir un m³ de cavité souterraine. Ce chiffre ne concerne toutefois que la main-d'œuvre employée directement sur le chantier et non celle des fournisseurs d'équipements ou de produits consommables. Du fait de cette évolution, toujours en cours, les comparaisons de coût ne peuvent donc se faire qu'en référence à une date précise. Notons que le graphique se réfère à des ouvrages très semblables réalisés par paire dans les mêmes conditions géologiques.

En particulier il convient de tenir compte du degré réel de mécanisation qui a pu être effectivement atteint sur un chantier ou sur l'autre pour quelque raison que ce soit.

Durant la période 1872-1882 le premier tunnel ferroviaire du St. Gothard a été construit par Louis Favre. Il employait, pratiquement pour la première fois, les marteaux pneumatiques mis au point par Colladon.

Peu de temps après la deuxième guerre mondiale, les Chemins de Fer Suisses ont envisagé, quelque temps, le doublement du tunnel par un ouvrage pratiquement identique en prévoyant évidemment l'emploi des techniques qui étaient "modernes" à l'époque.

Bien que durant la période d'environ 70 ans qui s'était écoulée, les salaires aient augmenté d'environ 4 à 6 fois, le devis du deuxième tunnel s'établissait aux alentours du décompte du premier. Ce qui indique bien l'ampleur des changements de productivités intervenus durant ce laps de temps.

4. LES COUTS DU TUNNEL FERROVIAIRE DE BASE DU ST. GOTHARD

En se référant au devis établi sur la base des prix de 1991 relatif au projet général du tunnel du St. Gothard tel qu'il l'était en 1995, on arrive aux montants indiqués ci-après, exprimés en francs suisses de l'époque.

Il ne s'agit toutefois pas encore du devis définitif qui est en cours de mise au point pour tenir compte des dernières décisions prises. Le **Tableau 10 (Coûts estimés du tunnel ferroviaire de base du St. Gothard)** en indique les principaux chapitres pour les coûts directs de construction et de maîtrise à l'exclusion d'intérêts intercalaires ou de frais collatéraux.

Plus intéressants sont probablement des coûts spécifiques par mètre de tunnel.

Déjà a été mise en évidence la très forte influence que peuvent avoir les conditions géologiques, et dans ce cas particulier le massif intercalaire du Tavetsch et les coûts des fenêtres et puits d'attaque par rapport au coût moyen de la section courante. Il existe évidemment toujours dans les évaluations de ce genre une certaine part d'arbitraire qui peut trahir un plus ou moins grand optimisme de l'auteur du projet ou du maître d'ouvrage.

Au **Tableau 11 (Coûts spécifiques)** on indique pour chaque lot les coûts par ml de la paire de tunnels à une voie y compris les ouvrages annexes. Sous toutes les réserves faites ci-devant ces chiffres peuvent servir de terme de comparaison avec d'autres projets.

5. CONCLUSIONS

Dans ce qui précède, on a indiqué un nombre de circonstances qui conseillent de procéder avec précaution à la comparaison des coûts d'ouvrages différents entre eux. Il est indispensable de bien connaître dans tous leurs détails les deux projets. Mais il va de soi que les données relatives aux di-

vers projets présentent, malgré leur flou, un intérêt certain, bien que la plus grande prudence s'impose quant à leur utilisation.

Fontvieille/Minusio, avril 1999
Lo/rz/wet/hp

Dr Ing. Giovanni Lombardi

LISTE DES ANNEXES

- Fig. 1 Projet du nouveau réseau ferroviaire suisse
- Fig. 2 Tracé en plan du tunnel
- Fig. 3 Profil en long du tunnel
- Fig. 4 Sections transversales du St. Gothard
- Fig. 5 Géologie générale des Alpes
- Fig. 6 Profil géologique longitudinal du St. Gothard
- Fig. 7 Programme général des travaux du St. Gothard
- Fig. 8 Tracé des Tunnels AlpTransit et barrages
- Fig. 9 Influence possible du tunnel du St. Gothard sur le barrage de Sta Maria
- Fig.10 Tracé au portail Sud du St. Gothard
- Fig.11 Champ thermique prévisionnel du St. Gothard
- Fig.12 Coûts comparatifs d'excavation du Tavetsch
- Fig.13 Productivité dans l'excavation et le revêtement de tunnels

Tableau 1 Facteurs déterminants dans la comparaison des coûts

Tableau 2 Définition du "coût". Eléments inclus ou non

Tableau 3 Référentiel économique

Tableau 4 Cadre juridique du projet

Tableau 5 Contingences particulières

Tableau 6 Environnement

Tableau 7 Conditions naturelles

Tableau 8 Cahier des charges du projet

Tableau 9 Conditions de réalisation

Tableau 10 Coûts estimés du tunnel ferroviaire de base du St. Gothard

Tableau 11 Coûts spécifiques

Tableau 1

**FACTEURS DETERMINANTS DANS
LA COMPARAISON DES COUTS**

- Définition du "coût"**
- Référentiel économique**
- Cadre juridique du projet**
- Contingences du projet**
- Environnement**
- Conditions naturelles**
- Exigences au projet**
- Conditions de réalisation**
- Facteurs divers**

Tableau 2

**DEFINITION DU "COUT"
ELEMENTS INCLUS OU IGNORES**

- Devis/décompte**
- Coûts directs (d'entreprise)**
- Taxes (TVA)**
- Etudes préliminaires**
- Etude variantes**
- Sondages et essais**
- Procédures, permis**
- Etudes réalisation**
- Maîtrise, direction travaux**
- Prestations maître d'œuvre**
- Ingénierie financière**
- Intérêts intercalaires**
- Imprévus**
- Primes/pénalités**
- Coût économique final réel**

Tableau 3**REFERENTIEL ECONOMIQUE**

- Pays**
- Taux de change (fluctuations)**
- Niveau général des prix**
- Situation économique générale**
- Inflation (passée, présente, attendue)**
- Marché des capitaux**
- Conjoncture**
- Marché des travaux**
- Volume du marché**
- Concurrence (interne et étrangère)**
- Conditions de vie sur chantiers**

Tableau 4**CADRE JURIDIQUE DU PROJET**

- Cadre légal (lois, normes, prescriptions, procédures)**
- Contrat d'entreprise**
- Partage des risques**
- Procédures règlement litiges**
- Responsabilité civile/pénale**
- Exigence de sécurité**
- Droit du travail**
- Cadre syndical**
- Droit commercial**

Tableau 5**CONTINGENCES PARTICULIERES**

- Conditions financières**
- Délais - coûts**
- Priorités politiques**
- Règlements techniques/Prescriptions**
- Entreprises admises au concours**
- Nombre de lots**
- Bases du devis (articles, prix d'ordre)**
- Contraintes du projet**
- Ouvrages/travaux supplémentaires**

Tableau 6

ENVIRONNEMENT

- Naturel (drainage, sources, pollution)**
- Construit (tassements)**
- Habité (vibrations, bruit, poussières)**
- Politique local (projet bien vu?)**
- Technique (méthodes imposées/exclues)**

Tableau 7

CONDITIONS NATURELLES

- Morphologie (accès)**
- Couverture (contraintes, température)**
- Géologie (variabilité)**
- Géomécanique**
- Hydrogéologie**
- Décharges**
- Vie sur chantiers**

Tableau 8**CAHIER DES CHARGES DU PROJET**

- Nombre de voies et de tubes**
- Gabarit, tracé**
- Galerie de service**
- Aménagements divers**
- Capacité**
- Sécurité**
- Confort exploitation**
- Confort usagers**
- Style général du projet**
- Délais impartis**

Tableau 9**CONDITIONS DE REALISATION**

- **Organisation interne**
 - maître d'ouvrage
 - ingénieur
 - maîtrise d'œuvre
 - conseils experts
 - commissions
 - autorités de contrôle
- **Entreprises**
 - technique
 - finances
 - organisation
 - consortiums
- **Procédures d'adjudication**
 - p.ex. variantes au projet
 - quantités évaluées a priori
- **Contrat d'entreprise**
- **Climat chantier**
 - sens responsabilité
 - prise de décision
 - entente "cordiale"
- **Règlement contentieux**
- **Personnes et Personnalités**

Tableau 10

**COUTS ESTIMES DU TUNNEL FERROVIAIRE DE
BASE DU ST. GOTHARD (BASE 1991)**

ALPTRANSIT		Coûts en Mio CHF
Direction du projet		290
Secteur Nord		1'976
Tunnel de Base		5'099
Terrains	47	
Projet/Maitrise	439	
Equipements ferroviaires	661	
Sondages	107	
Secteurs - Uri	388	
- Amsteg	781	
- Sedrun	1'023	
- Faido	954	
- Bodio	700	
Secteur Sud		2'217
Ligne du St. Gothard		9'583
Chemin de fer FO		120
TOTAL		9'703

Tableau 11

**COUTS SPECIFIQUES
POUR DEUX TUBES Y.C. PUIITS ET FENETRES
(BASE 1991)**

SECTEUR	COUT Mio CHF	LONGUEUR km	COUT POUR KM Mio CHF/km	RAPPORT AU COUT MOYEN
Uri	388	7.38	52.6	78%
Amsteg	781	11.695	66.8	98%
Sedrun	1'023	1.800+4.141	172.2	254%
Faido	954	15.131	63.0	93%
Bodio	700	16.558	42.3	62%
Total	3'846	56.705	67.8	100%
Autres coûts	1'253	56.705	22.1	33%
Total	5'099	56.705	89.9	133%