

Articulation du rapport

Le rapport de l'étude principale comprend:

A une synthèse générale

= niveau A, en français, allemand et anglais

B les cahiers 1 à 8 indiquant la méthodologie adoptée et les résultats obtenus par les études menées dans les différents domaines spécifiques. Le cahier 8 donne les valeurs de références utilisées. Ils peuvent être obtenus sur demande :

1) Trafic	TRAFITEC SA	M. Savary
2) Exploitation	ATELIER COMMUN SA	D. Dériaz
3) Infrastructure	C. ZSCHOKKE SA	J. Wilhelm
4) Electromécanique	EPFL	A. Cassat
5) Mécanique	BONNARD ET GARDEL SA	A. Weatherill
6) Sécurité	ILF	B. Kohl
7) Economie	EWE AG	A. Turi
8) Valeurs de références	SWISSMETRO SA	Y. Trottet

= niveau B, en français ou allemand / Confidential

On a renoncé à la rédaction des cahiers B traitant de l'Aménagement du territoire et de l'Etude d'impacts sur l'environnement, car les documents correspondants de la demande de concession exposent déjà des considérations touchant au réseau Swissmetro et à son extension européenne.

C les autres documents et rapports spécifiques ayant servi de base à l'élaboration des documents ci-dessus. Ils peuvent être obtenus sur demande.

= niveau C, en français, ou allemand ou anglais / Confidential

Remarques :

Quelques études complémentaires sont encore en cours et dont les résultats feront l'objet de rapport spécifiques en 1999 et 2000. Il s'agit des rapports concernant les projets CTI (Histar et revêtement des tunnels) et PNR 41.

Un rapport spécifique traitant des résultats scientifiques de l'étude principale est rédigé par le coordinateur des Ecoles Polytechniques Fédérales. Son but est d'assurer le transfert du savoir-faire scientifique et sa structure est similaire à celle du rapport de Swissmetro SA.

Ce rapport est également disponible en langues allemande et anglaise.



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	1
2. DESCRIPTION DU SYSTEME	3
2.1 TECHNOLOGIE	3
2.2 OUVRAGES ET EQUIPEMENTS.....	4
2.3 MODE D'EXPLOITATION.....	5
3. ETUDE PRINCIPALE	6
3.1 OBJECTIFS	6
3.2 ORGANISATION.....	6
3.3 FINANCEMENT.....	8
4. DEMANDE DE CONCESSION, TRONÇON PILOTE GENEVE-LAUSANNE.....	9
5. RESULTATS DE L'ETUDE PRINCIPALE, DEVELOPPEMENTS COMPLEMENTAIRES	11
5.1 DOMAINE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE	12
5.2 DOMAINE DU TRAFIC	16
5.3 DOMAINE DE L'EXPLOITATION.....	18
5.4 DOMAINE DE L'INFRASTRUCTURE.....	24
5.5 DOMAINE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.....	28
5.6 DOMAINE DE L'ELECTROMECHANIQUE	30
5.7 DOMAINE DE LA MÉCANIQUE	34
5.8 DOMAINE DE LA SÉCURITÉ.....	37
5.9 DOMAINE DE L'ECONOMIE.....	40
6. RESULTATS DES TRAVAUX DE RECHERCHE DANS LE CADRE DU PNR 41	49
6.1 PROJETS INTERESSANT DIRECTEMENT SWISSMETRO.....	49
6.2 REFERENCE DES PROJETS PNR41 INTERESSANT INDIRECTEMENT SWISSMETRO	51
7. DEVELOPPEMENT EUROPEEN	53
8. DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL.....	54
9. CONCLUSIONS	55
10. ANNEXES.....	58
10.1 LISTE DES PARTENAIRES ET PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE PRINCIPALE	58
10.2 LISTE DES PUBLICATIONS TRAITANT DE SWISSMETRO	61
10.3 ABREVIATIONS	63

1. INTRODUCTION

Métropole suisse

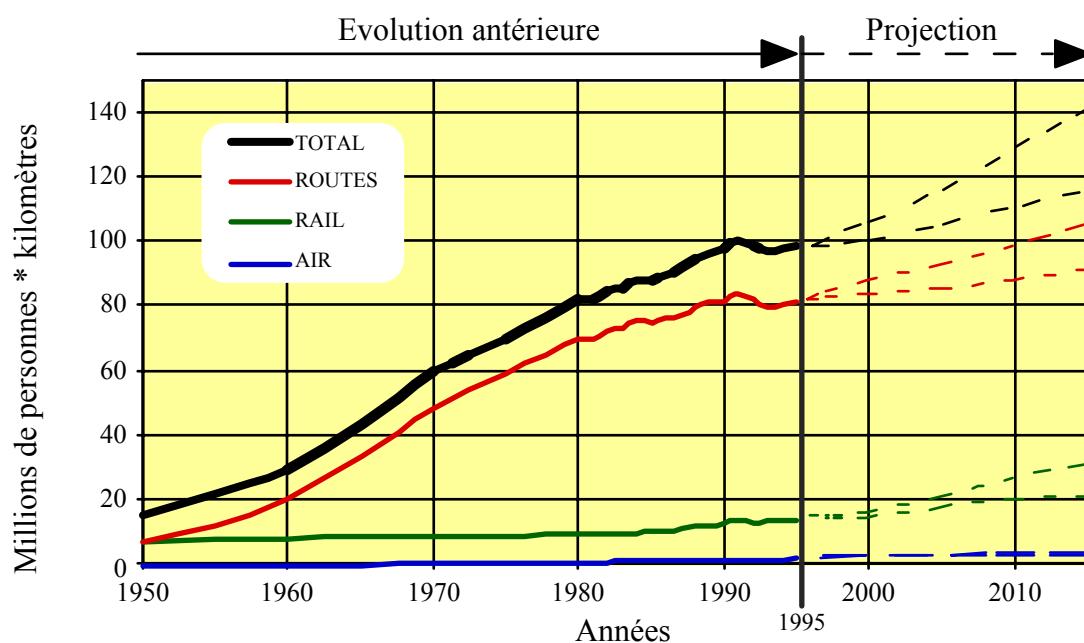
Les villes à fonction majeure, du fait qu'elles concentrent informations, activités et services, structurent le territoire d'un pays industrialisé : l'accessibilité quotidienne à ces pôles constitue donc de plus en plus une condition indispensable au développement économique et social. La création de richesses dépend non seulement de la capacité du pays à se structurer en métropole, avec les villes d'importances nationale et internationale reliées entre elles par un moyen de transport à grande vitesse, mais aussi d'une bonne irrigation du territoire attenant par les transports publics régionaux. Elle dépend également de liaisons performantes avec les grandes cités européennes.

Système de transport du 3^{ème} millénaire

Swissmetro, système de transport de personnes à vitesse et fréquence élevées, indépendant de l'urbanisation et des encombres de surface comme de la topographie, fonctionnant comme un super-métro, répond aux besoins nouveaux qui apparaissent à l'aube du troisième millénaire. Il s'intègre aux réseaux ferroviaires existants ou projetés, apporte une réponse crédible à l'augmentation prévisible de la mobilité et, grâce à son attractivité, contribue activement au transfert du trafic privé / routier vers le trafic public / ferroviaire.

Evolution statistique du transport voyageurs

La statistique suisse des transports met en évidence le côté spectaculaire du développement du transport des voyageurs en Suisse depuis 1950, et le contraste marqué entre l'évolution des transports par route et par chemin de fer.



Sources : OFS, annuaire statistique de la Suisse 98, Tab.11.6 et SET 2/95 (adapté aux chiffres OFS 98)

Figure 1 : évolution et perspectives de la mobilité

Même si l'augmentation du trafic de personnes a connu un fléchissement durant les années de récession économique (1990-1996), elle se poursuivra dans le futur quels que soient les scénarios envisagés par l'étude "Perspectives d'évolution du trafic en Suisse" (SET 2/95, SGZZ).

Transfert route-rail

Ces différents scénarios montrent ainsi qu'il n'y aura pas un transfert suffisant de la route au rail, malgré tous les efforts consentis pour améliorer le réseau actuel. Swissmetro devrait par contre contribuer à corriger cette tendance, car l'attractivité de ce nouveau système de transport public captera une partie du trafic voyageurs transportés aujourd'hui par voiture et par avion à moyenne distance.

Bref historique

Lancé au début des années 1970 par Rodolphe Nieth, le projet reçoit l'appui de scientifiques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et des milieux politiques. Une étude préliminaire, financée par la Confédération et des entreprises privées, et achevée en mars 1993, en démontre la faisabilité technique et économique. La société Swissmetro SA, fondée en 1992, réunit les moyens financiers nécessaires à l'étude principale, objet du présent rapport.

Développements futurs

L'étude principale devrait maintenant déboucher sur une phase de développement industriel des systèmes électromécaniques et mécaniques, avant que ne puisse débuter la construction d'un tronçon pilote. Dès que possible, un segment d'environ 15 kilomètres sera équipé pour servir de tronçon d'essais et d'homologation.

En parallèle au démarrage du développement industriel, différentes études sont poursuivies : essais HISTAR, essais d'étanchéité du revêtement, achèvement des études PNR 41, études tronçons Genève – Lyon, éventuellement St Gall – Munich. Des rapports complémentaires spécifiques seront émis en temps utile.

Echéancier

Sous réserve d'obtenir les approbations politiques et de réunir les moyens financiers dans les meilleurs délais, l'échéancier optimal se présente comme suit :

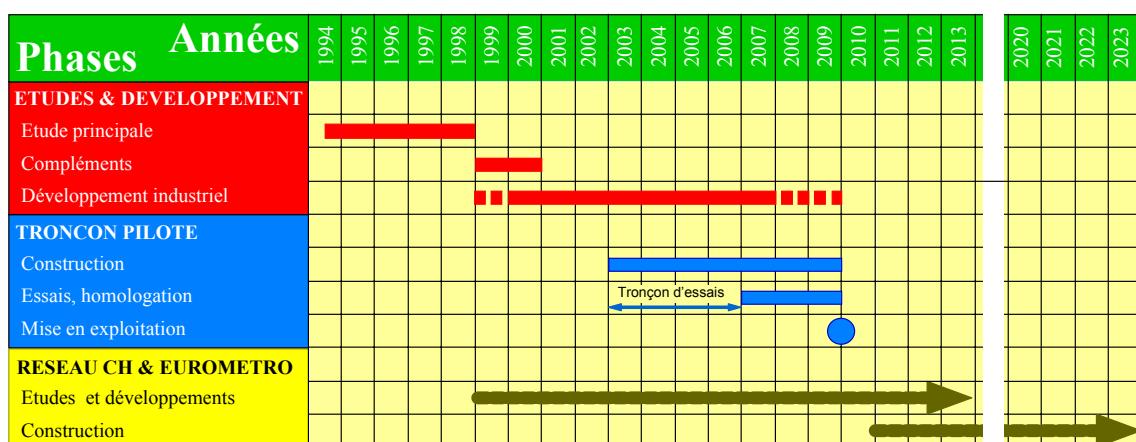


Figure 2 : planning des études, développement et construction

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

2.1 Technologie

Quatre technologies complémentaires

Le système Swissmetro est fondé sur la mise en œuvre de quatre technologies complémentaires :

- une infrastructure entièrement souterraine, comprenant deux tunnels de 5 m de diamètre intérieur, forés en général, pour le tronçon pilote, dans la roche à une profondeur variant entre 60 et 300 mètres selon la topographie, ainsi que des stations connectées au centre des villes aux réseaux de transports publics urbains et régionaux de surface,
- une réduction de la pression dans les tunnels (vide partiel correspondant à la pression régnant à environ 18'000 m, altitude de vol du Concorde) afin d'économiser l'énergie nécessaire à la propulsion de véhicules pressurisés,
- un système de propulsion des véhicules par moteurs électriques linéaires (deux variantes possibles), permettant d'atteindre une vitesse de l'ordre de 500 km/heure,
- un système de sustentation et de guidage magnétique des véhicules.

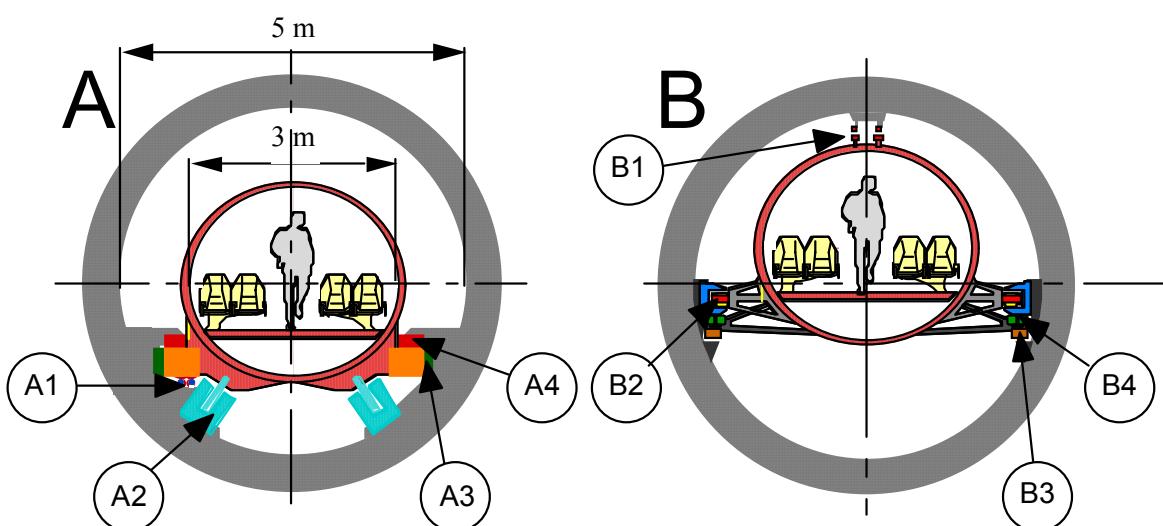


Figure 3 : coupes schématiques de deux variantes du tunnel avec véhicules

Variante A (moteur dans le tunnel)	Variante B (moteur embarqué)
A1 = Transmission d'énergie par induction	B1 = Transmission d'énergie par induction
A2 = Moteurs linéaires fixés au tunnel	B2 = Moteurs linéaires embarqués
A3 = Inducteur de guidage	B3 = Inducteur de guidage
A4 = Inducteur de sustentation	B4 = Inducteur de sustentation

2.2 Ouvrages et équipements

Stations

Les stations souterraines sont situées à proximité immédiate des gares CFF. Elles comprennent une partie supérieure (hall d'accueil et d'enregistrement) et une partie en profondeur (zone d'embarquement et de débarquement) reliées par des ascenseurs à grand débit. Cette dernière comprend également des emplacements pour garer les véhicules de réserve ou de service mis en place à l'aide d'un système rotatif (barillet).

Tunnels

Les deux tunnels monodirectionnels, munis d'un revêtement étanche à l'air et à l'eau, sont distants d'environ 25 m d'axe à axe. Ils sont reliés par des galeries transversales, notamment aux droits des puits intermédiaires.

Puits intermédiaires (postes d'exploitation)

Des puits intermédiaires ou des galeries, ayant servi à la construction des tunnels, permettent l'introduction de l'alimentation électrique pour l'exploitation. Les pompes destinées à la création et au maintien du vide partiel y sont également installées.

Sas à passagers

Dans les stations, des sas permettent aux passagers d'accéder sans problème des quais d'embarquement aux véhicules, restés en enceinte dépressurisée, et vice-versa.

Barillet

Chaque station est équipée d'un système de transfert rotatif dénommé "barillet", permettant le passage des véhicules d'un tunnel à l'autre.

Atelier de maintenance

Des ateliers de maintenance sont prévus dans certaines stations. Il s'agit d'une maintenance programmée, comme dans l'aéronautique, la révision des éléments échangés étant effectuée dans les ateliers des fournisseurs.

Alimentation en énergie

Les installations de Swissmetro se raccordent en principe aux réseaux existants d'alimentation en énergie électrique :

- le réseau à haute tension pour l'alimentation du système électromagnétique. En cas de panne, un système de secours permet de maintenir la sustentation et le guidage magnétiques ainsi que les fonctions vitales du véhicule,
- les réseaux locaux à moyenne tension pour l'alimentation des stations et de leurs installations (ascenseurs, etc.). En cas de panne, un système de secours assure l'alimentation des installations importantes.

Véhicules

Les véhicules pressurisés, d'une longueur de 80 mètres (130 mètres) et d'un diamètre extérieur de 3.2 mètres, peuvent accueillir 200 personnes (400 personnes) assises. Aux stations, des portes automatiques et des sas permettent un transfert aisément des voyageurs.

2.3 Mode d'exploitation

Exploitation

Le choix d'un mode de transport pour un déplacement dépend principalement de deux éléments : la durée du parcours et son coût. Le premier explique le succès de la voiture par rapport au transport public, qui est pénalisé par le temps qu'il faut au voyageur pour aller de l'origine à la gare, par le temps d'attente et par le temps nécessaire pour aller de la gare jusqu'à la destination. Il est donc important d'agir non seulement sur la vitesse, mais aussi sur la fréquence des convois, la localisation des stations et la coordination étroite avec les autres moyens de transport, afin d'augmenter l'attractivité globale du système.

Swissmetro répond à cette préoccupation en offrant, dans le cas d'une exploitation synchrone, un temps de parcours de douze minutes entre les stations, une fréquence de six minutes aux heures de pointe, un concept de station limitant au maximum les temps d'attente du voyageur ainsi qu'une collaboration avec les CFF et les entreprises de transport urbain pour l'exploitation du système.

Pour faciliter les opérations d'embarquement et de débarquement dans un court laps de temps, les voyageurs sont pris en charge et conduits par un "accompagnateur".

Avec un véhicule de 200 personnes toutes les 6 minutes aux heures de pointe, Swissmetro a par conséquent une capacité de transport de 2'000 voyageurs assis par heure et par direction. Si nécessaire, cette capacité peut être portée à 3'000 avec une fréquence de 4 minutes. En cas de nécessité, une rame allongée, par incorporation d'éléments supplémentaires entre les extrémités, offre une capacité de 6'000 voyageurs assis par heure et par direction. Cette capacité peut être encore augmentée, si l'on accepte de diminuer le confort.

3. ETUDE PRINCIPALE

3.1 Objectifs

<i>Objectifs principaux</i>	Les objectifs de l'étude principale sont les suivants :
	<ul style="list-style-type: none"> • le choix d'un tronçon pilote et le dépôt d'une demande de concession, • le choix des options techniques, économiques et politiques du système.
<i>Objectifs techniques</i>	Les objectifs techniques de l'étude principale visent à définir et concevoir le système Swissmetro sous forme d'un ensemble de solutions cohérentes.
	Les critères de choix ont porté sur les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation, la sécurité et les impacts sur l'environnement.
<i>Objectifs économiques</i>	Les objectifs économiques sont les suivants :
	<ul style="list-style-type: none"> • l'estimation crédible du potentiel de transport, des coûts d'investissement, des coûts d'exploitation et du taux de rentabilité pour le tronçon pilote et pour le réseau, • le choix d'un modèle de financement et l'étude de sa faisabilité économique, • l'étude des impacts socio-économiques.
<i>Objectifs politiques</i>	Les objectifs politiques sont les suivants :
	<ul style="list-style-type: none"> • l'obtention d'une concession pour un tronçon pilote, • la réalisation d'un système respectueux de l'environnement et de l'aménagement du territoire, prenant en compte les systèmes de transports existants ou en voie de réalisation, • la promotion du système de transport Swissmetro dans une vision européenne (Eurometro).

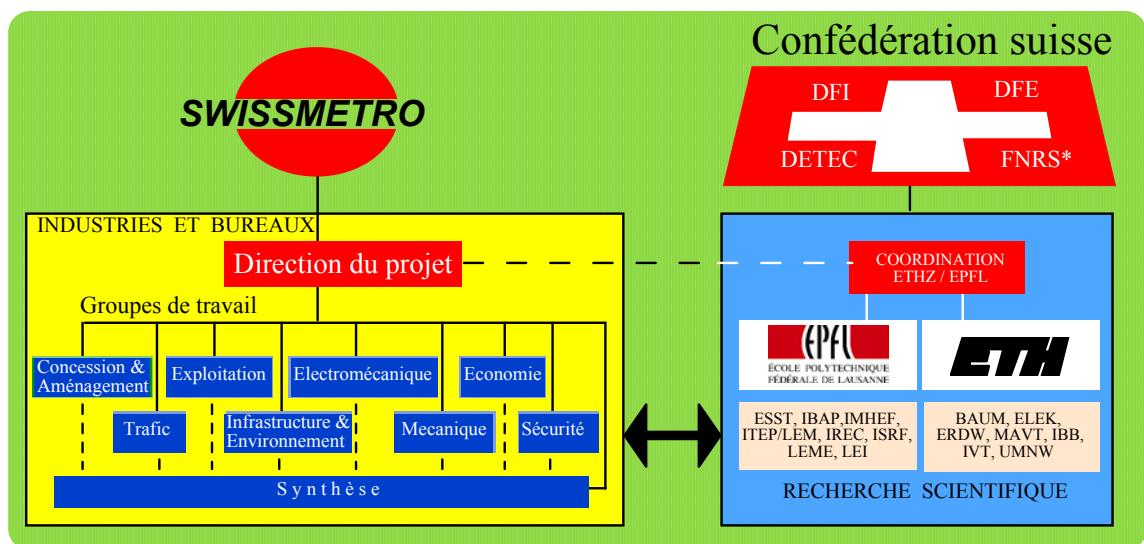
3.2 Organisation

<i>Maître d'ouvrage</i>	Le responsable de l'étude principale est la société Swissmetro SA.
<i>Direction du projet</i>	La direction du projet et son contrôle budgétaire, l'intégration des partenaires industriels et la coordination entre EPF et industries ont été délégués à Electrowatt Engineering AG (EWE), mandataire de Swissmetro SA. La coordination des activités entre les deux Ecoles Polytechniques a été assurée par l'EPFL.

Organisation

L'étude principale a été menée dans le cadre de groupes de travail œuvrant dans des domaines spécifiques selon l'organigramme ci-dessous.

Le groupe de synthèse est intervenu à intervalles réguliers pour trouver des compromis techniques et économiques entre les exigences parfois contradictoires des autres groupes de travail. Il a défini en particulier, en juin 96, les valeurs de références à prendre en considération par tous les partenaires de l'étude afin d'assurer la cohérence de celle-ci.



* Le FNRS a également financé d'autres recherches que celles des EPF: bureaux privés, HES.

Figure 4 : organigramme

Dans la mesure du possible, les groupes de travail comprenaient des représentants des Ecoles polytechniques et des industries privées. Ce partenariat public/privé a offert des avantages indéniables aux deux parties. En effet, si l'aspect scientifique et la recherche demeurent bien évidemment les préoccupations essentielles des EPF, les industriels souhaitent obtenir des résultats économiquement exploitables à moyen terme. Ces stratégies divergentes ont engendré parfois des situations de tensions, contraignant les partenaires à engager un dialogue fructueux et créateur, le plus souvent, de solutions innovatrices.

3.3 Financement

Source de financement

Le financement de l'étude principale a été assuré par :

- le capital de la société souscrit principalement par des acteurs privés,
- des prestations d'étude assurées par des bureaux techniques, des entreprises et des industries privées, ces prestations étant convertibles en actions de Swissmetro SA, mais seulement en cas de réalisation,
- des crédits publics assurés par la Confédération (**DFI**: CEPF, ETHZ, EPFL ; **DETEC** : SET, OFEN ; **DFE** : CTI ; **FNRS** : PNR41)

Sources de financement	Montant (CHF)	Pour-Cent (%)
Swissmetro SA (dépenses cash au 31.12.98)	5'064'200	35
Prestations bureaux techniques et industries privées	4'001'415	27
Prestations Confédération suisse	5'463'000	38
Total	14'528'615	100

Tableau 1 : situation du financement de l'étude principale au 31.12.98

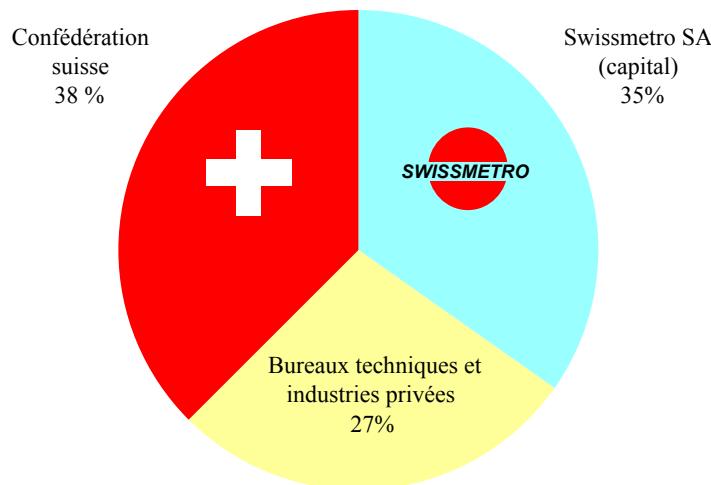


Figure 5 : répartition du financement

Le budget total de l'étude principale, y compris la phase complémentaire 1999-2000 (CTI et autres, budget : 3,5 mio CHF), est de l'ordre de 18 millions.

Le capital de Swissmetro SA a été utilisé pour couvrir les mandats de direction du projet et de promotion, quelques prestations particulières rémunérées en cash ainsi que la participation de la société à la réalisation de bancs d'essai.

Répartition du capital	Montant (CHF)	Pour-Cent (%)
Administration	1'269'600	25%
Promotion	1'115'800	22%
Direction et administration du projet	2'551'100	50%
Etudes et essais	127'700	3%
Total	5'064'200	100%

Tableau 2 : répartition des dépenses Swissmetro SA engagées au 31.12.98 pour l'étude principale

4. DEMANDE DE CONCESSION, TRONÇON PILOTE GENÈVE-LAUSANNE

Choix du tronçon pilote

Le choix du tronçon pilote a été effectué sur la base d'une étude multicritère prenant en compte le taux interne de rentabilité, l'investissement total, l'acceptation politique, l'acceptabilité du point de vue de l'environnement, l'acceptation des CFF, l'attractivité, les reports d'investissement et la compatibilité avec le réseau final. Les 5 tronçons suivants ont été pris en considération : Genève – Lausanne, Fribourg – Berne, Berne - Zurich, Lucerne – Zurich, Bâle – Zurich.

Après consultation des autorités politiques fédérales, le choix s'est finalement porté sur la liaison Genève – Lausanne.

Dossier de demande de concession

La demande de concession a été déposée auprès de l'Office fédéral des transports le 27.11.97 sous la forme d'un dossier comprenant :

Niveau A

- la demande de concession proprement dite, conforme aux exigences légales, avec les plans de base exigés.
= Niveau A de la demande de concession, en français et allemand

Niveau B

- les cahiers 1 à 9 résumant la méthodologie adoptée et les résultats obtenus par les études menées dans les différents domaines spécifiques à savoir : Infrastructure, Electromécanique, Mécanique, Exploitation, Trafic, Aménagement du territoire, Rapport d'impact sur l'environnement, Sécurité, Economie. Les cahiers 10 et 11 donnent d'autres renseignements (valeurs de référence, statuts de Swissmetro SA). Un dossier de plans complète ces documents, comprenant étude géologique, tracé, tunnels, station de Genève, station de Lausanne.

= Niveau B de la demande de concession, en français ou allemand (confidentiel)

Niveau C

- les autres documents et rapports spécifiques, classés confidentiels, qui ont servi de base à l'élaboration des documents ci-dessus, sont inventoriés par Swissmetro SA et archivés chez leurs auteurs. Ils sont à disposition sur demande.

= Niveau C de la demande de concession, en français ou allemand ou anglais (confidentiel)

Les informations relatives à la demande de concession sont disponibles dans les documents cités et ne sont pas reprises dans le présent rapport. Les travaux du tronçon pilote ne sont donc mentionnés que dans la mesure où il s'agit d'options générales applicables à l'ensemble du réseau ou d'exemples significatifs.

Démarche concrète et interdisciplinaire

Il convient toutefois de relever ici combien l'élaboration de la demande de concession s'est avérée bénéfique pour l'étude principale dans son ensemble. Il s'agissait en effet d'une démarche concrète et interdisciplinaire, impliquant des aspects techniques et de sécurité, mais également écologiques, économiques et politiques. Les solutions choisies ont dû être obligatoirement étudiées d'un point de vue global et non pas du seul point de vue d'un domaine considéré isolément. Cette approche interdisciplinaire a très certainement été profitable aux développements du projet.

5. RESULTATS DE L'ETUDE PRINCIPALE, DEVELOPPEMENTS COMPLEMENTAIRES

Variantes de réseau

De nombreuses variantes de réseau ont été étudiées par les groupes de travail, mais le présent rapport ne retient que les deux variantes suivantes :

- Variante A, réseau de base de l'étude préliminaire
- Variante B, avec croisement à Zurich

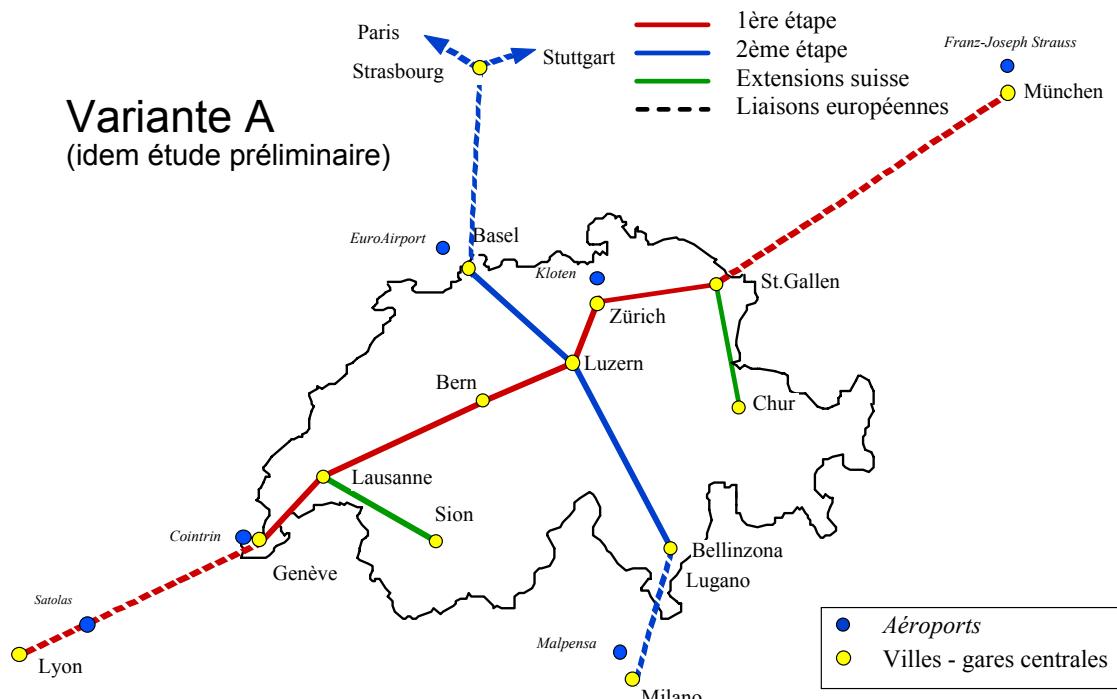


Figure 6 : variante A, réseau de base (étude préliminaire)

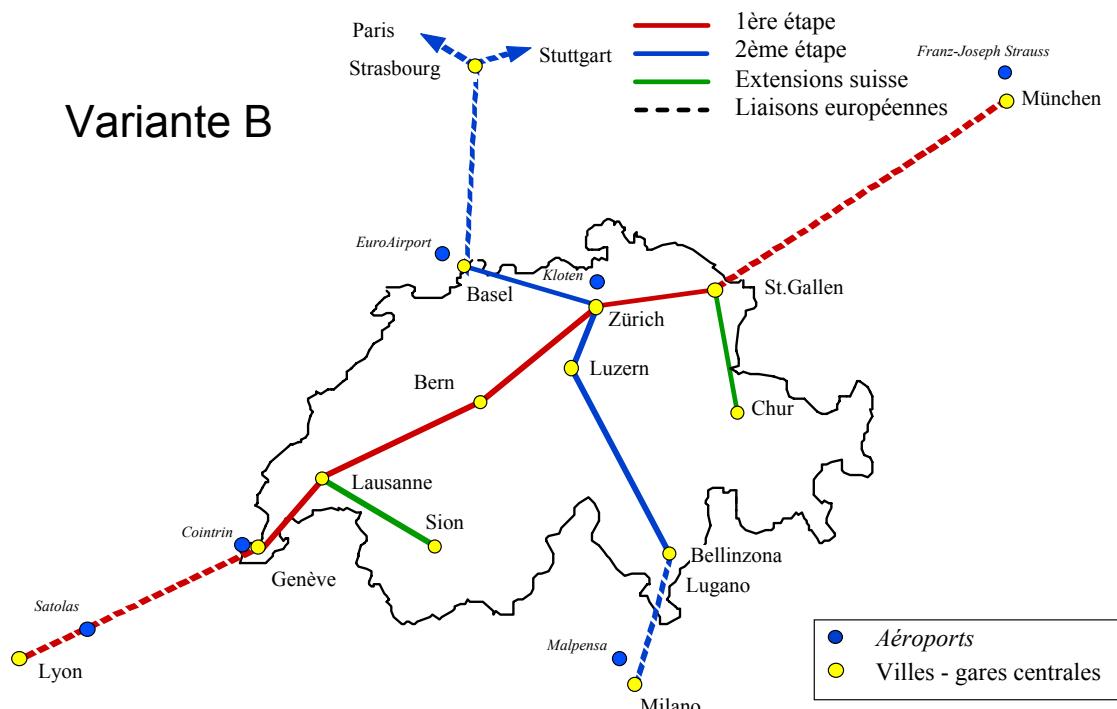


Figure 7 : variante B du réseau

5.1 Domaine de l'aménagement du territoire

Remarque préliminaire

L'étude de l'aménagement du territoire reprend dans les grandes lignes le contenu du rapport établi pour la demande de concession. En effet, l'analyse faite pour celle-ci a examiné la compatibilité du tronçon pilote et du réseau Swissmetro avec les plans de développement aux niveaux communal, cantonal, fédéral et européen.

On a de ce fait renoncé à la rédaction d'un cahier B- Aménagement du territoire.

5.1.1 Cahier des charges du groupe de travail

- étude des conséquences pour l'aménagement du territoire de la réalisation du système de transport Swissmetro,
- étude de la compatibilité du projet Swissmetro avec les politiques fédérale, cantonale et communale d'aménagement du territoire,
- identification des mesures d'accompagnement nécessaires pour garantir cette compatibilité.

5.1.2 Méthodologie

Généralités

La méthode de travail choisie est assimilable à celle d'une étude d'impact sur l'environnement appliquée au domaine de l'aménagement du territoire. Pour une analyse d'impact, les spécialistes des différents domaines se réfèrent à des normes, recommandations et données existantes. On a utilisé les documents de planification élaborés aux niveaux communal, cantonal et fédéral (état de référence des données : 1997).

Procédure itérative

La sauvegarde des intérêts publics ne fait pas l'objet d'une procédure reconnue. De plus, Swissmetro est un projet nouveau qui ne s'inscrit pas dans un schéma traditionnel de réflexion. C'est pourquoi on a appliqué une procédure itérative en collaboration avec les administrations fédérales concernées pour définir une approche commune, avec pour fil conducteur la loi sur les chemins de fer.

Compatibilité du projet

On a examiné la compatibilité du projet Swissmetro avec les orientations d'aménagement suivies aux niveaux communal, cantonal, fédéral et, cas échéant, européen.

On a finalement identifié des mesures d'accompagnement pour garantir cette compatibilité.

Documents de base

L'étude se base sur les documents suivants :

- au plan national, sur « Les grandes lignes de l'organisation du territoire suisse approuvées par le Conseil fédéral » (BRP/OFAT 1996),
- au niveau européen, sur le « Document d'orientation pour une coopération dans l'aménagement du territoire européen » (Europe 2000+ de la Commission européenne, 1994).

Les orientations suisses et européennes ont beaucoup de points communs pour ce qui est de l'identification des problèmes actuels et des solutions à mettre en œuvre pour les résoudre, en particulier :

- le modèle de développement durable,
- la coopération transfrontalière,
- le réseau des villes,
- l'équilibre entre les régions.

5.1.3 Résultats

Généralités

Le débat sur l'aménagement du territoire et la politique des transports en Suisse est ouvert en permanence et les questions fondamentales qui sont posées attendent des réponses indépendantes du projet Swissmetro. Swissmetro fournit toutefois un nouvel élément de réflexion qui élargit le débat au niveau national et européen et propose pour la Suisse une solution à haute valeur ajoutée.

Facteur de cohésion nationale

Il y aujourd'hui une grande disparité dans l'accessibilité des régions du territoire suisse : les cantons périphériques sont clairement désavantagés.

Avec Swissmetro, les conditions d'accessibilité changent complètement et permettent à presque tous les habitants de se déplacer dans tout le pays en 90 minutes, de capitale cantonale à capitale cantonale.

Réseau des villes suisses

La réalisation de Swissmetro permet une liaison optimale entre les grandes villes du Plateau sous la forme d'un réseau polycentrique équivalent, par sa capacité humaine et socio-économique de 4 mio d'habitants, à une métropole européenne de dimension moyenne.

Le réseau Swissmetro entraînera des changements sur le marché du travail, qui se traduiront par une concentration de ce dernier dans les villes principales, et donc par une diminution du phénomène d'agglomération. Le pendularisme entre les centres villes et leurs périphéries pourrait diminuer en faveur d'échanges entre les villes elles-mêmes. Ceci entraînera des effets positifs à condition que l'aménagement et la politique des transports parviennent à équilibrer les rapports entre les villes et les territoires périphériques. Il est donc nécessaire - sinon impératif - de trouver une complémentarité entre les systèmes actuels de transport public et Swissmetro.

La marginalisation relative de certaines parties du pays nécessite que ces régions définissent des stratégies de développement spécifiques, dans lesquelles les avantages de leur marginalité soient mis en valeur (tourisme, valorisation du paysage, culture, etc.).

En résumé, il s'agit de :

- rendre complémentaires l'exploitation des moyens de transport public, en particulier des CFF et celle de Swissmetro (segmentation du marché),
- inscrire Swissmetro dans les plans d'aménagement du territoire et des transports fédéraux, cantonaux et communaux.

Intégration dans un espace européen

Le développement du réseau Swissmetro sur le plan européen permettra de maintenir le rôle central de la Suisse dans le transport européen des personnes et d'éviter ainsi son contournement par les projets de l'Union. L'intérêt de la transversale Swissmetro Lyon – Munich, qui se rattache aux lignes de transports européennes Nord- Sud, est donc fort et prioritaire pour la Suisse.

Le réseau Swissmetro complet, avec en particulier les raccordements sur Lyon, Munich, Milan et Strasbourg, est conforme aux objectifs suisses d'intégration dans l'espace européen.

Les conditions d'intégration sont les suivantes :

- donner un rôle "européen" au réseau Swissmetro, en priorité à l'axe O-E par Genève -St Gall, et en deuxième priorité à l'axe N-S par Bâle - Bellinzone,
- inscrire Swissmetro dans les plans d'aménagement transfrontaliers,
- tenir compte des politiques de développement des autres pays européens.

Synthèse

De façon générale, Swissmetro s'inscrit de manière cohérente dans les orientations des politiques d'aménagement aux différentes échelles étudiées.

La possibilité d'affirmer le rôle de la Suisse et de son réseau de villes au sein de l'Europe grâce à un système de transport compatible avec l'environnement constitue certainement un intérêt majeur pour le développement futur du pays.

La réalisation de Swissmetro modifiera le système de transport actuel et devra réellement s'intégrer dans les objectifs de développement définis et se doubler de mesures d'accompagnement importantes, mais en évitant de nuire à la rentabilité financière du système.

Les quelques mesures suivantes pourraient renforcer les effets positifs de Swissmetro :

- réduction de l'attractivité du transport privé (pas de 3^{ème} voie autoroutière, aucun nouveau tronçon de route nationale, vérité des coûts, etc.),
- recherche de synergies avec les systèmes de transport actuels (segmentation du marché avec les CFF, collaboration avec les RER et autres compagnies privées, etc.),
- mise en œuvre de mesures d'aménagement du territoire au niveau local.

Le système du réseau des villes suisses se fonde sur le principe de décentralisation concentrée. Swissmetro établit une liaison idéale entre les principales villes de ce réseau et répond ainsi aux préoccupations du rapport cité précédemment du Conseil fédéral qui s'exprime comme suit :

« Renforcer les atouts de la Suisse au niveau international »

« Le système de villes reliées en réseau est également la réponse fédéraliste aux défis engendrés par une concurrence économique accrue entre les régions urbaines d'Europe. Les trois grandes agglomérations suisses de Zurich, Bâle et Genève ne peuvent en effet pas se mesurer par leur taille aux grandes métropoles européennes. En optant pour un système de villes performant qui permettra une décentralisation des différentes fonctions sur l'ensemble de la Suisse, notre pays sera mieux à même de préserver sa compétitivité que par une concentration en un seul centre. » (Rapport page 43 "Les grandes lignes de l'organisation du territoire suisse approuvées par le Conseil fédéral" BRP/OFAT 1996).

L'étude confirme que Swissmetro est un élément d'intégration à l'échelle européenne avec pour corollaire une réorganisation des réseaux conventionnels.

Avec des mesures de coordination entre Swissmetro et les réseaux actuels, on peut parler d'une modernisation - voire d'une actualisation à l'échelle européenne - de la décentralisation concentrée.

5.1.4 Développements complémentaires

Optimalisation du réseau Le réseau doit être optimalisé sur la base des critères suivants :

- compatibilité territoriale (aménagement et environnement),
- importance des mesures d'accompagnement,
- faisabilité politique.

Les premiers résultats du programme Polydrome démontrent, sur la base de considérations économiques, que la station de croisement O-E et N-S peut être située soit à Lucerne, soit à Zurich. Les aspects politiques devront par contre être pris en compte dans le cadre d'un large débat public.

Eléments nouveaux

Les études complémentaires doivent prendre en compte un certain nombre d'éléments nouveaux tels que : la réalisation confirmée d'Alptransit et de Rail 2000, la mise en exploitation du hub européen Milano-Malpensa, le plan sectoriel en matière d'aviation (PSIA, en consultation) et les réseaux européens TGV / TEN.

Accessibilité

Une étude approfondie et systématique de l'accessibilité, avec et sans Swissmetro, de toutes les régions de Suisse doit être entreprise, par exemple sur la base d'une matrice des relations de région MS (mobilité spatiale) à région MS.

Internationalisation du réseau

Swissmetro est un système de transport qui a une dimension européenne et des contacts sont actuellement en cours avec les régions frontalières en vue de développer un Eurometro.

5.2 Domaine du trafic

5.2.1 Cahier des charges du groupe de travail

- Développer un logiciel d'évaluation du trafic à partir des réseaux ferroviaire et autoroutier,
- évaluer l'importance du trafic actuel et son évolution pour l'ensemble des tronçons et des variantes de réseau,
- évaluer le trafic du tronçon pilote seul et intégré au réseau,
- évaluer le transfert du trafic de la route et du rail vers Swissmetro en fonction de l'attractivité du système,
- définir l'emplacement optimal des stations en fonction du trafic.

5.2.2 Méthodologie

Tronçon pilote

L'évaluation du trafic du tronçon pilote Genève - Lausanne, a été effectuée sur les bases suivantes :

- pour le trafic autoroutier, sur le recensement fédéral de la population de 1990 ainsi que sur différentes enquêtes de trafic précisant notamment les motifs de déplacement et le taux d'occupation des véhicules,
- pour le trafic ferroviaire sur diverses enquêtes effectuées par les CFF, basées sur l'interrogation des passagers sur le type de billet utilisé ainsi que sur leur origine et leur destination,

en prenant en considération :

- différentes hypothèses de report modal (autoroutier, ferroviaire et Swissmetro),
- un tarif Swissmetro correspondant à celui pratiqué par les CFF, le prix restant ainsi un facteur neutre qui n'influence pas le choix de l'usager dans le report modal,
- les effets du gain de temps et de la fréquence des convois Swissmetro,
- une hypothèse prudente d'augmentation de trafic de 10% par tranche de 10 ans dans les 30 prochaines années (trafic autoroutier et trafic ferroviaire).

Quatre scénarios ont été pris en compte :

	Autoroute 2 voies	Autoroute 3 voies	CFF 2 voies	Offre CFF inchangée	Offre CFF changée IC supprimés
Scénario 1 (1995)	•		•	•	
Scénario 2	•		•	•	
Scénario 3		•	•	•	
Scénario 4	•		•		•

Tableau 3 : scénarios de trafic

Réseau

Pour l'étude de trafic du réseau complet sur territoire national, Swissmetro SA a développé le logiciel Polydrom, initialement prévu pour le seul trafic ferroviaire, de manière à obtenir un modèle général du trafic route et rail. Ce logiciel prend en considération comme critères déterminants le coût du trajet et le coût horaire du passager.

Le trafic des personnes à l'intérieur de la Suisse a ainsi été modélisé en donnant une importance particulière au trafic à grande distance, qui est déterminant pour la définition du trafic Swissmetro.

Les prévisions de trafic se basent sur les statistiques 1995 (trafic global, rail et route) : comptages CFF et matrices origine / destination (O/D) pour le trafic CFF, et comptages seulement pour le trafic routier.

Le logiciel Polydrom prend comme base le volume de trafic de l'année 2010 avec les hypothèses suivantes :

- la première étape de Rail 2000 est réalisée,
- le réseau NLFA est réalisé selon le programme de construction,
- le réseau des routes nationales est réalisé selon le 4^{ème} programme de construction,
- la capacité du réseau routier dans les régions alpines n'est pas augmentée,
- le réseau Swissmetro, avec ses caractéristiques de vitesse et de fréquence, est entièrement opérationnel en 2010 (variantes de réseau A et B),
- les IC sont supprimés sur les tronçons CFF et Swissmetro parallèles.

5.2.3 Résultats

Le modèle de trafic Polydrom donne, pour Swissmetro en 2010, les valeurs de trafic suivantes (trafic journalier moyen, total des deux directions) :

Tronçon SWISSMETRO	Variante A	Variante B
Genève - Lausanne	27'240	27'360
Lausanne - Berne	24'480	24'840
Berne - Lucerne	58'560	-
Lucerne - Zürich	95'400	53'520
Zürich - St-Gall	30'000	-
Bâle - Lucerne	25'680	-
Lucerne - Bellinzone	18'492	17'448
Berne - Zurich	-	57'360
Zürich - St-Gall	-	31'080
Bâle - Zurich	-	35'760
St-Gall - Coire	14'400	14'626
Lausanne - Sion	6'012	6'042

Tableau 4 : Trafic Swissmetro en 2010 (TJM) sur différents tronçons

Les résultats obtenus ne permettent pas un choix définitif entre les variantes A et B, étant donné les différences minimes des valeurs de trafic obtenues.

Divergences

Pour le tronçon pilote Genève - Lausanne, les valeurs de trafic obtenues par la méthode utilisée pour la demande de concession (29'400) et par le modèle Polydrom ne sont pas identiques. Les divergences constatées proviennent du fait que le modèle Polydrom donne le trafic en 2010 au lieu de 2015 et ne tient pas compte du phénomène de saturation de l'autoroute qui influence le report modal en faveur de Swissmetro.

5.2.4 Développements complémentaires

Le modèle Polydrom, au stade actuel de développement, se prête bien à la comparaison de la charge des tronçons pour des configurations différentes de réseau. Par contre, pour le calcul des valeurs absolues de trafic, il n'est crédible que si la fiabilité et le détail des données de base peuvent être améliorés. Des recherches dans cette direction doivent être entreprises.

5.3 Domaine de l'exploitation

5.3.1 Cahier des charges du groupe de travail

- Définition du concept d'exploitation du système à partir des données de trafic, de la fréquence adoptée et des temps d'attente en station,
- recherche du dimensionnement optimal des stations et des véhicules en fonction du concept d'exploitation du système,
- étude du concept de maintenance,
- étude des modes d'exploitation synchrone et asynchrone,
- estimation des besoins en personnel et des coûts d'exploitation.

5.3.2 Méthodologie

<i>Vitesse et fréquence</i>	L'attractivité du système de transport Swissmetro repose sur deux critères : <ul style="list-style-type: none">• la grande vitesse,• la fréquence élevée, qui contribuent à réduire le temps total de déplacement. Une fréquence élevée offre par ailleurs une flexibilité d'exploitation supérieure par rapport aux systèmes conventionnels, car elle permet une adaptation optimale à la demande, et une meilleure répartition des pointes de trafic.
<i>Trafic</i>	D'autre part, la station est l'élément clé où se concentrent tous les paramètres de l'exploitation. A partir des données du trafic, de la fréquence adoptée et des temps de déplacement et d'attente, l'étude aboutit à un concept d'exploitation du système et à un dimensionnement optimal des stations. Partant de l'horaire cible d'exploitation des véhicules, les divers paramètres ont été organisés de façon à répondre aux objectifs particuliers suivants : <ul style="list-style-type: none">• assurer le confort des passagers, comme dans un aéroport, mais avec une circulation permettant une cadence d'exploitation proche de celle d'un métro urbain,• rationaliser les mouvements des divers éléments du système afin de réduire au maximum l'impact des installations, les coûts d'investissement et les frais d'exploitation.

5.3.3 Résultats

<i>Horaire cible</i>	L'horaire cible est une hypothèse de base qui fixe provisoirement et <i>a priori</i> le déroulement des opérations effectuées par l'ensemble des véhicules en service avec une cadence de 6 minutes entre les véhicules aux heures de pointe.
<i>Description du véhicule</i>	Le dimensionnement du véhicule a été effectué à partir des estimations du trafic journalier et des contraintes d'horaires et de confort d'exploitation. Le véhicule Swissmetro est symétrique par rapport à son axe transversal et peut se déplacer dans les deux sens. Il est composé de 2 compartiments de 104 places assises avec une entrée et une sortie latérales à chaque extrémité. Une augmentation de la capacité peut encore être obtenue en admettant un confort moindre, avec par exemple des voyageurs debout. Dans le cas de la réalisation complète de l'axe Ouest-Est ou du réseau, il est prévu d'allonger les rames, par incorporation d'éléments supplémentaires entre les extrémités.

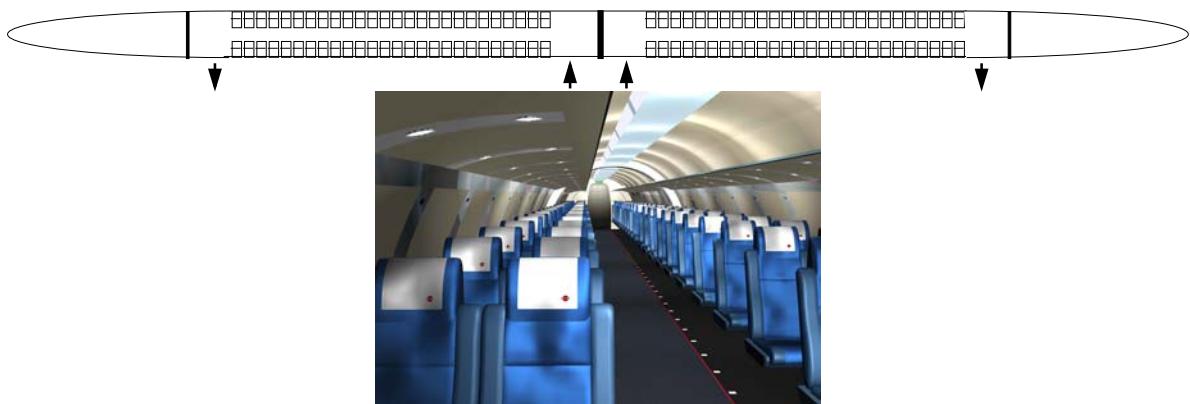


Figure 8 : vues du véhicule

L'embarquement et le débarquement des passagers en station ne doit pas excéder 100 secondes : cela est possible grâce à une organisation sans croisement du flux des passagers, ceux-ci étant pris en charge par un accompagnateur. La typologie asymétrique de la station permet d'avoir les portes sas sur un seul côté du véhicule, ce qui représente un avantage de coût et de sécurité.

Caractéristiques du véhicule

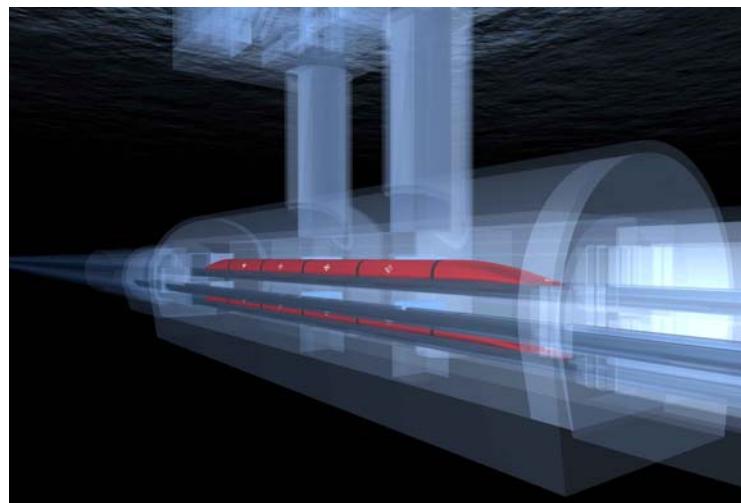
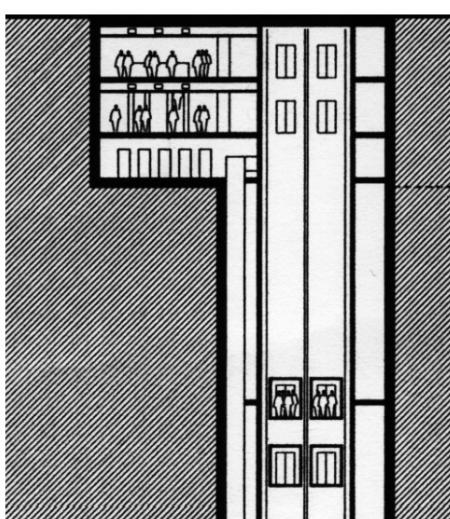
Les caractéristiques du véhicule sont les suivantes :

- Nombre de sièges : 208 (416)
- Longueur totale : 80 mètres (130)
- Diamètre intérieur : 3 mètres
- Nombre de portes : 4 (8)
- Dimensions des portes : 1,9 x 1,2 mètres
- Masse : 50 tonnes (85 tonnes)

Station type

La station type Swissmetro est intégrée dans les gares CFF afin de favoriser la synergie avec les transports publics de surface, urbains et régionaux. Elle comprend deux niveaux d'exploitation en souterrain :

- l'accueil des voyageurs dans un hall connecté aux transports de surface (hall d'accueil),
- l'embarquement et le débarquement dans un espace regroupant toutes les autres fonctions de la station (zone d'embarquement et de débarquement).



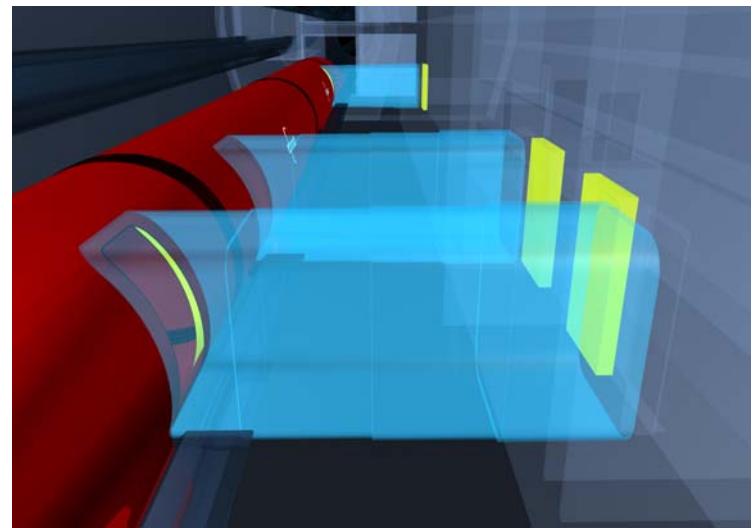


Figure 9 : station type

Dans la station, les tunnels sont superposés. Les accès aux véhicules se font sur deux étages, selon la provenance ou la destination des voyageurs. Le hall d'accueil et la zone d'embarquement et de débarquement sont reliés par une batterie d'ascenseurs à double ponts. Les tunnels restent sous pression réduite et des sas appliqués sur chaque porte du véhicule permettent le passage des voyageurs à pression atmosphérique. Dans chaque station un système à bariillet permet, par rotation, de faire passer si nécessaire un véhicule d'un tunnel à l'autre.

La longueur de la station type correspond à celle d'un véhicule. Pour tenir compte de l'augmentation prévisible du trafic, elle doit être dédoublée pour pouvoir accueillir des véhicules allongés. Le gros œuvre de l'extension de la caverne sera réalisé dès la première étape de construction. Par contre les équipements (barillets, ascenseurs, etc.) ne seront installés qu'en fonction des besoins.

Mode d'exploitation

Exploitation synchrone

Les distances entre stations varient sur l'ensemble du réseau de 48 à 130 kilomètres . Deux types d'exploitation sont envisagés :

- une exploitation synchrone, c'est à dire un temps de déplacement constant entre stations quelles que soient les distances, par exemple de 12 minutes. Cette solution présente l'inconvénient d'imposer des vitesses très élevées sur les longs tronçons, avec pour conséquence une consommation d'énergie et une infrastructure électromécanique plus importantes. Elle est, par contre, plus intéressante sur le plan commercial.

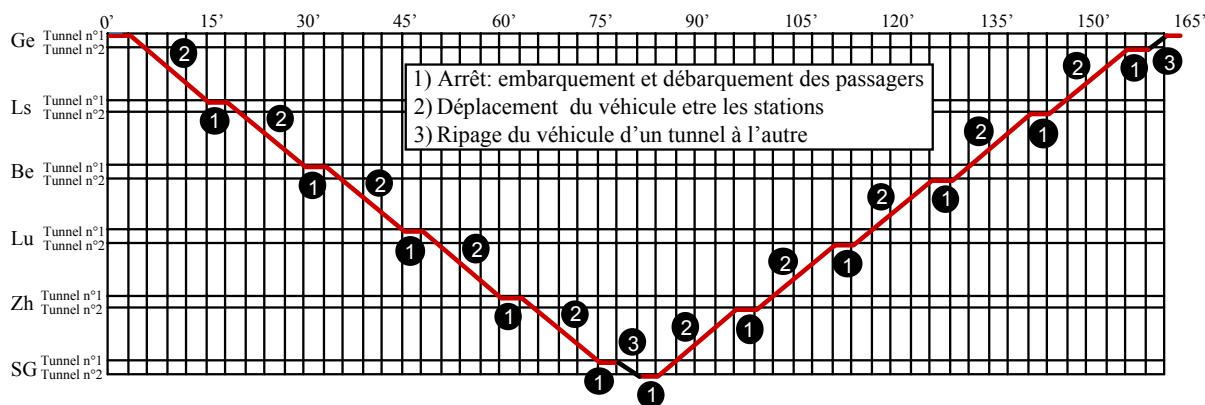


Figure 10 : horaire cible d'une exploitation synchrone pour la ligne Genève- St Gall

Exploitation asynchrone

- une exploitation asynchrone, c'est à dire un temps de déplacement variable entre stations avec des vitesses adaptées. Le concept d'exploitation choisi peut parfaitement s'adapter à une exploitation asynchrone pour autant que l'on respecte les règles suivantes :
 - une cadence de 6 minutes entre les véhicules et un temps d'arrêt de 3 minutes en station. Pour respecter cette règle, le temps de parcours entre stations doit impérativement s'inscrire dans un multiple de 3 minutes,
 - l'arrêt simultané des véhicules en station. Cette condition est nécessaire pour maintenir le choix d'ascenseurs à double ponts et une station d'accueil compacte.

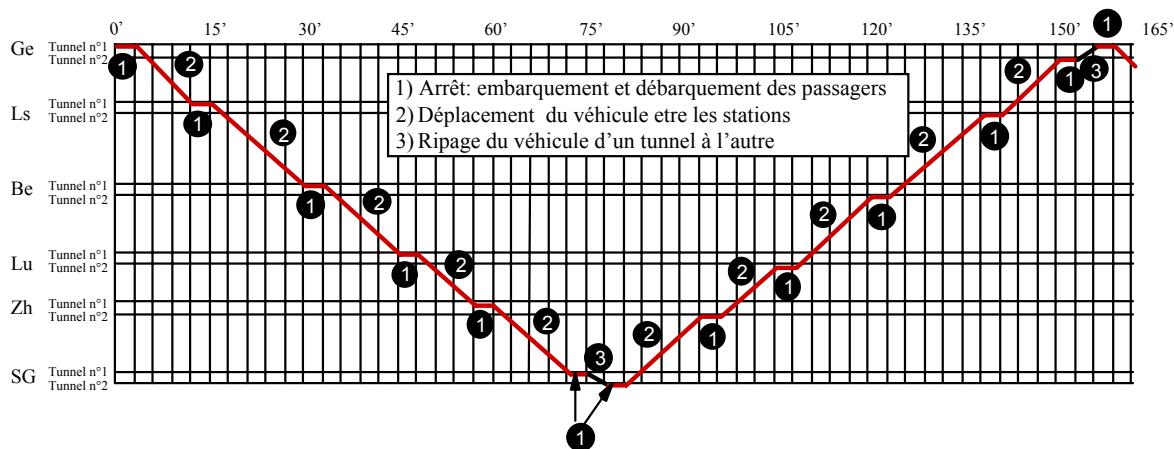


Figure 11 : horaire cible d'une exploitation asynchrone pour la ligne Genève- St Gall

Le choix de l'une ou l'autre solution reste ouvert à la fin de l'étude principale.

Concept de sûreté

En raison de la cadence des véhicules, Swissmetro s'apparente plus au métro urbain qu'à l'avion. C'est pourquoi la surveillance de l'ensemble du système doit être assurée essentiellement par du personnel. Afin d'atteindre un degré de sûreté supérieur à celui d'un métro ordinaire, le concept retenu est le suivant :

- identification des passagers lors de la réservation des places assises. Cette opération peut s'effectuer par le biais de photos digitalisées ou d'appareils automatisés qui identifient les empreintes, sous réserve du respect de la protection des données et de l'aspect commercial,
- surveillance permanente des stations par un personnel de sûreté à partir d'une installation centrale de commande et de surveillance, et par des équipes d'intervention rapide,
- présence dans les véhicules d'un "accompagnateur" qui escorte les passagers et a pour mission notamment de repérer des objets suspects. L'accompagnateur a également une responsabilité d'information et de conduite des passagers lors d'une exploitation normale ou dégradée.

L'ensemble de ces techniques et mesures de sûreté sont déjà appliquées aujourd'hui dans de nombreux domaines. Elles sont appelées à se développer encore, pour répondre à l'insécurité grandissante, sous réserve que l'exploitation des données recueillies reste soumise à une décision judiciaire.

Conclusions

Grâce à ses deux voies mono-directionnelles, Swissmetro offre la possibilité de faire varier facilement les cadences des véhicules et par conséquent la capacité de transport du système.

L'organisation compacte de la station réduit le temps des divers mouvements et offre la possibilité d'avoir des cadences rapprochées et de diminuer le nombre de passagers par véhicule, tout en maintenant une capacité de transport élevée. Cette flexibilité augmente ainsi l'attractivité commerciale du système, réduit les coûts d'investissements de l'infrastructure, répartit les passagers à l'intérieur et à l'extérieur du système et accroît le taux d'utilisation de l'ensemble des équipements.

Le choix de déplacer des petits groupes d'une centaine de passagers à une cadence rapprochée, plutôt que de déplacer une foule à une cadence éloignée, offre aux passagers de Swissmetro un temps d'attente moyen réduit (dans un rapport de 1/5 en comparaison avec une cadence de 30'), une ambiance de voyage confortable et conviviale, tout en respectant les performances de la haute vitesse. Ce choix a également des conséquences favorables sur le transfert des passagers de Swissmetro sur les moyens de transport urbains et régionaux.

Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation comprennent les frais de personnel, d'énergie, d'entretien de l'infrastructure, d'entretien des véhicules et des installations mécaniques et électromécaniques ainsi que des frais généraux.

Charges estimatives

Tronçon	Variante		Longueur [km]	Charges d'exploit./an (Mio de CHF)
Genève – Lausanne	A	B	58,5	51,0
Lausanne - Berne	A	B	81,0	51,3
Berne - Lucerne	A	-	69,2	43,7
Lucerne - Zurich	A	B	48,2	31,6
Zurich – St Gall	A	B	69,6	40,0
Bâle – Lucerne	A	-	80,0	55,6

Lucerne - Bellinzone	A	B	127,6	74,1
Berne- Zurich	-	B	104,3	70,3
Bâle - Zurich	-	B	75,0	61,7
Total variante A du réseau (étapes 1 et 2)			534,1	347,3
Total variante B du réseau (étapes 1 et 2)			564,2	380,0

Tableau 5 : charges d'exploitation annuelles en CHF 1997

5.3.4 Développements complémentaires

Concept global

Les domaines suivants nécessitent un complément d'étude :

- concept global d'exploitation du système Swissmetro avec les transport de surface CFF, interrégionaux et urbains,

Horaires

- vérification et éventuellement adaptation de l'horaire cible en fonction des développements techniques, en particulier des sas et du "barillet",

- choix définitif de l'horaire synchrone ou asynchrone,

- développement de l'horaire en situation dégradée,

Flux des passagers

- vérification du temps de transfert des passagers entre la station et le véhicule, en collaboration avec les concepteurs des ouvrages et du véhicule,

Véhicules

- développement de l'aménagement intérieur en fonction de la sécurité, de la sûreté et de l'exploitation,

- participation au développement du véhicule,

Stations

- choix des dimensions définitives de la station type, en fonction des développements techniques,

- organisation définitive de la sûreté et choix des équipements,

- organisation de la billetterie, du système de réservation et choix des équipements,

- développement des équipements de la station : chauffage, ventilation, électricité, sanitaire, etc.,

- étude approfondie de l'organisation du personnel d'exploitation et des compétences nécessaires aux divers postes de travail.

5.4 Domaine de l'infrastructure

5.4.1 Cahier des charges du groupe de travail

- Etablissement des modèles géologiques et hydrogéologiques préliminaire,
- choix des tracés et implantation des ouvrages,
- concept des tunnels, stations, galeries, puits et ouvrages annexes,
- étanchéité et résistance des revêtements : technologies des bétons, membranes étanches, éventuellement autres solutions,
- dimensionnement sommaire des ouvrages,
- choix des méthodes de construction des ouvrages,
- évaluation des déblais d'excavation,
- estimation des délais et des coûts de construction.

5.4.2 Méthodologie

Données de base

Les données physiques et les autres informations relatives aux conditions de surface (topographie, cadastre, cours d'eau, voies d'accès, etc.) ont été rassemblées à partir des documents existants. Les conditions du sous-sol ont aussi été déterminées sur la base d'informations existantes (forages, profils sismiques, publications, etc.). Les données recueillies ont été complétées par la reconnaissance des sites et par des enquêtes auprès des autorités, des services administratifs ou d'autres sources.

Implantation des ouvrages

D'une façon générale, les ouvrages ont été implantés en tenant compte de l'ensemble des contraintes identifiées et, dans le cas du tronçon pilote, en accord avec les autorités concernées. Les choix effectués résultent de la comparaison de plusieurs variantes, dont certaines, provisoirement éliminées, pourraient redevenir d'actualité en fonction de l'évolution de la situation, en particulier en ce qui concerne les stations.

5.4.3 Résultats

Tunnels

Dès le début de l'étude principale on a procédé à une étude comparative de diverses dispositions des tunnels destinés aux deux voies de circulation des véhicules Swissmetro. L'examen typologique comprenait le concept avec deux tubes séparés, finalement retenu dans l'étude principale, ainsi qu'une série de profils réunissant les deux voies dans un seul tube, de dimensions et de formes diverses.

La figure 12 montre une variante de tunnels à voies jumelées, disposées côte à côte ou superposées. Toutefois, les quelques avantages offerts par les variantes à un seul tunnel, notamment dans le domaine de la sécurité, ont été jugés insuffisants pour en compenser les surcoûts qui, dans le meilleur des cas, sont de l'ordre de 30 % par rapport à la solution à deux tubes. L'utilisation d'une partie de ces profils pour d'autres usages (télécommunication, lignes électriques, transports de marchandises, etc.) pourrait toutefois redonner un intérêt à ces solutions.

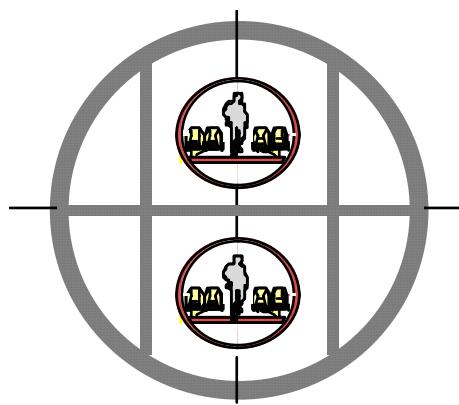


Figure 12 : variante de tunnel à profil unique

Revêtements des tunnels

Le concept du revêtement des tunnels a également fait l'objet d'un examen détaillé en relation avec les conditions géologiques et les critères d'exploitation (étanchéité à l'air et à l'eau, sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques, etc.).

Etant donné qu'un anneau extérieur de voussoirs sera systématiquement posé à l'avancement, lors de l'excavation, quatre types de revêtement intérieur répondant aux exigences imposées ont été identifiés :

- variante béton spécial étanche,
- variante membrane *sandwich* (synthétique, acier ou autres),
- variante revêtement intérieur mortier (béton, synthétique ou autres),
- variante revêtement intérieur en acier (blindage, voussoirs acier, voussoirs mixtes).

Les études comparatives ont démontré que dans l'état actuel des développements, c'est un revêtement du type *sandwich*, comprenant une membrane étanche posée entre deux anneaux de béton (voussoirs extérieurs et anneau intérieur) qui répond le mieux aux critères définis.

La coupe transversale des tunnels, déterminée sur la base des considérations ci-dessus et des valeurs de référence (diamètre intérieur de 5.0 mètres, distance de 25 mètres entre les axes des tunnels), est visible à la figure 13. Les épaisseurs indiquées doivent être adaptées aux conditions géologiques locales.

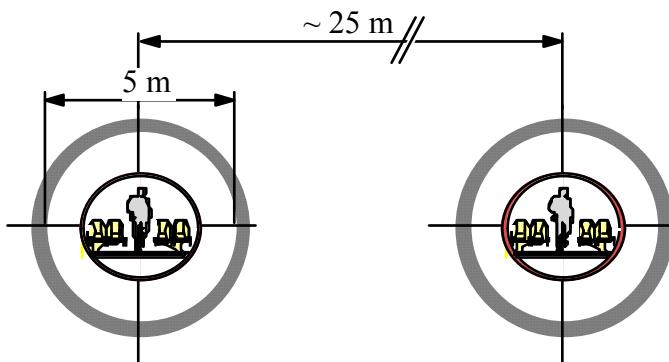


Figure 13 : variante à deux tunnels séparés (variante retenue)

Le comportement des matériaux de construction des tunnels fait actuellement l'objet, dans le cadre d'un subside CTI, de tests entrepris en 1998 par la Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz Zementindustrie (TFB) à Wildegg, en collaboration avec l'Institut de béton armé et précontraint (IBAP) de l'EPFL à Lausanne.

Ces tests concernent dans un premier temps les bétons soumis aux sollicitations engendrées par les conditions d'exploitation, en particulier les effets thermiques et liés au vide partiel. La première phase des essais, portant sur les échantillons de béton, sera achevée en 1999.

Stations

La conception de la station type Swissmetro a été étudiée par le groupe Exploitation. Elle a été adaptée de cas en cas aux conditions d'implantation locale.

Postes d'exploitation (puits intermédiaires)

Les postes d'exploitation sont aménagés dans les puits et cavernes ayant servi à l'exécution des tunnels. Ils comportent des équipements électriques et mécaniques nécessaires à l'exploitation (sous-stations électriques, pompes à vide, dispositif de remise en pression, etc.).

Autres études

Le groupe Infrastructure a collaboré aux travaux d'autres groupes, notamment en ce qui concerne les aspects de la sécurité et de l'aérodynamique (études de galeries, de tunnels, de chambres, etc.) et pour la mise au point de divers détails constructifs.

Tronçons étudiés

Les tronçons suivants ont fait l'objet d'études spécifiques en ce qui concerne les conditions géologiques et l'implantation des ouvrages (étude de tracé, localisation des ouvrages, conditions d'exécution, etc.).

Devis estimatifs

Tronçon	Variante		Longueur [km]	Coûts infrastructure (Mio de CHF)
Genève – Lausanne	A	B	58,5	2564
Lausanne -Berne	A	B	81,0	3248
Berne- Lucerne	A	-	69,2	2837
Lucerne- Zurich	A	B	48,2	2494
Zurich – St Gall	A	B	69,6	2824
Bâle – Lucerne	A	-	80,0	3672
Lucerne - Bellinzona	A	B	127,6	6066
Berne- Zurich	-	B	104,3	4456
Bâle - Zurich	-	B	75,0	4080
Total variante A du réseau (étapes 1 et 2)			534,1	23705
Total variante B du réseau (étapes 1 et 2)			564,2	25858

Tableau 6 : tronçons étudiés et coûts de l'infrastructure en CHF 1997

5.4.4 Développements complémentaires

<i>Généralités</i>	Les résultats de l'étude principale sont fondés sur les informations disponibles à ce jour. On devra procéder à des adaptations et à des compléments d'études au fur et à mesure que le projet définitif se développera.
<i>Investigations géologiques</i>	Pour avoir une meilleure connaissance des conditions géologiques, en particulier des venues d'eau à pression élevée, des investigations sur le terrain sont nécessaires. Le programme de reconnaissance mentionné dans l'étude géologique du tronçon pilote Genève - Lausanne donne une indication sur les travaux à envisager dans une première phase. Chacun des tronçons ayant ses particularités, un programme spécifique devra être élaboré dans chaque cas. On se rappellera que les montants investis en reconnaissances conduisent à des économies sensibles lors de l'exécution des travaux souterrains.
<i>Méthodes de construction</i>	La réalisation d'un réseau souterrain de l'importance de Swissmetro est un grand défi pour les entreprises de construction. On peut s'attendre à une offre de solutions permettant d'abaisser les coûts de construction, grâce à une rationalisation élevée des équipements de forages et d'extraction des déblais. Les méthodes de construction proposées devront toutefois tenir compte de la présence, sur certains tronçons, d'eau souterraine à pression élevée.
<i>Matériaux</i>	Les recherches concernant le comportement des bétons et de la membrane appelés à assurer l'étanchéité à l'air devront se poursuivre selon les trois phases suivantes :
	<ul style="list-style-type: none"> • tests sur échantillons (en cours), • tests sur éléments de construction, • essais à l'échelle 1:1 à réaliser sur un site <i>ad hoc</i> ou sur un tronçon d'essai d'un premier tunnel Swissmetro.

5.5 Domaine de la protection de l'environnement

<i>Remarque préliminaire</i>	L'étude de la protection de l'environnement se traduit par une étude d'impacts qui s'inscrit dans une demande de concession. Elle a été faite pour le tronçon pilote Genève – Lausanne, et elle sera entreprise lors de demandes de concession de chacun des tronçons du réseau. C'est pourquoi les considérations qui suivent ne concernent que le tronçon pilote, dont l'étude d'impact servira de modèle pour les divers tronçons. On a de ce fait renoncé à la rédaction d'un cahier B- Etude d'impacts sur l'environnement.
------------------------------	---

5.5.1 Cahier des charges du groupe de travail

Tronçon pilote Genève – Lausanne (demande de concession)

- Enquête préliminaire d'impact sur l'environnement et cahier des charges du rapport d'impact,
- étude des sites potentiels pour l'implantation des puits d'accès, en fonction d'une méthodologie de comparaison basée sur des critères techniques et environnementaux,
- étude de scénarios et de sites pour la gestion et/ou la revalorisation des déblais d'excavation,
- étude d'impact sur l'environnement phase I, correspondant à la demande de concession,
- information aux autorités cantonales et communales concernées par les différents ouvrages apparents du tronçon pilote,
- rédaction du cahier des charges de l'étude d'impact phase II, correspondant à la phase d'approbation des plans.

5.5.2 Méthodologie

Eléments déterminants

Les éléments déterminants du projet ont été identifiés, en distinguant la phase d'exploitation (impacts des stations d'accueil et des postes d'exploitation de surface) et la phase de chantier (transport et gestion des matériaux d'excavation).

Gestion des matériaux d'excavation

Les différentes solutions et les sites possibles pour la valorisation ou le dépôt des matériaux d'excavation ont été inventoriés et analysés.

Impacts environnementaux

On a analysé les impacts environnementaux dans les deux phases d'exploitation et de chantier : aménagement du territoire, sites contaminés, hygiène de l'air, vibrations et sons solidiens, sols, forêts, trafic et transfert modal, bilan énergétique, milieux naturels et paysages, eaux de surface, eaux souterraines, trafic induit et nuisances sonores, risques et sécurité.

Implantation des ouvrages

Les sites d'implantation les plus favorables pour les puits d'exploitation ont été analysés et définis en partant de secteurs d'implantation possibles. Pour chaque secteur, une analyse multicritère a été faite. Elle est basée sur l'application de critères d'exclusion et de comparaison, aussi bien techniques qu'environnementaux, afin d'établir pour chaque installation de surface les zones d'implantation et les solutions les plus favorables pour l'évacuation et la gestion des matériaux d'excavation.

Cahier des charges de l'étude d'impact phase II

En fonction de l'analyse des impacts et des inconnues du projet, un cahier des charges a été établi pour l'étude d'impact phase II.

5.5.3 Résultats

Les résultats sont fortement influencés par les aspects spécifiques de Swissmetro, à savoir un tracé en souterrain et une concentration des activités de travaux en quelques points de surface qu'il est possible de choisir spécifiquement. On distingue :

- Phase d'exploitation*
- la phase d'exploitation, pendant laquelle les impacts de Swissmetro sont essentiellement limités aux aspects de l'aménagement du territoire et du trafic/transfert modal. Les autres aspects sont généralement faibles ou inexistant, voire positifs grâce à la possibilité de renoncer à l'extension de voies de communication de surface. Les impacts positifs, notamment sur la diminution des polluants atmosphériques, se manifesteront déjà au stade du seul tronçon pilote,
- Phase de construction*
- la phase de construction, pour laquelle l'analyse des sites et des possibilités d'évacuation a montré que les surfaces concernées par les chantiers seront peu nombreuses et limitées dans leur étendue. Il existe dans chaque cas des sites et des solutions favorables, permettant d'assurer la faisabilité et de limiter fortement les impacts négatifs potentiels. L'évacuation des matériaux est l'élément déterminant pour cette phase. L'étude a montré que des solutions de valorisation et de dépôt peuvent exister sur l'ensemble du territoire.

5.5.4 Développements complémentaires

Dès que l'on connaîtra la prise de position du Conseil fédéral et des offices concernés relative à la demande de concession, le schéma des études d'impacts phase I et II sera complété si nécessaire.

5.6 Domaine de l'électromécanique

5.6.1 Cahier des charges du groupe de travail

- Définition des composants et fonctions électromécaniques suivants : sustentation et guidage magnétiques, propulsion par moteurs électriques linéaires à stators fixés au tunnel, convertisseurs, transfert d'énergie par induction,
- développement d'une variante de moteurs électriques linéaires à stator embarqué sur le véhicule,
- définition de l'alimentation en énergie électrique et de son transfert sans contact à la rame,
- étude, en collaboration avec Dornier System Consult, de l'adaptabilité de la technologie Transrapid aux conditions de Swissmetro,
- établissement du bilan énergétique,
- étude du comportement des composants électromécaniques dans les conditions de Swissmetro,
- construction de modèles (sustentation et guidage, propulsion, transfert d'énergie),
- établissement des devis estimatifs.

5.6.2 Méthodologie

Les différents composants et fonctions électromécaniques ont fait l'objet d'études, d'analyses paramétriques et de références pratiques.

Les systèmes électromécaniques de Swissmetro ne permettent pas la validation des analyses théoriques par des essais à l'échelle 1/1, ceci pour des raisons de coûts d'investissement et de contraintes pratiques. Seuls des prototypes à échelle réduite, dans certains cas des éléments spécifiques à échelle 1/1, ont été réalisés et testés. Ils ont permis de mettre en évidence les critères des choix techniques proposés et de valider les développements scientifiques.

Les entreprises impliquées dans le groupe électromécanique ont participé directement à ces travaux par des études de pré-dimensionnement, des analyses de réseaux de distribution d'énergie, des évaluations économiques et par des contributions à la réalisation de prototypes.

Les Ecoles Polytechniques Fédérales ont été engagées dans les études par des projets de semestre, des diplômes et des thèses de doctorat ainsi que par des travaux de recherche des collaborateurs scientifiques. Certaines Hautes Ecoles Spécialisées ont apporté leur collaboration par des développements spécifiques d'éléments électromécaniques.

5.6.3 Résultats

<i>Propulsion</i>	Deux types de moteurs linéaires peuvent être considérés pour la propulsion :
<i>Système Transrapid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • le moteur linéaire synchrone classique, à stator long lié au tunnel, solution Transrapid, permettant la combinaison de la propulsion et de la sustentation magnétiques et du transfert d'énergie sans contact,
<i>Système Swissmetro</i>	<ul style="list-style-type: none"> • le moteur linéaire synchrone homopolaire, à stator court, solution Swissmetro. Deux variantes de propulsion (voir figure 3) ont été retenues: <p>Variante A : la propulsion par moteur linéaire synchrone homopolaire court, dont le stator est fixe, lié au tunnel et les pôles rotoriques embarqués sur le véhicule. Cette variante implique une répartition des statots uniquement dans les zones d'accélération, de réaccélération et de freinage du tronçon considéré,</p> <p>Variante B : la propulsion par moteur linéaire synchrone homopolaire court avec stator embarqué sur le véhicule et les pôles rotoriques fixes, liés au tunnel.</p>
<i>Freinage</i>	<p>Trois types de freinage ont été considérés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • freinage normal et freinage d'urgence par les moteurs linéaires, • freinage d'urgence par un système de frein inductif, • freinage d'urgence (basse vitesse) et pose du véhicule sur des patins.

Sustentation magnétique

Le recours à des techniques de lévitation et de guidage magnétiques est très avantageux en termes de contraintes mécaniques et de coûts de maintenance pour des vitesses supérieures à 300 km/h.

La sustentation électromagnétique a été privilégiée par Swissmetro principalement pour des raisons d'encombrement et de coût. Un système de réglage garantit le maintien de l'entrefer nominal car le système est intrinsèquement instable.

La sécurité et la fiabilité sont des éléments clés de la sustentation. La fiabilité est garantie par des batteries pouvant assurer le fonctionnement même en cas de panne d'alimentation du véhicule. De plus, la mise hors service d'un module de sustentation peut être compensée par la reprise de son action par les modules adjacents. Si une défaillance de plusieurs inducteurs survient, le contact avec le rail de réaction ou le sol sera évité par des patins.

Guidage magnétique

Le système de guidage est très proche du système de sustentation, la seule différence résidant dans le réglage de paires d'inducteurs placés dos à dos.

Transfert d'énergie au véhicule

Dans le cas de la variante A, les fonctions à alimenter, au niveau de la rame, sont essentiellement la sustentation, le guidage, la propulsion, l'éclairage, le chauffage, la ventilation, la climatisation, les commandes associées et les autres fonctions. Le bilan énergétique des différentes fonctions de la rame est de l'ordre de 500 kW.

Dans le cas de la variante B, l'énergie nécessaire pour la propulsion doit être transférée sur le véhicule. La puissance active correspond alors à 7 MW.

*Modélisation**Bilan énergétique*

Des modèles de sustentation, de guidages magnétiques, de mesure de la traînée magnétique et des moteurs linéaires ont été réalisés et testés. On a déterminé les bilans énergétiques pour différents taux d'occupation des véhicules. La consommation d'énergie directe est faible par rapport à la consommation totale suisse : la ligne Genève - St Gall utilise, à pleine capacité, entre 0,18 et 0,24% de la consommation totale (1995) de l'énergie en Suisse. La consommation Swissmetro n'a donc aucun effet marqué sur la stratégie d'approvisionnement du pays. Par ailleurs, le bilan énergétique par passager, à vitesse comparable, montre la compétitivité de Swissmetro avec d'autres systèmes de transport.

Etude Dornier System Consult

Dornier System Consult a été mandaté en 1998 pour étudier l'adaptabilité de tout ou partie du système Transrapid aux conditions de Swissmetro. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

- le système Transrapid peut être adapté aux conditions Swissmetro après un développement complémentaire,
- deux options sont envisagées :
 - soit une adaptation de l'ensemble du concept Transrapid
 - soit une adaptation de certains composants de Transrapid
- les systèmes de propulsion choisis par Transrapid et Swissmetro présentent des caractéristiques différentes, avec des avantages et inconvénients spécifiques,
- le véhicule Transrapid doit être adapté aux conditions de pression réduite selon les standards existants dans l'industrie aéronautique, notamment en ce qui concerne le renouvellement de l'air ambiant,
- le concept de sécurité et de sauvetage de Transrapid est transférable à Swissmetro. Le concept de sécurité de Swissmetro est plus simple, car il présente moins de risque de collision, d'influence météorologique et de sabotage,
- le coût du développement industriel de Swissmetro est estimé entre 480 et 650 mio de DM en cas d'adaptation de composants Transrapid,
- le développement industriel peut être assuré par un consortium d'industries européennes spécialisées.

Devis estimatifs

Tronçon	Variante		Longueur [km]	Coûts Electroméc. (Mio de CHF)
Genève – Lausanne	A	B	58,5	700
Lausanne - Berne	A	B	81,0	1100
Berne - Lucerne	A	-	69,2	847
Lucerne - Zurich	A	B	48,2	539
Zurich – St Gall	A	B	69,6	760
Bâle – Lucerne	A	-	80,0	822
Lucerne - Bellinzone	A	B	127,6	1547
Berne - Zurich	-	B	104,3	1202
Bâle - Zurich	-	B	75,0	1004
Total variante A du réseau (étapes 1 et 2)			534,1	6315
Total variante B du réseau (étapes 1 et 2)			564,2	6852

Tableau 7 : coûts de l'électromécanique en CHF 1997

5.6.4 Développements complémentaires

Les études complémentaires suivantes doivent être entreprises :

- étude de l'échauffement local des composants électromécaniques et d'un refroidissement forcé éventuel,
- essais et étude du comportement sous vide des bobinages et des câbles HT et MT,
- intégration spatiale des éléments d'alimentation (tunnel, station), des moteurs (véhicule et tunnel) et des convertisseurs,
- étude des connexions électriques entre les différents composants,
- étude de la maintenance,
- étude de la faisabilité du transfert d'énergie par contact mécanique.

5.7 Domaine de la mécanique

5.7.1 Cahier des charges du groupe de travail

- Etude des aspects aérodynamiques : rapport de blocage, niveau de vide partiel, traînée aérodynamique, etc.,
- développement de bancs d'essais aérodynamiques,
- développement du véhicule et de ses équipements,
- développement du système de création du vide partiel et de remise en pression rapide,
- estimation de l'évolution thermique à l'intérieur du tunnel,
- développement du barillet et des sas pour les passagers,
- établissement du devis estimatif.

5.7.2 Méthodologie

Aérodynamique

En matière aérodynamique, on a développé un programme de calcul numérique permettant de modéliser le comportement aérodynamique du système véhicule/tunnel et d'en déduire, pour des configurations déterminées, une force de résistance à l'avancement due à l'air. Ces données numériques devront être encore vérifiées par une approche expérimentale.

Vide partiel

On a étudié les possibilités de création du vide partiel en utilisant des technologies courantes et disponibles sur le marché.

Comportement thermique

On a examiné l'évolution thermique du tunnel à court terme (véhicule et moteurs) et à long terme (prise en compte de l'inertie thermique de la roche environnante).

Véhicule

On a utilisé les techniques aéronautiques existantes pour concevoir et dimensionner la structure du véhicule ainsi que de ses équipements.

Remise en pression

On a étudié les phénomènes liés à la remise en pression rapide du tunnel par des puits de ventilation (vitesse, pression, température de l'air). La priorité a été donnée à l'analyse des problèmes physiologiques en cas de dépressurisation accidentelle de l'habitacle (délai de 2.5 minutes pour la repressurisation partielle).

Sécurité Les aspects de la sécurité ont été pris en compte dès la phase de conception des véhicules, des sas à passagers et autres équipements.

5.7.3 Résultats

<i>Vide partiel</i>	Le niveau de vide ainsi que le diamètre du tunnel ont été proposés en cherchant un compromis entre coûts d'investissement (petit diamètre / niveau de pression le plus proche possible du niveau atmosphérique) et coûts d'exploitation (consommation énergétique minimale), tout en respectant des critères précis de sécurité, d'évolution thermique, de dimensions, etc.
<i>Remise en pression</i>	La remise en pression d'urgence du tunnel, dans un délai de 2.5 minutes, par des puits de ventilation conduit à des vitesses d'air importantes, difficiles à maîtriser. C'est pourquoi un système de remise en pression continu et uniforme sur toute la longueur du tunnel (tubes sous pression) est proposé de façon à atteindre très rapidement une pression d'environ 60'000 Pa. La repressurisation finale, plus lente, se fera alors par les puits de ventilation.
<i>Aérodynamique</i>	Les outils de calculs performants qui ont été développés permettent d'analyser en détail les problèmes aérodynamiques associés à des zones bien précises de l'écoulement (écoulement sur le culot du véhicule, autour des éléments électromécaniques, etc.). Une installation expérimentale complète a été réalisée, soit un tube à choc de 120 m. de long (STARLET- Shock Tube for the Aerodynamic Research on Long and Enhanced Tunnels). La conception d'un stand d'essai (HISTAR-High-speed Train Aerodynamic Rig) a été entreprise et a fait l'objet d'une requête CTI. Cette installation, opérationnelle au début de l'an 2000, permettra de valider les résultats théoriques.
<i>Comportement thermique</i>	Lors du déplacement d'un véhicule (court terme), ce dernier engendre un environnement aérothermique instationnaire dont la connaissance permet de qualifier les échanges de chaleur par convection et de dimensionner ainsi des éventuels systèmes de refroidissement. L'étude sur le long terme a mis en évidence l'inertie thermique élevée de la roche entourant le tunnel et sa capacité d'absorber une quantité importante de chaleur. Une température de l'ordre de 30 à 35°C est attendue dans le tunnel après 48 ans d'exploitation. Un système de refroidissement du tunnel ne semble donc pas nécessaire pendant cette période. Toutefois, l'état thermique local de la roche et/ou une augmentation de la fréquence d'exploitation pourraient engendrer des problèmes thermiques et rendre nécessaire la mise en œuvre d'un système de refroidissement du tunnel.
<i>Véhicule</i>	La présence du vide partiel implique le choix d'un véhicule pressurisé et de sas permettant d'effectuer le transbordement des passagers en station. Une attention particulière a été portée au développement des articulations du véhicule, sur la base d'un système nouveau en cours de développement, ainsi qu'à l'incorporation au véhicule des éléments électromécaniques.

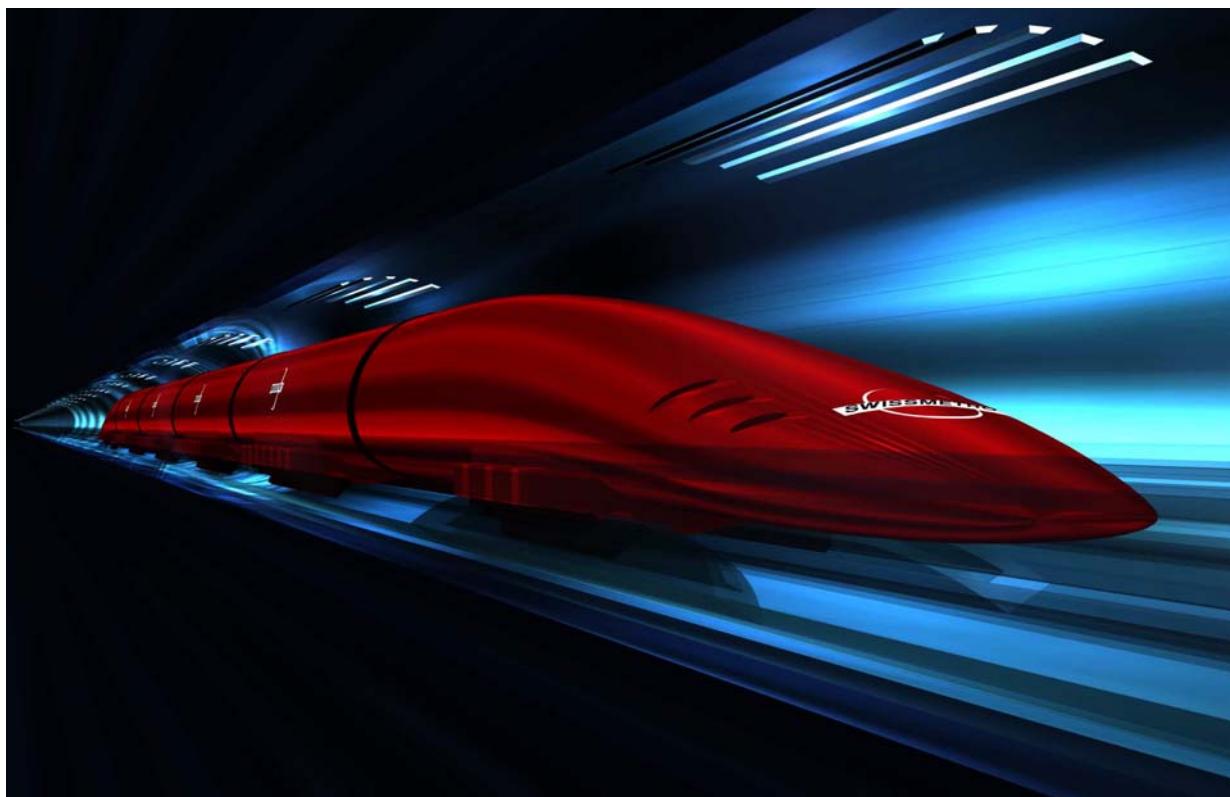


Figure 14 : vue avant du véhicule

Renouvellement de l'air ambiant

Pour garantir, en termes de confort et de sécurité, la qualité de l'air ambiant, le véhicule devra être équipé d'un système de renouvellement d'air. Trois solutions sont envisageables pour l'élimination des polluants : la dilution de l'air de l'habitacle avec de l'air propre, la sorption (chimique ou physique) qui consiste à fixer les polluants dans un liquide ou un solide, et la séparation, par des membranes, des polluants en phase gazeuse (filtration). Cette dernière solution semble la plus prometteuse pour Swissmetro car elle est plus avantageuse du point de vue du poids embarqué. Il faut toutefois reconnaître que les membranes de séparation actuelles n'atteignent pas encore les coefficients de filtration souhaités. Mais ce domaine est en pleine évolution et Swissmetro pourra certainement bénéficier des recherches en cours dans ce domaine.

Autres équipements mécaniques

Les équipements existants sur le marché, les pompes à vide par exemple, n'ont pas fait l'objet d'études particulières, à part leurs dimensionnements et l'estimation de leurs coûts. Par contre, les sas et le bariillet ont fait l'approche d'une démarche conceptuelle.

Devis estimatifs

Tronçon	Variante		Longueur [km]	Coûts mécanique (Mio de CHF)
Genève – Lausanne	A	B	58,5	210
Lausanne -Berne	A	B	81,0	197
Berne- Lucerne	A	-	69,2	185
Lucerne- Zurich	A	B	48,2	154
Zurich – St Gall	A	B	69,6	176
Bâle – Lucerne	A	-	80,0	223
Lucerne - Bellinzone	A	B	127,6	265
Berne- Zurich	-	B	104,3	221
Bâle - Zurich	-	B	75,0	233
Total variante A du réseau (étapes 1 et 2)			534,1	1410
Total variante B du réseau (étapes 1 et 2)			564,2	1456

Tableau 8 : coûts des équipements mécaniques et véhicules en CHF 1997

5.7.4 Développements complémentaires

Les domaines suivants nécessitent un complément d'étude :

Aérodynamique

- optimisation du système d'échange d'air entre les deux tubes afin de diminuer la traînée aérodynamique,
- quantification des phénomènes aéro-élastiques produisant des vibrations et des instabilités,

Thermique

- calcul de la température et de l'humidité dans le tunnel et autour du véhicule en exploitation normale, dégradée (maintenance) et en cas d'arrêt entre stations,
- étude du refroidissement des inducteurs de guidage et de sustentation ainsi que des moteurs embarqués sur le véhicule,
- dimensionnement, si nécessaire, d'un système de refroidissement du tunnel,

Véhicule

- développement du système d'articulation du véhicule,
- intégration des équipements électromécaniques à la structure du véhicule,
- développement du système de climatisation et de renouvellement d'air du véhicule,

Vide

- quantification des fuites (perméabilité du tunnel, joints, sas),
- approfondissement des phénomènes liés à la remise en pression d'urgence du tunnel (phénomènes aérodynamiques et thermiques),
- optimisation du système de remise en pression d'urgence du tunnel.

5.8 Domaine de la sécurité

Remarques préliminaires

Le groupe de travail Sécurité s'est occupé exclusivement de la sécurité technique de Swissmetro pendant sa phase d'exploitation et de ses implications sur les travaux des autres groupes de travail.

La sûreté des voyageurs a été traitée par le groupe de travail Exploitation. La sécurité durant la phase de construction et de fabrication est réglée par les dispositions légales usuelles.

Pour un système de transport nouveau comme Swissmetro, la sécurité, qu'il s'agisse du niveau de sécurité objectif ou du sentiment subjectif de sécurité, est un domaine sensible qui conditionne l'acceptabilité et la rentabilité du système.

Comparativement aux systèmes similaires (trains, métros) Swissmetro présente des avantages de sécurité inhérents à sa conception (sécurité intrinsèque). Comme dans les transports classiques, des sources de danger, pouvant menacer l'intégrité physique des voyageurs, sont toutefois présentes. Swissmetro combine, dans un environnement particulier, des technologies connues de l'aviation, du chemin de fer à grande vitesse, du métro et des trains magnétiques (au stade actuel de développement).

5.8.1 Cahier des charges du groupe de travail

- définir les objectifs de sécurité du système de transport Swissmetro,
- identifier et analyser les risques du système,
- proposer des solutions pour obtenir, à des coûts raisonnables, un niveau de sécurité plus élevé que celui des autres systèmes de transport public,
- émettre des directives pour la prise en compte systématique des aspects sécurité dans la conception du système et de ses composants.

5.8.2 Méthodologie

Méthodologie

On a élaboré un concept de sécurité à partir d'une analyse des risques du système (arbre des risques et conséquences).

Directives

Des directives de sécurité ont été établies à l'attention des autres groupes de travail chargés des développements du système. Elles ont été conçues de manière à pouvoir constamment intégrer de nouvelles connaissances dans les développements du système.

Plan directeur

Un plan directeur de sécurité a été élaboré avec les objectifs suivants :

- niveau élevé de sécurité,
- niveau de sécurité intrinsèque du système,
- coordination des mesures de sécurité dans tous les domaines,
- prise en compte de la sécurité dès la phase de conception,
- mesures de sécurité d'un rapport coût/efficacité raisonnable,
- prise en considération systématique du facteur humain,
- dialogue continu avec les autorités responsables et avec le public.

5.8.3 Résultats

Risques identifiés

Parmi les risques identifiés, certains sont similaires à ceux des systèmes de transport existants et d'autres sont différents :

- le véhicule Swissmetro circule comme un avion dans une atmosphère à pression fortement réduite. Un dommage affectant la structure du véhicule a pour conséquence, comme dans un avion, une dépressurisation de l'habitacle,

- le véhicule Swissmetro circule à très grande vitesse en site propre. La probabilité d'un déraillement ou d'une collision est très faible,
- l'ensemble du système est hautement protégé des influences extérieures, telles que conditions atmosphériques et actions de sabotage,
- il n'y a pas de transport de marchandises, ce qui en élimine les risques liés au fret dangereux,
- le véhicule Swissmetro circule comme un métro dans un réseau de tunnels avec un système d'exploitation hautement automatisé.
- les stations sont très éloignées les unes des autres. Le nombre de passagers par convoi est inférieur à celui des métros classiques ou des trains de surface.

Scénarios étudiés

Le risque est le produit de deux éléments : la probabilité d'occurrence de l'événement dommageable et la gravité des conséquences qui en découlent. Cinq scénarios caractéristiques ont été étudiés et ordonnés selon leur degré de probabilité et de conséquences :

- le véhicule est immobilisé en ligne pour des raisons techniques. Il n'y a pas de danger pour les voyageurs, mais le véhicule doit être amené à une station,
- l'habitacle du véhicule subit, à la suite d'un problème technique, une perte de pression progressive. Dans ce cas le danger n'est pas immédiat. Le plan de mesures prévoit de gagner la station la plus proche, où les passagers peuvent être évacués rapidement et dans les meilleures conditions. Si la pression dans le véhicule descend au-dessous du seuil admissible, il est prévu d'utiliser des masques à oxygène,
- le véhicule entre en collision avec un élément du tunnel, la structure est gravement endommagée et l'habitacle subit une perte de pression rapide. Dans ce cas la santé des voyageurs est gravement menacée. Le plan de mesures prévoit la remise rapide en pression du tunnel et l'évacuation des passagers,
- un incendie se déclare dans l'habitacle du véhicule, événement particulièrement redouté par les exploitants de systèmes de transport souterrain. Le plan de mesures prévoit la lutte contre l'incendie, le transfert des passagers dans un autre compartiment, tandis que le convoi gagne rapidement la station la plus proche. Si nécessaire le tunnel est rapidement remis en pression et les passagers sont évacués.
- une explosion se produit dans le véhicule Swissmetro et le détruit en partie. Comme dans d'autres systèmes de transport, ce scénario extrême ne peut être exclu. Le plan de mesures prévoit la remise rapide en pression du tunnel et l'intervention d'équipes de sauvetage.

Lors du développement du système, on a privilégié la mise en œuvre de mesures préventives visant à limiter la probabilité d'occurrence d'un événement ou à en réduire les conséquences.

Concept d'évacuation

Concrètement, l'analyse des risques a permis de développer un concept d'évacuation des passagers reposant sur les principes suivants :

- aussi longtemps que la mobilité du véhicule n'est pas entravée, celui-ci gagne, par ses propres moyens ou tracté, la prochaine station où les passagers peuvent être évacués dans les conditions les plus favorables (accès, éclairage, ventilation, proximité des moyens de sauvetage urbain, etc.),
- si le véhicule ne peut être déplacé, les équipes de sauvetage atteignent le lieu de l'accident avec une rame d'intervention permettant l'évacuation des passagers. En cas de nécessité, la pression peut être rapidement rétablie dans le tunnel afin de permettre aux voyageurs de s'éloigner par leurs propres moyens.

Le concept de sauvetage combine donc le sauvetage autonome et l'intervention extérieure.

5.8.4 Développements complémentaires

- Analyse élargie des scénarios d'accident à l'aide d'arbre d'événements,
- quantification de la probabilité d'occurrence des événements et de leurs conséquences,
- quantification d'un niveau de sécurité approprié pour les risques individuels et collectifs,
- participation au développement du véhicule, des ouvrages et des équipements,
- définition de la disponibilité du système (entretien, maintenance, sécurité du personnel, sûreté, contrôle d'accès, etc.).

5.9 Domaine de l'économie

5.9.1 Cahier des charges du groupe de travail

- procéder à une étude systématique de différents modèles de financement avec avantages et inconvénients : financements public, privé et mixte,
- consolider les estimations des coûts d'investissement et des charges d'exploitation fournis par les différents groupes de travail et les comparer avec ceux d'ouvrages réalisés,
- examiner la faisabilité économique et financière du projet,
- proposer un système de financement adéquat.

5.9.2 Méthodologie

Considérations générales L'étude économique, réalisée avec le concours d'experts financiers, prend en considération deux aspects complémentaires :

- la faisabilité économique du projet, c'est-à-dire sa rentabilité interne globale et à long terme (rentabilité directe) avec des réflexions sur les économies et les effets

- induits bénéficiant à la collectivité (rentabilité indirecte) ;
- la faisabilité financière du projet qui prend en compte la rentabilité des fonds investis.

Hypothèses

L'étude économique est basée sur les hypothèses suivantes :

- réseau suisse entièrement construit en 2010 (variantes A ou B),
- trafic journalier moyen estimé en 2010,
- durée de vie des équipements électromécaniques et véhicules: 20 ans,
- durée de vie de l'infrastructure: 100 ans,
- tarif kilométrique Swissmetro 2010 : 0.276 CHF/km,
- estimation des coûts d'investissement en CHF 1997,
- estimation des charges d'exploitation en CHF 1997,
- estimation des recettes d'exploitation en CHF 1997.

De manière à permettre une comparaison objective des différents tronçons des réseaux A et B, on a pris l'hypothèse générale d'une mise en exploitation en 2010 de la totalité du réseau. Cette hypothèse simplificatrice permet d'éviter la complexité découlant des aléas d'une construction progressive du réseau.

Coûts du développement industriel

Le coût du développement industriel du système a été estimé à 500 millions CHF, montant réparti entre les différents tronçons au prorata de leur longueur. Une estimation faite par Dornier System Consult donne un montant de 480 à 640 millions DM y compris les coûts d'homologation du véhicule compte tenu d'une utilisation de tout ou partie de la technologie Transrapid.

5.9.3 Résultats

Le tableau ci-après donne pour les différents tronçons les coûts d'investissement ainsi que les charges et recettes d'exploitation annuelles.

Les coûts d'investissement comprennent les coûts des infrastructures (tunnels, stations, postes d'exploitation), des équipements électromécaniques et mécaniques, des véhicules ainsi que les coûts du développement industriel.

Tronçon	Variante		Longueur [km]	Coûts d'investissement [mio CHF]	Charges d'exploitation [mio CHF]	Recettes d'exploitation [mio CHF]	
						(Variante A)	(Variante B)
Genève - Lausanne	A	B	58,5	3'524	51,0	148	149
Lausanne - Berne	A	B	81,0	4'614	51,3	184	186
Berne - Lucerne	A		69,2	3'930	43,7	383	-
Lucerne - Zurich	A	B	48,2	3'225	31,6	357	201
Zurich - Saint Gall	A		69,6	3'814	40,3	197	-
Bâle - Lucerne	A		80,0	4'776	55,6	192	-
Lucerne - Bellinzone	A	B	127,6	7'984	74,3	220	208
Berne - Zurich		B	104,3	5'965	70,3	-	509
Zurich - Saint Gall		B	69,6	3'940	40,0	-	204
Bâle - Zurich		B	75,0	5'383	61,7	-	251
Total variante A du réseau (étapes 1 et 2)			534,1	31'868	347,8	1681	-
Total variante B du réseau (étapes 1 et 2)			564,2	34'635	380,2	-	1708

Tableau 9: récapitulation des coûts d'investissement, charges et recettes d'exploitation en 2010, en CHF 1997

Faisabilité économique : rentabilité directe (TIR)

Rentabilité interne, globale et à long terme

Le TIR, taux interne de rentabilité, traduit la rentabilité interne du projet sur une période donnée.

Le résultat des calculs effectués est présenté dans les figures suivantes :

Variante A du réseau Swissmetro

■ Réseau (étapes 1 et 2) ■ Axe E-O

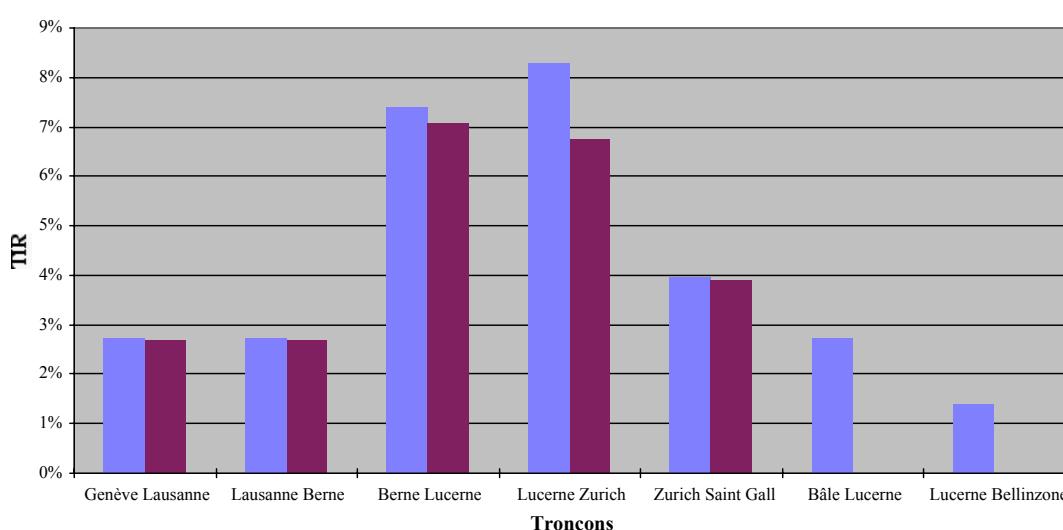


Figure 15 : rentabilité économique, TIR des tronçons de la variante A

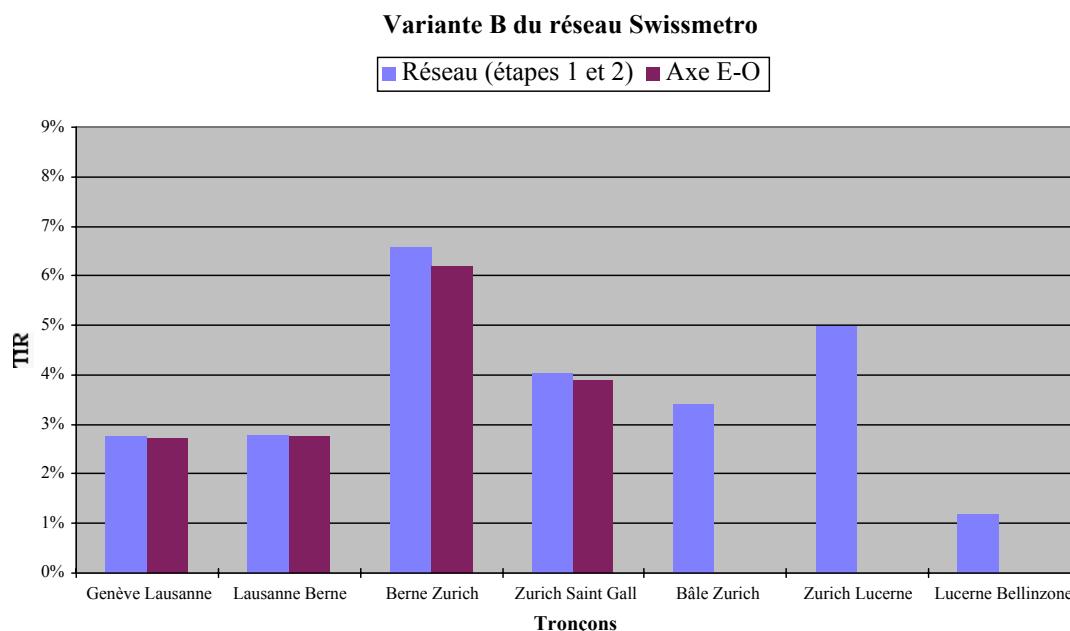


Figure 16 : rentabilité économique, TIR des tronçons de la variante B

Les taux internes de rentabilité, calculés sur 10 ans de construction (2000-2009) et 40 ans d'exploitation (2010-2059) pour les deux variantes A et B (réseau et ligne O-E) s'échelonnent entre 1 et 8% pour les divers tronçons.

Les tronçons périphériques présentent évidemment les taux les plus faibles, d'où la nécessité d'une prolongation vers l'étranger (Eurometro) pour améliorer la rentabilité du réseau suisse.

TIR du réseau

Les valeurs moyennes du TIR pour le réseau (étapes 1 et 2) sont en effet de 4,7% pour la variante A du réseau et 4,3% pour la variante B du réseau.

Faisabilité économique : rentabilité indirecte

Rentabilité indirecte, induite et élargie

La rentabilité indirecte considère les avantages induits et élargis, pour les collectivités publiques, résultants de la réalisation du réseau.

Economies induites

L'évaluation prend d'abord en compte les économies induites par le projet selon la récapitulation suivante :

Eléments	Economies (mio CHF)	
	Investissements	Annuelles
Report d'investissements routiers et autoroutiers	4'500	
Economies d'entretien autoroutier		90
Report d'investissements ferroviaires	2'250	
Economies des frais d'exploitation ferroviaire		110
Total	6'750	200

Tableau 10 : Economies induites du réseau Swissmetro

Les économies cumulées sur 35 ans représentent 13,75 milliards CHF.

Economies élargies

L'évaluation prend ensuite en compte les avantages économiques et sociaux générés par le projet, selon la récapitulation suivante :

Eléments	Economies (mio CHF)	
	Forfaitaires	Annuelles
Gains de temps		400
Emplois et revenus fiscaux	360+1'000	9
Aménagement du territoire		17
Environnement		30
Total	1'360	456

Tableau 11 : économies élargies induites pour la ligne Ouest- Est

Les économies cumulées sur 35 ans représentent 17,32 milliards CHF.

Avantages macro-économiques

En résumé, les avantages macro-économiques de Swissmetro sont les suivants :

- gains de temps pour les usagers,
- diminution des coûts résultants des accidents,
- baisse des coûts sociaux inhérents à la consommation de l'énergie et de carburant,
- baisse des coûts sociaux inhérents à la pollution de l'air,
- création d'emplois durant les phases de construction et d'exploitation.

*Faisabilité financière**Modèles de financement étudiés*

Plusieurs modèles de financement, public, privé et mixte, ont été étudiés. Le modèle mixte a finalement été retenu afin d'assurer une rentabilité convenable des fonds privés.

On a retenu pour le réseau, hypothèse simplificatrice, le modèle de financement admis dans la demande de concession du tronçon pilote, même si les montants en jeu, l'échelonnement des constructions et les différences de rendement entre tronçons rendent aléatoires les résultats obtenus.

Modèle de financement choisi

Le modèle de financement du projet TRANSRAPID Berlin - Hambourg ayant comme acteurs le gouvernement fédéral allemand, la Deutsche Bahn et les sociétés Thyssen AG, Siemens AG, et ADtranz GmbH a été repris et adapté par Swissmetro SA, avec les trois sociétés suivantes :

- **SOFINF**, société d'infrastructure en mains des collectivités publiques, finance les infrastructures du système et en confie la maintenance à une société d'exploitation SOGEST. Aucun intérêt n'est payé sur les fonds investis par SOFINF; celle-ci participe, toutefois, à raison d'un tiers aux résultats d'exploitation de SOGEST. SOFINF fonctionne donc comme une société-relais gérant un prêt remboursable des collectivités publiques. Le risque couru par SOFINF réside dans le dépassement du devis de construction, risque qui peut être réduit par des adjudications à forfait à des entreprises totales.
- **SOTRANS**, société privée de transport, finance l'achat des véhicules et la plus grande partie des équipements et en confie

l'exploitation à SOGEST moyennant une location ainsi qu'une participation à raison d'un tiers aux résultats d'exploitation. Les risques financiers de SOTRANS résident dans le dépassement des devis de fourniture, le renouvellement des équipements, le paiement des intérêts et le remboursement des fonds étrangers ainsi que dans la rentabilité des fonds propres.

- **SOGEST**, société privée d'exploitation (CFF seuls, associés à des privés, ou une société tiers) assure l'exploitation du système (management, marketing, vente, traction, sécurité et accompagnement des voyageurs) et sa maintenance. Elle cède deux tiers du résultat d'exploitation à SOFINF et SOTRANS. Le risque financier de SOGEST, qui ne participe à aucun financement, réside dans le développement du trafic qui peut être influencé par un marketing dynamique, un service de qualité, et une bonne coordination avec tous les moyens de transport public de surface.

Rentabilité financière de SOTRANS

Les figures ci-après illustrent la rentabilité (ROE, Return On Equity) moyenne des fonds propres de SOTRANS pour chaque tronçon, variantes A et B (réseau et axe Est-Ouest), pour les 30 premières années d'exploitation.

Variante A du réseau Swissmetro, ROE de SOTRANS

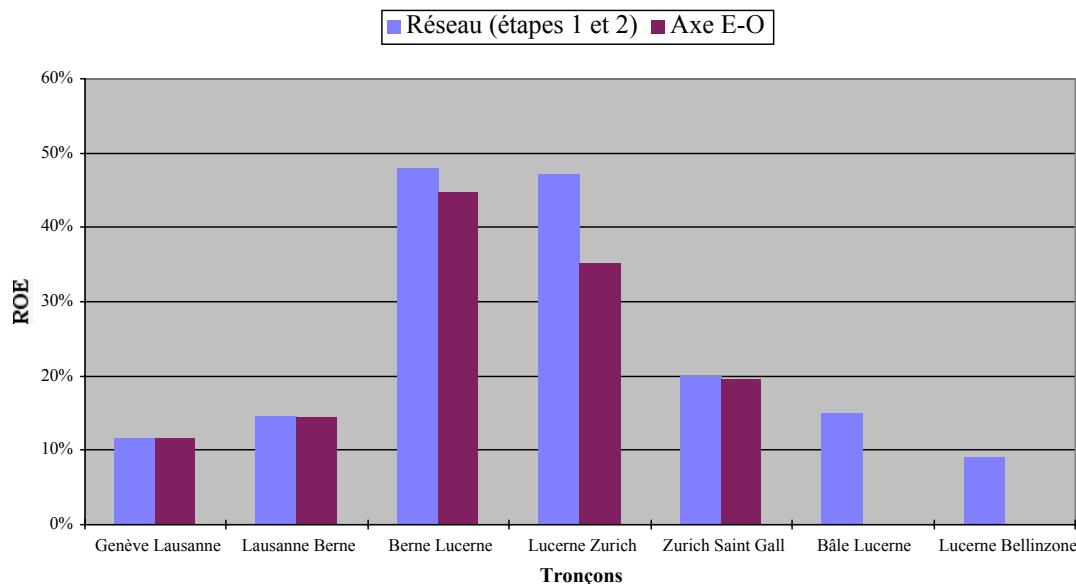


Figure 17 : rentabilité moyenne des fonds propres de SOTRANS, variante A du réseau (étape 1 et 2)

Variante B du réseau Swissmetro, ROE de SOTRANS

■ Réseau (étapes 1 et 2) ■ Axe E-O

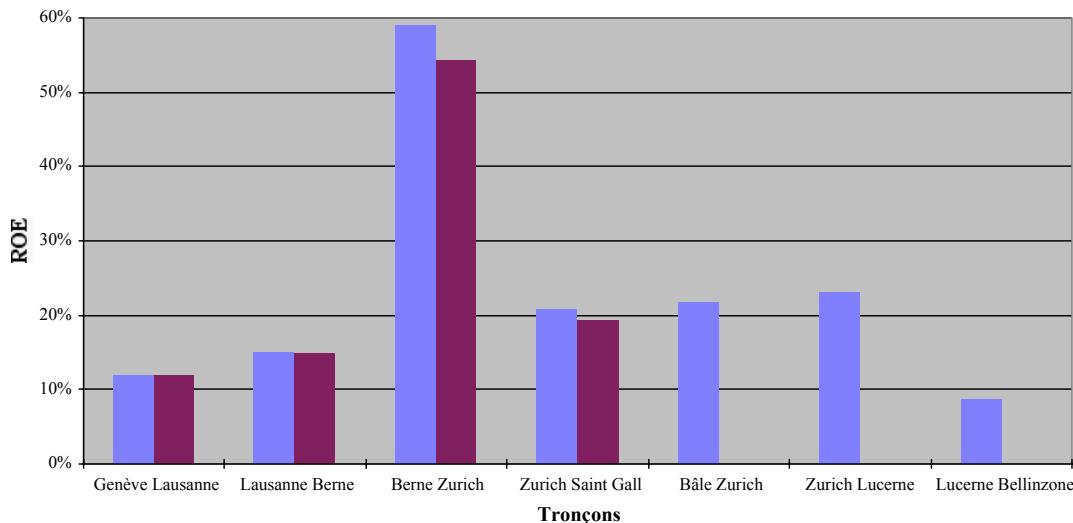


Figure 18 : rentabilité moyenne des fonds propres de SOTRANS, variante B du réseau (étape 1 et 2)

ROE du réseau

La valeur moyenne du ROE pour le réseau (étapes 1 et 2) est de 4,0 % pour la variante A et de 3,7 % pour la variante B.

Remboursement des capitaux publics

Les capitaux investis dans SOFINF par les collectivités publiques font l'objet d'un remboursement progressif assuré par l'encaissement du tiers du bénéfice de SOGEST, comme l'illustre la figure suivante pour la ligne Genève – St Gall de la variante A du réseau.

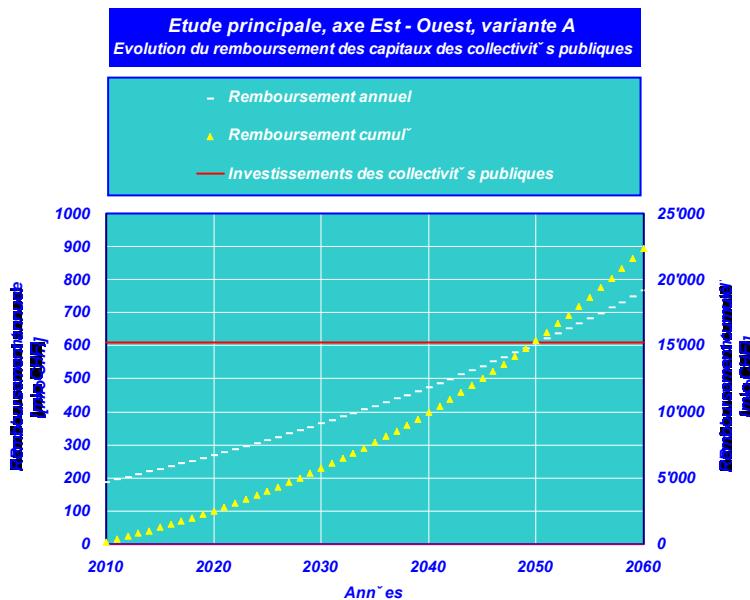


Figure 19: évolution du remboursement annuel et cumulé à SOFINF, variante A, ligne Genève -St Gall

On constate qu'après 40 ans d'exploitation ce remboursement atteint près de 15 milliards de CHF, ce qui couvre les investissements fait par SOFINF, sans qu'il soit tenu compte des économies induites et des avantages socio-économiques générés par le système.

Analyse de sensibilité

On a effectué une analyse de sensibilité, pour le tronçon pilote, ayant pour but de mettre en évidence l'influence du nombre de passagers (recettes), des investissements, et des charges d'exploitation sur :

- la rentabilité interne (TIR),
- la rentabilité des fonds propres (ROE),
- la durée de remboursement des fonds publics.

L'analyse de sensibilité montre que les recettes et, dans une moindre mesure, les investissements ont un effet prépondérant sur la rentabilité. Alors que l'effet des charges d'exploitation est faible. Il est donc important pour SOGEST d'agir sur l'augmentation des recettes par une politique de promotion et de marketing dynamique. De son côté, SOTRANS devra veiller, lors de la planification et de la réalisation, au respect des budgets d'investissements.

Conclusions

L'étude économique montre que :

- le taux interne de rentabilité moyen varie selon les tronçons. Il est compris entre 4 et 5% en moyenne pour les deux variantes de réseau sur la base des hypothèses retenues,
- un financement uniquement privé n'est pas possible,
- le modèle de financement choisi propose un partage équitable des risques entre collectivités publiques et sociétés privées,
- les investisseurs privés bénéficient dès la première année d'exploitation, d'une rentabilité convenable de leurs fonds propres leur permettant de faire face à leurs engagements,
- les CFF peuvent être associés à la réalisation et à l'exploitation d'un système de transport performant et attractif, qui améliorera en outre la rentabilité de leur réseau de surface,
- les collectivités publiques permettent la réalisation du projet grâce à un prêt sans intérêt et remboursable à long terme, consenti par l'intermédiaire d'une société SOFINF. Les crédits publics ne sont pas engagés à fond perdu, puisqu'un amortissement est prévu dès les premières années d'exploitation et qu'ils sont totalement amortis après 40 ans (variante A, axe E-O). Les collectivités publiques peuvent financer ces crédits grâce à des transferts d'investissements prévus pour d'autres systèmes de transport, et rendus superflus par la réalisation de Swissmetro.
- l'analyse du TIR montre que les lignes Est-Ouest et les tronçons de Bâle – Zurich – Lucerne ont une rentabilité acceptable avec un financement mixte. Ce n'est pas le cas de Lucerne - Bellinzone et des tronçons périphériques,
- le prolongement du réseau Swissmetro au delà des frontières (Eurometro) permettrait d'en améliorer la rentabilité.

5.9.4 Développements complémentaires

L'étude économique du tronçon pilote est basée sur des coûts d'investissements, des charges et des recettes d'exploitation relativement précises.

Ce n'est pas le cas pour les deux variantes de réseau où ces valeurs ont fait l'objet d'extrapolation. Des études complémentaires sont donc

nécessaires au fur et à mesure que ces données de base seront connues avec plus de précision.

Par ailleurs d'autres modèles de financement peuvent être développés en fonction des désiderata de l'autorité concédante et des investisseurs privés et publics.

6. RESULTATS DES TRAVAUX DE RECHERCHE DANS LE CADRE DU PNR 41

Objectif du PNR 41

Le programme national de recherche PNR41 « Transport et environnement : interactions Suisse - Europe » a pour objectifs de fournir les éléments utiles à la mise en place d'une politique des transports efficiente et respectueuse de l'environnement.

Six modules

Les 52 projets sont regroupés dans les modules suivants:

- A Mobilité: aspects socio-institutionnels (11 projets)
- B Mobilité: aspects socio-économiques (9 projets)
- C Environnement: méthodes et modèles pour l'analyse des effets environnementaux (8 projets)
- D Stratégies et conditions-cadre politiques et économiques (13 projets)
- E Gestion des systèmes de transports: potentiels et effets (5 projets)
- F Technologie: potentiels et effets (6 projets)

L'étude principale Swissmetro bénéficie directement de 5 projets et indirectement de 24 autres. Les résultats définitifs de ces études ne sont pas connus à ce jour.

Référence

Tous ces projets sont décrits dans le portrait et les bulletins du PNR 41 ainsi que sur le web (<http://www.snf.ch/NFP41/HOME.HTM>). Les 5 projets intéressant directement Swissmetro seront présentés lors d'un colloque le 23.6.99 à l'EPFL.

La publication des rapports est agendée en 1999 et 2000, ceux-ci étant disponibles auprès l'OCFIM (EDMZ) 3000 Berne. Les résumés en français, anglais et allemand seront accessibles directement sur le web.

6.1 Projets intéressant directement Swissmetro

6.1.1 Evaluation de la demande pour Swissmetro (Projet F1)

Problématique

Il est très difficile d'évaluer les flux de trafic induits par des technologies et des systèmes fondamentalement nouveaux.

Objectifs

Le projet vise à développer plus avant la méthode des "stated preferences" et à la comparer avec d'autres méthodes, d'une part, et à fournir des résultats concrets sur la demande pour Swissmetro, d'autre part.

Méthodologie

Par le biais de questionnaires, ce projet a sondé les préférences de la clientèle potentielle (stated preferences), en prenant pour exemple Swissmetro.

6.1.2 Analyse de risques lors d'accidents en tunnels (Projet F2)

Problématique

Vu la rareté des accidents dans les tunnels routiers et ferroviaires, leur analyse statistique est difficile.

Pourtant, ces accidents peuvent avoir des conséquences considérables pour l'homme, l'environnement et les installations.

Objectifs

Cette étude veut améliorer les connaissances, dans les infrastructures tunnelières, des risques, de leurs causes, de leurs conséquences et de leur probabilité.

Méthodologie

Le projet a utilisé différentes méthodes, comme par exemple l'analyse par arborescence de défaillances. Les accidents graves possibles ont été simulés sur la base de projets tunneliers concrets.

6.1.3 Evaluation des choix technologiques: grande vitesse (Projet F3)

Problématique

L'impact des systèmes à haute vitesse et grandes distances comprend des aspects techniques, écologiques, sociaux et d'aménagement du territoire.

Objectifs

L'étude fournit une contribution à la méthode d'évaluation des choix technologiques, ainsi que des bases concrètes d'évaluation des nouveaux systèmes à grande vitesse comme Swissmetro.

Méthodologie

Partant d'expériences comme celles faites avec le TGV en France, et d'acquis de la technique de lévitation magnétique, on a procédé à une évaluation des choix technologiques (Technology Assessment) d'un système suisse à grande vitesse (exemple Swissmetro).

6.1.4 Effets spatiaux de Swissmetro (Projet F5)

Problématique

En modifiant l'accessibilité de différentes régions, l'évolution des systèmes de transport n'est pas sans effet sur l'attractivité des lieux et l'organisation du territoire.

Objectifs

En prenant comme exemple Swissmetro, cette étude veut analyser les conséquences d'une réduction sensible des temps de voyage sur l'organisation spatiale.

Méthodologie

Deux équipes de recherche ont abordé ces questions en utilisant des approches différentes:

- l'équipe de l'EPF Zurich a employé un modèle intégré d'utilisation des transports et du territoire pour simuler différents scénarios,
- l'équipe de l'EPF Lausanne a analysé les aspects sociaux, tels que les conséquences de la transformation des systèmes de transport.

6.1.5 Eurometro (Projet F6)

Problématique

Le projet d'un "Eurometro" consiste à transposer Swissmetro à l'échelon européen, en mettant au point un système qui fournirait une alternative au transport aérien à courte distance, en reliant par exemple, Francfort à Rome et Madrid à Budapest. Une hausse de la demande et des distances plus élevées pourraient notamment exercer une influence positive sur l'environnement et le bilan énergétique.

Objectifs

Ce projet veut approfondir notamment les travaux préparatoires menés par différentes hautes écoles spécialisées.

Méthodologie

En collaboration avec l'EPFZ, l'EPFL et d'autres spécialistes, on a établi des bilans écologiques et énergétiques ainsi que des profils de durabilité pour différents scénarios.

6.2 Référence des projets PNR41 intéressant indirectement Swissmetro

Nr.	Requérant	Institut	Titre abrégé	Délai
A 4	Joye Dominique	EPFL, IREC	Combinaison attrayante de moyens de transports	9.99
A 5	Meier-Dallach Hans-Peter	cultur prospectiv	Déterminants sociaux et mobilité de loisirs	4.99
A 7	Elsasser Hans	Uni ZH, Geogr. Inst.	Nouveaux médias de communication (EVITA I)	3.00
A 8	Probst André	UNIL, HEC	Communication des entreprises virtuelles (EVITA II)	3.00
A 11	Ratti Remigio	IRE Lugano	Mesurer l'accessibilité	6.00
B 6	Marti Peter	Metron	Intégration dans les réseaux européens: transport voyageurs	4.99
B 9	Rumley Pierre-Alain	EPFL, IREC	Plates-formes logistiques multiservices	6.00
C 1	Egger Mark	Infraconsult	Coût et utilité de la protection de la nature et du paysage	12.98
C 2	Keller Mario	Infras	MODUM (modèle stratégique environnement-mobilité)	12.99
C 5	Spillmann Werner	Basler+Partner	Critères pour une mobilité durable	publ.
C 6	Spillmann Werner	Basler+Partner	Evaluation de la durabilité de projets et de stratégies	10.99
C 7	Kaufmann-Hayoz Ruth	IKAÖ Uni Bern	Stratégie "Transport durable"	4.00
C 8	Marti Peter	Metron	Transports et organisation du territoire	8.00
D 2	Lundsgaard-Hansen Niklaus	LHGP	Concurrence et approvisionnement de base sur le rail	1.99
D 3	Maibach Markus	Infras	Des prix justes et efficents	12.98
D 5	Meier Ruedi	Bern	Stratégies de la mobilité de loisirs	6.99
D 7	Rey Michel	C.E.A.T.	Politique des transports dans les régions frontalières	6.99
D 8	Oliva Carl	Büro Oliva	Libéralisation du trafic aérien	4.99
D 9	Blöchliger Hansjörg	B,S,S.	Institutions et financement	6.99
D 10	Maggi Rico	Uni Lugano	Avantages économiques du transport	6.00
D 12	Vatter Adrian	Uni BE	Acceptabilité: les votations	8.00
D 13	Widmer Thomas	Uni ZH	Acceptabilité: les processus politiques	8.00
E 1	Holzinger Stefan	Aarproject	Système d'information pour les usagers des transports publics	publ./99
F 4	Brändli Heinrich	IVT ETHZ	Potentiel de développement technique du rail	publ.

7. DEVELOPPEMENT EUROPEEN

De Swissmetro ...

Il est compréhensible que le système de transport Swissmetro ait été conçu et développé en Suisse, car la topographie, l'urbanisation du territoire et la protection de l'environnement ne permettent plus aujourd'hui d'y construire des lignes ferroviaires à grande vitesse du type TGV. La demande d'une concession pour le tronçon pilote Genève – Lausanne a été déposée pour éviter l'investissement coûteux d'un site d'essai hors réseau (concept Transrapid), mais également pour donner à Swissmetro SA, par un acte officiel, la crédibilité nécessaire au développement du système sur un territoire plus vaste que celui de la Suisse.

... à Eurometro

En effet, dès les premières études, il est rapidement apparu qu'un tel moyen de liaison à grande vitesse et à fréquence élevée entre les grandes métropoles européennes en faisait un instrument privilégié du développement socio-économique, en permettant un accès quotidien aux activités et services des villes d'importance majeure.

Participation de sociétés européennes

Des sociétés industrielles étrangères tels que Daimler-Benz, Alstom, Dornier, Thyssen, ont compris l'importance de l'enjeu, soit en devenant actionnaires influents de Swissmetro SA, soit en proposant leur collaboration sous des formes diverses.

Les coûts élevés du développement industriel de ce nouveau système de transport conduisent également à un élargissement du cercle de ses promoteurs à l'échelon européen, voire mondial.

Liaison Genève - Lyon

C'est pourquoi, dans un premier temps, des contacts ont été pris en 1998 avec les autorités de la Région Rhône-Alpes en vue d'étudier les effets socio-économiques et la faisabilité d'une liaison rapide entre Genève et Lyon au moyen de la technologie Swissmetro. Cette étude sera financée à parts égales par la Région Rhône-Alpes, le canton de Genève et Swissmetro SA. Une convention est en cours de rédaction et devrait être signée au premier semestre 1999.

Liaison St Gall - Munich

Des contacts de même nature sont en cours avec le Land de Bavière, pour une liaison rapide entre St Gall et Munich, confirmant ainsi la priorité donnée à la liaison Ouest - Est, de Lyon à Munich par la Suisse.

Autres liaisons

D'autres contacts seront engagés en 1999 pour l'étude des prolongements de la ligne Bâle – Bellinzone vers Strasbourg - Stuttgart et Milan.

Crédits Interreg

Swissmetro SA examine par ailleurs la possibilité de financer l'ensemble des études des tronçons internationaux par des crédits du programme Interreg II A, voire Interreg III B ou C (période 2000 – 2006).

Conclusion

Un soutien ferme et résolu des autorités politiques fédérales et cantonales est une condition indispensable au succès de ces démarches.

8. DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

La suite qui sera donnée au projet Swissmetro est bien évidemment influencée par la réponse du Conseil fédéral à la demande de concession pour le tronçon pilote Genève – Lausanne, attendue au début 1999.

Toutefois, le conseil d'administration de Swissmetro SA s'est déjà préoccupé des actions à entreprendre dès la fin de l'étude principale.

Acquis de l'étude principale

Constatant les acquis obtenus à fin 1998, à savoir :

- un avant-projet d'infrastructure permettant, après quelques investigations complémentaires (sondages géotechniques), de mettre en œuvre la planification de mise à l'enquête et d'exécution du tronçon pilote Genève – Lausanne, ou de l'adapter à d'autres tronçons en Suisse ou à l'étranger,
- un ensemble cohérent de solutions électromécaniques et mécaniques (aérodynamique, gestion du vide, thermique et véhicules) permettant le développement sur le plan industriel du système Swissmetro, éventuellement avec apport de composants Transrapid,
- les premiers résultats des essais expérimentaux en cours sur modèles réduits (STARLET).

Développement industriel

le conseil d'administration a décidé d'engager directement la phase de développement industriel des véhicules et des installations électromécaniques et mécaniques. Il n'est en effet pas pensable de poursuivre ce développement selon le modèle utilisé pour l'étude principale, c'est-à-dire: attribution de mandats d'étude et de planification, puis appel d'offres pour la fourniture des éléments.

Intégration des fournisseurs

Comme le développement industriel du système concerne essentiellement les aspects électromécaniques et mécaniques, le conseil d'administration a jugé indispensable que les fournisseurs participent dès maintenant au développement et à la mise au point des éléments qu'ils seront appelés à fournir, sur la base de cahiers des charges fixant les objectifs et les performances à atteindre dans chaque domaine. Par ailleurs, la phase de développement industriel doit être conduite de manière professionnelle. Or, Swissmetro SA ne dispose pas d'un organe de direction opérationnelle lui permettant de mener à bien cette tâche. C'est pourquoi le développement du système sera conduit par des partenaires industriels principaux, à charge pour eux de choisir et de piloter les partenaires et sous-traitants dont ils auront besoin.

C'est donc sur la base du concept ci-dessus que le conseil d'administration recherche actuellement des partenaires industriels suisses et étrangers pour pouvoir engager la phase de développement industriel dans les meilleurs délais.

9. CONCLUSIONS

- Objectifs atteints*
- On peut considérer que les objectifs de l'étude principale, à savoir :
 - le choix d'un tronçon pilote et le dépôt d'une demande de concession,
 - le choix des options techniques, économiques et politiques du système
 - ont été atteints, puisque que Swissmetro SA est maintenant en mesure d'engager la phase de développement industriel, même si quelques études complémentaires sont encore nécessaires.
- Par rapport à l'étude préliminaire, dont les résultats ont été présentés en 1993, des progrès considérables ont été réalisés :
- Faisabilité technique*
- la faisabilité technique du système est démontrée dans les domaines principaux, même si elle doit bien entendu encore être confirmée par des modèles à l'échelle 1/1. Dans la majeure partie des cas, on propose désormais une solution au lieu de variantes. Des choix demeurent encore ouverts dans quelques domaines où il convient de laisser une certaine liberté aux fournisseurs et constructeurs.
- Volume de trafic*
- on dispose d'indications crédibles sur le volume de trafic attendu pour Swissmetro, entre autres grâce au développement du logiciel Polydrom, qui a permis d'estimer le transfert modal à partir des réseaux autoroutier et ferroviaire.
- Concept d'exploitation*
- on dispose d'un concept d'exploitation rationnel, lié à la mise au point d'ouvrages-types conçus en fonction de ce concept, avec des modèles d'horaires synchrone et asynchrone.
- Génie civil*
- le domaine du génie civil est maîtrisé, la conception des ouvrages étant achevée sous forme d'avant-projet et leur faisabilité démontrée, à l'exception de la nature définitive du revêtement étanche des tunnels, où des essais sont encore en cours.
- Electromécanique*
- on dispose de modèles réduits de propulsion, de sustentation, de guidage magnétiques, de réglage, d'alimentation des moteurs ainsi que de transmission d'énergie sans contact. Une installation test pour la sustentation a été réalisée, ainsi qu'une installation test à échelle réduite du moteur envisagé. On développe d'autre part en parallèle une variante de moteur embarqué permettant de faire des économies d'investissement importantes. Enfin, une étude Dornier permet d'envisager l'adaptation au système Swissmetro de certains composants développés par Transrapid, permettant ainsi de réduire le coût du développement industriel.
- Mécanique*
- dans le domaine mécanique, on dispose des solutions prêtées à être développées et testées par les industries spécialisées pour les véhicules et les équipements mécaniques (sas, barillet, système de réalisation du vide partiel et de remise en pression rapide, etc.)
- Aérodynamique*
- des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de l'aérodynamique où l'on dispose de modèles mathématiques fiables et de bancs d'essais en exploitation ou en voie de réalisation pour vérifier les paramètres utilisés et choisir la solution optimale. Par contre, le domaine de la thermique lié à l'aérodynamique doit être approfondi en particulier en ce qui concerne le tunnel et le véhicule.

Aménagement du territoire et protection de l'environnement

- la faisabilité de Swissmetro dans les domaines de l'aménagement du territoire et de la protection de l'environnement est démontrée et les mesures d'accompagnement identifiées. Un cahier des charges des études d'impact a été élaboré, alors que l'étude d'impact phase I a été réalisée pour le tronçon pilote, servant ainsi de modèle pour le futur.

Sécurité

- on dispose d'un concept et d'un plan directeur de sécurité permettant d'assurer une fiabilité du système au moins égale, sinon supérieure à celle des systèmes de transport existants.

Faisabilités économique et financière

- les faisabilités économique et financière sont confirmées, et l'on dispose d'un modèle de financement applicable. Les collectivités publiques permettent la réalisation du projet grâce un prêt sans intérêt, remboursable à long terme, et financé par des transferts d'investissements prévus pour d'autres systèmes de transport, et rendus superflus par la réalisation de Swissmetro

En résumé, Swissmetro :

- est un système de transport public sûr, attractif, performant et respectueux de l'environnement avec une grande flexibilité d'exploitation,
- est probablement, de l'avis de spécialistes, le système de transport qui devrait succéder aux trains à grande vitesse du type TGV, puisqu'au-delà d'une vitesse commerciale (vitesse moyenne entre origine et destination) de 280 à 300 km/h, l'exploitation d'un train en surface n'est plus pensable pour des raisons de coûts, de consommation d'énergie, de nuisances pour l'environnement et de sécurité. Ce nouveau système de transport doit être développé maintenant, pour pouvoir être opérationnel dans 10 ou 15 ans,
- est le moyen de créer, à l'échelle suisse et européenne, un espace métropolitain, en permettant un accès journalier aux activités et services des villes d'importance majeure, tout en assurant une bonne irrigation des territoires attenants grâce à des transports régionaux performants,
- offre à la Suisse et à l'Europe l'opportunité de prendre une place prépondérante dans le peloton des pays industrialisés décidés à se doter de systèmes de transport publics performants pour favoriser leur développement économique et faire face à la mobilité croissante,
- offre aux industries et aux pays qui s'engageront dans son développement des possibilités d'occuper une position de pointe et de s'ouvrir des marchés prometteurs.

A la fin de ce rapport, Swissmetro SA se doit d'exprimer sa profonde gratitude aux autorités politiques et aux administrations fédérales, cantonales et communales, aux deux Ecoles Polytechniques, au Fonds National suisse de Recherche Scientifique, à tous les mandataires, entreprises et sociétés du secteur privé ayant mis à disposition leurs compétences sous forme de prestations à leurs propres risques, ainsi qu'à tous les actionnaires de la société, pour leur appui technique et financier tout au long de l'étude principale. Sans ce formidable effort, leur confiance en l'avenir et leur enthousiasme, le projet Swissmetro n'aurait pas pu effectuer les progrès qui lui permettront bientôt de passer à la phase de développement industriel, tant sur le plan suisse que sur le plan européen.

10. ANNEXES

10.1 Liste des partenaires et personnes ayant participé à l'étude principale

10.1.1 Entreprises et bureaux privés

Entreprise	Personne de contact	Adresse	
Abay&Meier AG	Dr. Georg Abay	Ceresstr. 10	8008 ZURICH
ABB Sécheron SA	Harry Zueger	Case postale 2095	1211 GENEVE 2
AC Atelier Commun SA	Dominique Dériaz	Rue du Simplon 25	1006 LAUSANNE
AGBTS SA	André Grangier.	L'Aiguille-du-Pin	1845 NOVILLE
AGZ Arbeitsgruppe Zentralschweiz, p.a. Bucher + Dillier	Peter Bucher	Industriestrasse 6	6006 LUZERN
Albrecht & Partner	Bruno Albrecht	Murbacherstrasse 19	6003 LUZERN
Alcatel Câble Suisse SA	Alain Rochat	Av. François Borel	2016 CORTAILLOD
Alstom Suisse SA	Peter Schmutz	Case postale 183	5036 OBERENTFELDEN
Amberg IngenieurbüroAG	Felix Amberg	Trockenloostrasse 21	8105 REGENSDORF-WATT
Ambrosetti Holding SA	Richard Ambrosetti	Case postale 6015	1211 GENEVE 6
Amila Video&Film Production	Roberto Luzzani	Via Cantonale 3	6944 CUREGLIA
Amsler & Bombeli SA	Pierre Amsler	31, rue Chêne-Bougeries	1224 CHENE-BOUGERIES
ASS Architectes SA	Christine Delarue	40 av. du Lignon	1219 GENEVE
Bakoplan Elektro Ingenieure AG	Arthur Aepli	Neugutstrasse 88 Postfach	8600 DÜBENDORF
Basler & Hofmann	Felix Jenny	Bachweg 1	8133 ESSLINGEN
Techn. Beratungs- u. Forschungsstelle der Schweiz, Zementindustrie (TFB)	Dr. Fritz Hunkeler	Lindenstrasse 10	5103 WILDEGG
Beric SA	Jean-Robert Lorenzini	2 Bd. des Promenades	1227 CAROUGE
Betelec SA	Dominique Chambettaz	Chemin de Chantemerle 14	1010 LAUSANNE
Bonnard & Gardel	Alan Weatherill	Av. de Cour 61	1001 LAUSANNE
Bourgeois Géomètre	Jean-Jacques Bourgeois	Grand-Rue 9	1337 VALLORBE
Bucher + Dillier AG	Peter Bucher	Industriestr. 6	6003 LUZERN
Büchi + Müller AG	Dr. Michael Stockmayer	Zürcherstrasse 34	8501 FRAUENFELD
Burkhart Bauinformatik AG	Pierre Burkhart	Kuonimatt, Industriestr. 13	6010 KRIENS
Busch AG	Hans Steybe	Waldweg 22	4312 MAGDEN
C. von der Weid SA	Jean-Bernard Demont	11, av. Moléson	1701 FRIBOURG
Cemsuisse + TFB	Georges Spicher	Marktgasse 53	3011 BERN
CETP	Pierre Balegno	Route du Simplon 16	1094 PAUDEX
Chuard bureau d'ingénieur	Pierre Chuard	En Budron A2	1052 LE MONT/LAUSANNE
CIGLE Communauté des Ingénieurs	Jean-Jacques Bourgeois	Ch. de Chantemerle 14	1010 LAUSANNE
Colenco Power Engineering AG	Dr. Markus Hugi	Mellingerstrasse 207	5405 BADEN
Condis -Montena SA	Roland Gallay	Zone industrielle	1728 ROSENNS
Credit Suisse Grp	Werner Guyer	Trittligasse 2	8001 ZURICH
CSD - Ingénieurs Conseils SA	Felix Schmidt	Ch. de Maillefer 36	1052 MONT S/LAUSANNE
CVE, p.a. Romande Energie	Bettler Martin	Rue de Lausanne 53 CP	1110 MORGES 1
De Cérenville Géotechnique SA	Hervé Detrey	17, ch. des Champs-Courbes	1024 ECUBLENS
Dionea SA	Pippo Gianoni	Lungolago Motta 8	6000 LOCARNO
Dr. Heinrich Jäckli AG	Dr. Heinrich Jäckli	Limmatstrasse 289	8049 ZÜRICH
Dr. Vollenweider AG	Kurt Boppart	Neue Jonastrasse 71	8640 RAPPERSWIL
Dr. Von Moos AG	Dr. Matthias Freimoser	Bachofnerstrasse 5	8037 ZÜRICH
Dornier System Consult GmbH	Willi Mayer	Postfach 1306	D-88003 FRIEDERICHSHAFEN
EEF-Entreprises électriques fribourgeoises	André Sudan	Bd. Péralles 25, CP 1044	1701 FRIBOURG

Electrowatt Engineering AG	Alberto Turi	Bellerivestrasse 36	8034 ZÜRICH
EZ Associates	Enrico Zuffi	Case postale 9	1226 THONEX
Fédération des Syndicats Patronaux	Dr. Pierre Weiss	Rue de St. Jean 98	1211 GENEVE 11
GEOFORM Geologische Beratungen	Dr. Werner Leu	Anton Graff-Strasse 6	8401 WINTERTHUR
Geol. Büro Dr. Lorenz Wyssling AG	Dr. Paul Felber	Lohzelgstrasse 5	8118 PFAFFHAUSEN
Géotechnique Appliquée Dériaz SA	Michel Odier	10 rue Blavignac	1227 CAROUGE
Geotest AG	Dr. Hans-Rudolf Keusen	Birkenstrasse 15	3052 ZOLLIKOFEN
Gillièron Electronique SA	Claude Gillièron	Chemin Buvelot 2	1110 MORGES
Grundbauberatung AG	Dr. Hans Kapp	Helvetiastrasse 41	9000 ST.GALLEN
Fachhochschulen Bern u. Zentralschweiz	Walter Ernst	Pestalozzistrasse 20	3400 BURGDORF
Huber + Suhner AG	Thomas Cantz	Tumbelenstrasse 20	8330 PFÄFFIKON
IG Zürich, p.a. Schindler + Schindler	Dr. Johannes Schindler	Albistrasse 103	8038 ZÜRICH
ILF Beratende Ingenieure GmbH	Bernhard Kohl	Lustenauerstrasse 9	A-4020 LINZ
ILF Beratende Ingenieure AG	Günther Strappler	Richard-Wagner-Strasse 6	8027 ZÜRICH
Infraconsult SA	Claude Hilfiker	37, av. du Lignon	1219 LE LIGNON
IST- Institut de la santé au travail	David Vernez	rte du Bugnon 19	1005 LAUSANNE
Jenni + Gottardi AG	Dr. Giovanni Gottardi	Hornhaldenstrasse 9	8802 KILCHBERG/ZÜRICH
Karakas & Français SA	Olivier Français	Bd de Grancy 19A	1006 LAUSANNE
Küng et associés SA	Pierre-Alain Matthey	Av. de Beaulieu 43	1004 LAUSANNE
Lienert & Haering AG	Christoph Haering	Poststrasse 4	9113 DEGERSHEIM
Locher	André Hagmann	Chemin Isaac Anken 8-10	1219 GENEVE-AIRE
Losinger Holding SA	Philippe Pot	Route du Grenet 14	1074 MOLLIE-MARGOT
M. Kobel + Partner AG	Dr. Max Kobel	Grossfeldstrasse 74	7320 SARGANS
Mantilleri, Bureau d'ingénieurs	Roland Mantilleri	Bd des Promenades 2	1227 CAROUGE
Matousek, Baumann & Niggli AG	Dr. Federico Matousek	Mäderstrasse 8	5401 BADEN
Mengis+Lorenz AG	Dr. Beat Keller	Schlossstr. 3	6005 LUZERN
Mettler Rudolf		Belmontstrasse 1	7006 CHUR
Norbert Géologues Conseil SA	Georg Schaeren	6, rue Enning	1003 LAUSANNE
NTB-Neutechnikum, Buchs	Prof. Roland Rebsamen	Werdenbergstrasse 4	9470 BUCHS
OFEL – Office d'électricité de la Suisse romande	Dr. François Gaille	Case postale 534	1003 LAUSANNE
Otis	Gilbert Monneron	Case postale 1047	1701 FRIBOURG
Passera + Pedretti SA	Mauro Pedretti	Via al Molino 6	6916 GRANCIA
Perret-Gentil, Rey et Associés SA	Jacques Bize	Rue de la Villette 34	1400 YVERDON 3
Perss, Ingénieurs conseils SA	René Crisinel	Rue de l'Industrie 8	1020 RENENS
Pétignat bureau d'ingénieurs	Jean Pétignat	Rue de la Paix 11	1820 MONTREUX
Pilatus Aircraft Ltd	Dr. P. Masefield		6370 STANS
Polysoft Consulting	Jean-Michel Blumenthal	3, rue des Buis	1202 GENEVE
RBA Réalini Bader et Associés SA	Jean-Paul Vuillemin	Av. Bois-de-la-Chapelle 15	1213 ONEX
Rudolf Keller & Partner	Rudolf Keller	Gartenstrasse 15	4132 MUTTENZ
SA Conrad Zschokke	Jules Wilhelm	Chemin Isaac Anken 8-10	1219 GENEVE-AIRE
SBB Kreis 2	Peter Hünkeler	Schweizerhof G6	6002 LUZERN
Schärlig Alain Prof.		19, chemin du Calabry	1233 BERNEX
Schindler & Schindler	Dr. Johannes Schindler	Albistrasse 103	8038 ZÜRICH
SEL- Service de l'électricité de la Ville de Lausanne	Bernard Krummen	Case postale 836	1000 LAUSANNE 9
SF Schweizer Flugzeuge und Systeme	Dr. Martin Monkewitz	Postfach 301	6032 EMMEN
Sieber Cassina + Partner AG	Dr. Nick Sieber	Langstrasse 149	8004 ZÜRICH
SIG- Services industriels de Genève	Bernard Bugnon	Case postale 2777	1211 GENEVE 2
Steigerpartner	Jürg P. Branschi	Klausstrasse 20	8034 ZURICH
Systems Consult	Casimir de Rham	Les Abeilles 7 Blvd d'Italie	MC-98000 MONACO
Theiler+Kalbermatter Bau AG	Peter Theiler	Obergütschrain 2	6003 LUZERN
Thyssen Transrapid System GmbH (TTS)	Dr. Lässer	Anzingestrasse 11	D-81671 MUNICH
Transrapid International GmbH	Manfred Wackers	Pascalstrasse 10	D-10587 BERLIN
Tradoc SA	Jean-Werner Signer	Rue Verdaine 4bis	1095 LUTRY

University of Dundee	Alan E. Vardy	Dunholm 512 Perth Road	GB- DUNDEE DD2 ILW
Urbaplan	Fred Wenger	Montchoisi 21	1006 LAUSANNE
von der Weid SA	Jean-Bernard Demont	11, avenue Moléson	1700 FRIBOURG
Wyss Roland	Dr. Roland Wyss.	Staubeggstrasse 23	8500 FRAUENFELD
ZS Trafitec SA	Michel Savary	2, rue des Grand-Portes	1213 ONEX-GENEVE

10.1.2 Instituts et laboratoires de recherches

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

Ecole	Institut ou laboratoire	Personne de contact	Adresse
EPFL	DE-LEME	Prof. Jufer Marcel	EL-Ecublens
EPFL	DE-LEI	Prof. Rufer Alfred	EL-Ecublens
EPFL	DGC-ITEP-LEM	Prof. Perret Francis-Luc	GC-Ecublens
EPFL	DA-IREC	Prof. Bassand Michel	Av.de l'Eglise Anglaise
EPFL	DA-IREC	Prof. Rumeley Pierre-Alain	14, Av.de l'Eglise Anglaise
EPFL	ESST	Dr Rossel Pierre	INR 112
EPFL	DGC-ISRF	Prof. Descoedres François	GC- Ecublens
EPFL	DGM-IMHEF	Prof. Deville Michel	ME-Ecublens
EPFL	DGM-IMHEF	Prof. Monkewitz Peter	ME-Ecublens
EPFL	DGC-IBAP	Prof. Badoux Marc	GC-Ecublens

Ecole polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ)

Ecole	Institut ou laboratoire	Personne de contact	Adresse
ETHZ	D-ERDW	Prof. Conrad Schindler	ETH- Hoenggerberg/HIL D21-3
ETHZ	D-ELEK	Prof. Hans Glavitsch	ETH-Zentrum./ETL G29
ETHZ	D-ELEK	Prof. Herbert Stemmller	ETH-Zentrum / ETL H22
ETHZ	D-ERDW, Geologie	Prof. Simon Löw	ETH- Hoenggerberg/HIL D 21.3
ETHZ	D-ARCH	Dr. Alfred Moser	ETH-Zentrum / LOW E2
ETHZ	D-BAUM	Prof. Gerhard Girmscheid	ETH-Hoenggerberg, HIL F 23.3
ETHZ	D-BAUM, IVT	Prof Heinrich Brändli	ETH Hoenggerberg, HIL F 33.3
ETHZ	D-UMNW	Prof. Thomas Baumgartner	Haldenbachstr. 44, HAD F 2

10.2 Liste des publications traitant de Swissmetro

10.2.1 Publications

- The 14th International Conference on Magnetically Levitated Systems – Maglev 95, 26-29 November 1995, Bremen, Germany
 - *High Speed Underground Transportation System Propulsion, Levitation and Guiding System.* EPFL, Prof. M. Jufer, Dr A. Cassat, N. Macabrey,
 - *Contactless Induction Energy Transmission System for High Speed Vehicles-Application to Swissmetro.* EPFL, N. Macabrey.
- AIDAA; XIII congresso nazionale, Roma 11-15 September 1995. *Studio aerodinamico di treni ad alta velocità in tunnel.* M. Mossi, V. Bourquin, M. Deville.
- AFTES, Bruxelles, décembre 1996. *Swissmetro - Transport interrégional à grande vitesse.* F. Descoedres, R. Mantilleri et Y. Trottet.
- AAAF – 33^{ème} colloque d'aérodynamique appliquée: 4.34-4.38, Poitiers, Mars 1997. *Simulation numérique de l'écoulement d'air autour d'un train évoluant à haute vitesse dans un tunnel.* M. Mossi, V. Bourquin, J.B. Vos et M. Deville.
- 9th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta, Italy, 6-8 October 1997. *Simulation of Compressible Flow Phenomena in the Swissmetro Tunnel Network.* EPFL, Alexander Rudolf.
- World Congress on Railway Research, Florence, November 1997. *The importance of aerodynamics on the design of high-speed transportation systems in tunnels: an illustration with the TGV and the Swissmetro.* V. Bourquin, M. Mossi, R. Grégoire and J.M. Réty.
- Safety in Road and Rail Tunnels, ITC, Nice 9-11 March 1998. *Development of a safety concept for Swissmetro an innovative transport idea for Switzerland.* EPFL, Y. Trottet & ILF, B. Kohl
- The 15th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives -Maglev 98, 15-18 April 1998, Mt Fuji, Yamanashi, Japan
 - *Swissmetro project.* EPFL, Prof. M. Jufer
 - *Electromechanical Aspects of the Swissmetro Pilot Track Geneva – Lausanne.* EPFL, Dr A. Cassat
 - *Power Supply for a High-Power Propulsion System with Short Stator Linear Motors.* ETHZ, M. Rosenmayr, A. Cassat, H. Glavitsch, H. Stemmler

10.2.2 Thèses défendues

- *L'ingénierie économique et financière des grands projets d'infrastructure, modèle appliqué au projet Swissmetro.* Pascal Gentinetta, Universität St. Gallen, 1997, ISBN 3-258-05725-7
- *Etude de réglage en position de la sustentation magnétique par attraction,* Michel Zayadine, (thèse n°1508)EPFL 1996.
- *Simulation of compressible flow in tunnel systems induced by trains traveling at high speed.* Alexander Rudolf (thèse n°1806), EPFL 1998.
- *Alimentation et guidage linéaires sans contact.* Nicolas Macabrey (thèse n°1840), EPFL 1998.

10.2.3 Thèses en préparation

- *Simulation of benchmark and industrial unsteady compressible turbulent fluid flows.* Michele Mossi, (thèse n°1958), EPFL 1999.
- *Analyse de risque lors de la conception de projets novateurs : application au Swissmetro.* David Vernez, (thèse n°1946), EPFL 1999.
- *Problems of reduced-scale aerodynamic testing of high-speed vehicles intunnels.* Vincent Bourquin, (thèse n°1973), EPFL 1999.
- *SWISSMETRO - Power Supply and Control for Linear Motor.* Marc Rosenmayr, ETHZ 1999.
- *SWISSMETRO-Die USM im Raum Lausanne-Genf: Relation zwischen Geologie, Geotechnik und dem mechanisierten Untertagebau.* David Estoppey, ETHZ 2000

10.2.4 Articles parus dans les revues spécialisées

- Die Volkswirtschaft, Februar 1994- *Swissmetro, eine Chance zur Neubelebung für die Schweizer Industrie.* Prof. M. Jufer, Prof. F-L. Perret
- La Vie économique, février 1994 – *Swissmetro, une chance de renouveau pour l'industrie suisse.* M. Jufer, Prof. F-L. Perret
- Les cahiers de l'électricité n°27, mars 1995 – *L'étude principale est engagée, l'heure de vérité en 1998.* Prof. M. Jufer
- Tunnel 8/1996 (ISSN0722-6241), *Stand des Swissmetro-Projektes, Level of Progress reached by the Swissmetro Project*
- Rail International, 11.96, SWISSMETRO - *Le défi des transports de la prochaine génération -The transport challenge of the next generation- Der Verkehr der nächsten Generation als Herausforderung.* Prof. M. Jufer
- Schweizer Ingenieur und Architekt 51/52, 18.12.97, *Swissmetro-Untertagebauten und Pilotstrecke Genf-Lausanne.* Marc Badoux et J. Wilhelm
- De Ingenieur N° 21 (ISSN 0020-1146), 10.12.97, *Swissmetro, ondergrondse trein met snelheid van 500 km/h, HSL is een boemeltje.* Prof. F-L. Perret
- Schweizer Baublatt n° 5 , 13.1.98, *Konzessionsgesuch für erste Swissmetro-Strecke eingereicht, Technologie unterirdischer Personenschneellbahn .*
- Vision-Science and Innovation in Switzerland, 1/98, Swissmetro, *Much more than just a tunnel vision.* M. Jufer
- Technique des transports en Suisse, 1998. *Swissmetro : les ouvrages souterrains du tronçon pilote Genève – Lausanne.* Dr. M. Badoux, J. Wilhelm
- Bulletin ASE/UCS 12/1998. *Swissmetro : tronçon pilote Genève-Lausanne, aspects électromécaniques.* A. Cassat, N. Macabrey, M. Jufer
- Bulletin ASE/UCS 12/1998. *Stratégies de réglage pour la sustentation et le guidage magnétique des véhicules de Swissmetro.* S. Colombi, A. Rufer, M. Zayadine, M. Girardin
- Industries et Techniques, nov. 1998 (ISSN01506617). *Un train sous vide sous la Suisse.* Th. Mahé
- Revue E n°1-2/98 (décembre 1998) (ISSN0770024. *Les trains d'avant-garde vus par les électriciens, Swissmetro le rôle de l'électrotechnique.* Prof. M. Jufer, A.Cassat

10.3 Abréviations

- DETEC : Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
- DFI : Département fédéral de l'intérieur
- DFE : Département fédéral de l'économie
- FNRS : Fonds national suisse de la recherche scientifique
- OFEN : Office fédéral de l'énergie
- PNR41 : Programme national de recherche 41 : Transports et environnement
- OFS : Office fédéral de la statistique
- OCFIM : Office central fédéral des imprimés et du matériel
- CTI : Commission pour la technologie et l'innovation
- SET : Service d'étude des transports
- SGZZ : St. Galler Zentrum für Zukunftsorschung
- EWE : Electrowatt Engineering
- CEPF : Conseil des écoles polytechniques fédérales
- HISTAR : High-speed Train Aerodynamic Rig
- STARLET : Schock Tube for the Aerodynamic Research on Long and Enhanced Tunnels
- NTB : Neutechnikum Buchs
- EPFL : Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
 - ESST : European Society Science & Technology
 - IBAP : Institut de béton armé et précontraint
 - IMHEF : Institut de machines hydrauliques et de mécaniques des fluides
 - ITEP : Institut des transports et de la planification
 - IREC : Institut de recherche sur l'environnement construit
 - ISRF : Institut des sols, roches et fondations
 - LEME : Laboratoire d'électromécanique et de machines électriques
 - LEI : Laboratoire d'électronique industrielle
- ETHZ : Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
 - BAUM : Bau und Umwelt
 - ELEK : Elektrotechnik
 - LEM : Leistungselektronik und Messtechnik
 - EEH : Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnologie
 - ERDW : Department of Earth Sciences
 - MAVT : Maschinenbau und Verfahrenstechnik
 - IBB : Institut für Bauplanung und Baubetrieb
 - IVT : Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau
 - UMNW: Umweltnaturwissenschaften

