

Verkehr und Umwelt
Wechselwirkungen Schweiz - Europa
Nationales Forschungsprogramm NFP 41

Transport et environnement
Interactions Suisse - Europe
Programme national de recherche PNR 41

Transport and Environment
Interactions Switzerland/Europe
National Research Programme NRP 41

Materialienband M29

Thomas Baumgartner
Olaf Tietje
Michael Spielmann
Rainer Bandel

Ökobilanz der Swissmetro

Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb (Teil 1)
und durch induzierte Aktivitäten (Teil 2)

Das Nationale Forschungsprogramm "Verkehr und Umwelt - Wechselwirkungen Schweiz- Europa" (NFP 41) will eine Denkfabrik für eine nachhaltige Verkehrspolitik werden. Es sucht Lösungsbeiträge aus allen Fachdisziplinen zu einer effizienten und nachhaltigen Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse. Das Forschungsprogramm wird im Auftrag des Bundesrates vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführt. Es wurde 1996 lanciert und wird voraussichtlich bis zum Jahr 2000 dauern.

Le programme national de recherche "transport et environnement - interactions Suisse - Europe" (PNR 41) contribuera à formuler des actions originales et spécifiques à la Suisse, aptes à préserver la compétitivité internationale et la dynamique économique et culturelle du pays, grâce à un système de transport efficace, rationnel et respectueux de l'environnement naturel et construit.

Le programme est exécuté par le Fonds national suisse de la recherche scientifique sur mandat du Conseil fédéral. Il a été lancé en 1996 et durera probablement jusqu'à l'an 2000.

The National Research Programme "Transport and Environment - Interactions Switzerland/Europe" (NRP 41) intends to become a think-tank for sustainable transport policy. It shall supply contributions from all relevant disciplines towards the efficient and sustainable satisfaction of mobility needs.

The Swiss Science Foundation was given the task by the Federal Council of carrying out this programme. It started in 1996 and will probably last until 2000.

Programmleitung Direction de programme Programme Management

F. Walter

c/o ECOPLAN, Thunstrasse 22, CH-3005 Bern

Tel: +41 - 31-356 61 61 Fax: +41 - 31 - 356 61 60

E-Mail walter@ecoplan.ch

Internet: <http://www.nfp41.ch>

Bezug aller Forschungsberichte: BBL/EDMZ, CH-3003 Bern, Fax +41 - 31 - 325 50 58

Verkehr und Umwelt
Wechselwirkungen Schweiz - Europa
Nationales Forschungsprogramm NFP 41

Transport et environnement
Interactions Suisse - Europe
Programme national de recherche PNR 41

Transport and Environment
Interactions Switzerland/Europe
National Research Programme NRP 41

Materialienband M29

Thomas Baumgartner
Olaf Tietje
Michael Spielmann
Rainer Bandel

Ökobilanz der Swissmetro

Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb (Teil 1)
und durch induzierte Aktivitäten (Teil 2)

Impressum

Autor: BAUMGARTNER Thomas, TIETJE Olaf, SPIELMANN Michael, BANDEL Rainer

Titel: Ökobilanz der Swissmetro

Untertitel: Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb (Teil 1) und durch induzierte Aktivitäten (Teil 2)

Reihe: Materialien des NFP 41 „Verkehr und Umwelt“, Materialienband M29

Ort, Jahr: Bern, 2000

Herausgeber: Programmleitung NFP 41 (Nationales Forschungsprogramm „Verkehr und Umwelt, Wechselwirkungen Schweiz-Europa“)

Bezug: BBL/EDMZ, CH-3003 Bern, www.admin.ch/edmoz
Fax +41 - 31 - 325 50 58, EDMZ-Bestellnummer: 801.678.d

Mitarbeit an diesem Bericht:

Autoren:

Teil 1: Thomas Baumgartner, Olaf Tietje, Michael Spielmann, Rainer Bandel

Teil 2: Olaf Tietje, Thomas Baumgartner, Michael Spielmann, Rainer Bandel

Projektbearbeitung: Rainer Bandel, Dr. Thomas Baumgartner, Dr. Olaf Tietje

Redaktion: Dr. Olaf Tietje, Dr. Thomas Baumgartner, Michael Spielmann

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich; Umweltnatur- und Umweltsozial-

wissenschaften (UNS); ETH Zentrum HAD, Haldenbachstr. 44; CH-8092 Zürich

Der Bericht ist im Rahmen des Projektes F3 entstanden, dessen Schlussbericht wie folgt erhältlich ist:

Rossel Pierre, Bosset Frédéric, Glassey Olivier, Mantilleri Roland 1999: Les enjeux des transports à grande vitesse; Des méthodes pour l'évaluation des innovations technologiques, l'exemple de Swissmetro, EDMZ-Nr: 801.626.f

Begleitgruppe:

Leitung: Felix Walter, Programmleiter

Hans-Rudolf Isliker, Bundesamt für Verkehr

Verantwortliche Experten: Dr. Fulvio

Hans-Rudolf Käser,

Caccia, Prof. Dr. Bruno Böhlen

ADtranz/ABB/Daimler-Benz

Weitere Mitglieder:

Nicolas Macabrey, Swissmetro/GESTE

Jean-Charles Aquirone, Bundesamt für

Peter Marti, Metron

Raumentwicklung

Felix Reutimann, Bundesamt für

Dr. Thomas Baumgartner, ETHZ, UNS

Umwelt, Wald und Landschaft

Dr. Sergio Bellucci, Schweizerischer

Christian Röthlisberger, Bundesamt für

Wissenschafts- und Technologierat/TA

Verkehr

Pietro Cattaneo, Bundesamt für

Forschungsteams des Moduls F

Raumentwicklung

(Projekte: Abay, Jufer, Rossel, Brändli,

Hugo Eicher, SBB AG

Bassand, Ernst)

Peter Güller, Synergo

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit des Nationalfonds, der Expertengruppe, der Programmleitung oder der Begleitgruppe übereinstimmen muss. Abdruck mit ausdrücklicher Quellenangabe erwünscht.

Kommerzielle Nutzung vorbehalten. Belegexemplar erbeten an die Programmleitung.

Inhaltsübersicht

Kurzfassung
Résumé
Summary

Teil 1: Ökobilanz der Swissmetro - Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Zieldefinition und Systemabgrenzung
3. Die Aufdatierung der direkten Umweltauswirkungen von Swissmetro mit den Daten des Konzessionsgesuchs
4. Schlussfolgerung: Der Energiebedarf pro Passagierkilometer

Literaturverzeichnis

Anhang A: Quellenangaben der Eckdaten
Anhang B: Eingabedaten für die Aufdatierung
Anhang C: Einheitsmodule und Umweltauswirkungen
Anhang D: Aufdatierte Wirkungsbilanzen

Teil 2: Ökobilanz der Swissmetro - Umweltwirkungen durch induzierte Aktivitäten

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Szenarien für die Mobilität
3. Operationalisierung der Szenarien
4. Ergebnisse der Szenarien
5. Ökobilanz der durch die Swissmetro induzierten Aktivitäten
6. Diskussion

Literaturverzeichnis

Anhang A (zu Kapitel 3)
Anhang B (zu Kapitel 4)
Anhang C (zu Kapitel 5)

Résumé

Les projets et leur contexte

Ce dossier rassemble deux écobilans de Swissmetro qui tentent d'apporter des réponses à deux questions différentes mais néanmoins liées, à savoir : quels sont les impacts sur l'environnement (a) de la construction et de l'exploitation et (b) des activités induites par Swissmetro.

L'écobilan des effets directs sur l'environnement, qui constitue la première partie de ce dossier, a été motivée par le constat dressé par l'EIE selon lequel Swissmetro apparaissait comme le moyen de transport le plus respectueux de l'environnement et capable de satisfaire l'accroissement de la mobilité à long terme en Suisse – c'est-à-dire un doublement au cours des 20 prochaines années. La question était de savoir si, en choisissant pour le système étudié et pour les effets sur l'environnement considérés des définitions différentes de celles retenues par l'EIE, les écobilans conduiraient ou non aux mêmes résultats.

Cette étude a été menée par le groupe *Energie-Stoffe-Umwelt* dans le cadre du projet Swissmetro de l'ETH. Les conclusions de l'écobilan de 1997 "Ökobilanz Swissmetro - LCA für ökologische Optimierung & Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln (mit Vertiefung Untertagebau)" reposent sur la définition du système datant de 1996. Mais la demande de concession pour la ligne-pilote Genève-Lausanne utilisait d'autres spécifications, dictées en partie par les enseignements de l'étude de 1997. Par conséquent, une actualisation de l'écobilan des impacts directs avec les spécifications propres à la demande de concession par le professorat *Sciences naturelles & sociales de l'environnement (UNS)* a été rendue possible par le PNR 41. La première partie de ce dossier présente les résultats de cette actualisation.

Cette comptabilité environnementale de Swissmetro se situe à la frontière entre la comptabilité d'un objet (produit ou service) et la comptabilité d'une technologie (nouveau moyen de transport). On a donc supposé que le contexte général de l'étude ne changeait pas. En conséquence, le professorat *UNS* a conçu un second écobilan prenant en compte tous les changements de société (aussi bien ceux causer par Swissmetro que ceux généralement admis comme allant se réaliser). Cette étude ne devait considérer que le développement du trafic et la construction de bâtiments en ce qui concerne les effets cause par Swissmetro. Cet écobilan des effets induits a également été financé par le projet Swissmetro de l'ETH et par le PNR 41.

Le premier bilan du Swissmetro couvre la ligne-pilote Genève-Lausanne, et le second tout le réseau Swissmetro (y compris les liaisons vers Coire et Sion). Ces deux études se différencient en plus par des hypothèses concernant la dimension et la construction de tunnels, la valorisation des matériaux d'excavation et la technique du Swissmetro. Par conséquent, ce dossier se présente en deux parties distinctes, bien que très liées.

Ecobilan du Swissmetro – Les impacts de la construction et du fonctionnement sur l’environnement (1^{ière} partie)

Objectifs, procédés et hypothèses

La comptabilité des impacts de la construction et du fonctionnement sur l’environnement avait deux objectifs. Il s’agissait d’une part d’identifier les possibilités d’optimisation écologique de Swissmetro (écodesign) et d’autre part de poser les jalons d’une comparaison de Swissmetro avec les autres moyens de transport (optimisation écologique pour satisfaire une augmentation attendue de la mobilité).

A cette fin, les impacts sur l’environnement ont été déterminés avec l’aide de la méthode du *Life Cycle Assessments (LCA)* qui utilise comme indicateur principal pour l’évaluation des deux problèmes le besoin en ressources énergétiques non-renouvelables. Les impacts sur l’environnement ont ensuite été classés selon la méthode CML. Les impacts des autres moyens de transport ont été déterminés à l’aide des données contenues dans “*Ökoinventar Transporte*”. Pour l’optimisation écologique, le *kilomètre-véhicule (kmv)* a été retenu comme unité fonctionnelle car la consommation en énergie des véhicules est quasiment indépendante du nombre de passagers à bord. L’unité fonctionnelle pour la comparaison avec les autres moyens de transport est le *kilomètre-passager (kmp)* puisqu’ici le taux de remplissage, et donc le nombre de passagers transportés, est déterminant pour le résultat.

La structure de comptabilité de Swissmetro a été choisie en fonction des besoins et des problèmes d’optimisation écologique ainsi qu’en fonction de la comparaison des modes de transport. Les spécifications de la demande de concession pour la ligne-pilote Genève-Lausanne ont été retenues comme données de référence pour la comptabilité.

Résultats

Le tableau 1 compare les besoins en énergie des différents éléments du système tels qu’ils ressortent du premier écobilan et de sa version actualisée. On table ici sur une durée d’utilisation du système de 100 ans. L’évidente réduction des besoins totales en énergie de presque 20% se compose d’une réduction encore plus importante des besoins en énergie pour l’exploitation des infrastructures et de quelques petites hausses pour les autres éléments du système.

L’importante réduction des besoins en énergie pour l’exploitation des infrastructures est due à l’adoption d’ascenseurs avec récupération d’énergie. Cette adoption est en partie le fruit de l’importante consommation d’électricité de ces infrastructures constatée lors du premier écobilan.

Résumé

Activités (Processes)	Ecobilan actualisé		Ecobilan 1997		Différence
	TJ/a (2)	% (3)	TJ/a (4)	% (5)	
Construction des infrastructures souterraines	71	9	70	7	0.3
Valorisation des matériaux d'excavation	31	4	25	2.6	6
Equipement mécanique et électromécanique dans les tunnels	52	6.6	52	5.3	0.2
Production et maintenance des véhicules	11	1.4	11	1.1	–
Exploitation de l'infrastructure	102	13	291	30	-189
Fonctionnement (Véhicules)	523	66	522	54	1
<i>Système (Total)</i>	<i>789</i>	<i>100</i>	<i>971</i>	<i>100</i>	<i>-182</i>

Tableau 5 Le besoin en ressources énergétiques non-renouvelables pour la ligne pilote de Swissmetro Genève-Lausanne dans l'écobilan actualisé (2000) en comparaison avec l'écobilan de 1997 (électricité UCPTÉ, utilisation 100 ans).

Bien que les besoins en énergie pour l'exploitation des rames ne soient pas modifiés dans l'absolu, leur part relative passe de 54 à 66%. Ainsi, la valeur des besoins énergétiques par kmp (qui est généralement l'unité employée pour évaluer la performance des moyens de transport) dépend d'avantage des paramètres du tunnel (diamètre, rapport de blocage, aérodynamique).

Pour le scénario à 29'400 passagers par jour (au total dans les deux directions), correspondant à un taux de remplissage de 61%, le besoin en énergie s'avère être de 1.29 MJ/kmp. Dans l'écobilan de 1997, pour une utilisation à peu près comparable de 54%, le besoin était de 1.81 MJ/kmp. Or cette amélioration du rendement énergétique de près de 28% correspondant bien, en gros, à une réduction d'environ 20% des besoins en énergie du système (voir Tableau 1) et à une augmentation de la fréquentation de 14% à 29'400 passagers par jour, l'hypothèse favorise aujourd'hui.

Ainsi, les besoins en énergie du Swissmetro s'avèrent être inférieurs à ceux des trains rapides des CFF (électricité UCPTÉ-Mix et taux de remplissage de 31%) qui sont de 1,40 MJ/kmp selon *l'Ökoinventar Transporte* et à égalité avec ceux de l'ICE qui sont de 1,26 MJ/kmp pour un taux de remplissage de 55%. Quoi qu'il en soit, par rapport à la voiture (3 MJ/kmp et taux de remplissage de 34%), l'avantage est incontestablement du côté de Swissmetro.

Cette comparaison doit néanmoins être interprétée de manière d'autant plus prudente que le matériel ferroviaire moderne des CFF a sûrement déjà atteint un niveau de consommation d'énergie en exploitation significativement inférieur à celui retenu ici. Dans les 50 prochaines années, on peut s'attendre à des réductions encore plus importantes. De plus, les CFF atteignent sûrement des taux de remplissage supérieurs à 31% sur leurs lignes principales.

Ecobilan du Swissmetro – Impacts sur l'environnement des activités induites (2^{ème} partie)

Objectif et hypothèses

Le but de cette étude était d'évaluer, grâce à un écobilan, les conséquences d'une augmentation de la vitesse moyenne de la mobilité due au Swissmetro en termes de trafic supplémentaire et de construction de bâtiments. L'étude consistait à :

- établir un écobilan "prototype" d'un système aux répercussions conséquentes.
- contribuer à l'évaluation des conditions générales déterminant les impacts futurs sur l'environnement de la mobilité.
- évaluer les impacts sur l'environnement de Swissmetro de telle sorte que les effets induits de la mobilité et de l'utilisation de l'espace soient pris en compte.

Bien qu'il soit difficile de déterminer qualitativement et quantitativement les activités induites, le rapport devait comparer l'étendue de leur impact sur l'environnement par rapport aux impacts de la construction et de l'exploitation de Swissmetro. Notre hypothèse de base est que la construction et l'exploitation de Swissmetro causent moins de dégâts à l'environnement que les activités qu'il induit.

Le point de départ est la constatation selon laquelle chaque personne passe en moyenne 85 minutes par jour en déplacement. Une augmentation de la vitesse pour une partie de cette mobilité devrait donc être utilisée pour avaler davantage de kilomètres, en supposant que ce budget temps de 85 minutes restera constant. Ces kilomètres additionnels seront utilisés, par exemple, pour atteindre de nouvelles zones d'habitation à la campagne.

Pour l'analyse, on a retenu l'ensemble du réseau Swissmetro. Le nombre et la situation géographique des gares (Genève, Lausanne, Berne, Lucerne, Zurich, Saint Gall, Bâle, Bellinzona, Coire, Sion) correspondent au concept connu par le public comme variante maximale au moment de la modélisation.

La demande de concession sert de base pour les détails techniques de Swissmetro (comme par exemple, pour la vitesse de croisière).

Les procédés

Comme actuellement les orientations majeures de la mobilité ne sont pas prévisibles de manière suffisamment précise, quatre scénarios différents ont été élaborés. Cette imprécision dans la prévision résulte d'une part du fait que Swissmetro n'entrera pas en service avant 20 ou 30 ans, et d'autre part du fait que les conséquences induites d'un nouveau système de transport ne se manifestent pleinement qu'un certain temps après sa mise en service. Chaque scénario comprend deux variantes, selon que l'on prend en compte ou non la construction et l'exploitation de Swissmetro. Les impacts sur l'environnement dus à la construction et à l'exploitation de Swissmetro se déduisent par la différence des deux variantes. Le Swissmetro sera donc uniquement responsable des impacts sur l'environnement qui viennent s'ajouter aux

impacts sans le Swissmetro. Ce mode de comptabilité implique un procédé méthodique nouveau dont on discute actuellement en tant qu'écobilan marginal.

L'analyse est menée pour les deux horizons de planification suivants:

- date d'entrée en service du réseau entier (prévue en 2020).
- date d'apparition des effets induits (2050, ce qui correspond à peu près à la moitié de la durée de vie prévue du système).

Les deux horizons (2020 et 2050) sont modélisés à partir de la situation actuelle, indépendamment les uns des autres. Ainsi, 2050 n'est pas une prolongation basée sur les résultats de 2020.

Pour l'élaboration des scénarios, on a eu recours à une approche proposée par Rico Maggi. Selon Rico Maggi, le développement du trafic est influencé par les cinq facteurs suivants: conscience écologique, réglementation de l'état, financement public, software et hardware pour le trafic. Les quatre scénarios développer pour l'analyse de Swissmetro se distinguent surtout par la présence ou non d'une conscience écologique dans la population et par le réglementation et le financement des transports.

Le scénario "Bekannt" («connu») correspond aux tendances et aux axes de planification qui se dessinent aujourd'hui. Dans le scénario "Grün" («vert»), la conscience écologique crée les conditions pour un comportement respectueux de l'environnement mais ne peut pas l'imposer. Dans le scénario "Reguliert" («régulé»), le développement des agglomérations et de leurs systèmes de transport est sévèrement réglementé. Enfin, dans le scénario "Umfassend" («global»), la conscience écologique et une forte réglementation de l'état sont toutes deux présentes.

Le développement de la mobilité selon ces quatre scénarios a été déterminé avec l'aide d'un modèle propre à UNS, relativement grossier, sur la base d'un système d'informations géographiques (SIG). Les passages d'un moyen de transport à un autre sont particulièrement mal localisés. On a cependant essayé de compenser ce problème en adoptant des vitesses moyennes relativement basses de telle sorte que les prévisions actuels du développement du trafic en Suisse soient reproduits et que les parts relatives de chaque mode de transport soient respectées.

Les écobilans des différents moyens de transport (unité fonctionnelle: *kmp*), des constructions nécessaires (unité fonctionnelle: *mètre carré de surface brute*) et des sols utilisés (unité fonctionnelle: *mètre carré de surface utilisée*) ont été menés avec l'aide du logiciel ECOINVENT.

Résultats

Parmi les activités induites par Swissmetro, seuls les impacts de la mobilité et de la construction (aménagement de surfaces brutes) sur l'environnement seront étudiées. L'augmentation induite des zones d'habitation actuelles n'a pas été comptabilisée en terme de surface utilisée, mais elle entre en compte dans l'évaluation de la mobilité dans la mesure où elle augmente les distances de voyage.

Mobilité

L'estimation de la mobilité totale atteinte avec Swissmetro en 2050 varie selon les scénarios entre 61 ("Umfassend" / «global») et 133 ("Bekannt" / «connu») milliards de kilomètres-passager. Si le taux d'accroissement de la mobilité pour les 20 premières années du troisième millénaire avait été maintenu jusqu'à 2050, la mobilité additionnelle calculée pour 2050 serait de plus de 50 milliards de kmp. Mais même avec ces estimations plus basses, on constate une augmentation de la mobilité de 40% par rapport à aujourd'hui.

En 2050, la mobilité totale est encore supérieure à celle atteinte de nos jours dans les scénarios "Grün" («vert») et "Reguliert" («régulé»), même si l'écart est infime dans le second cas. Dans le scénario "Umfassend" («global») par contre, la mobilité est clairement inférieure au niveau actuel, et ce de 37%.

Les modifications dans l'utilisation des différents moyens de transport induites par le Swissmetro à l'horizon 2050 selon les scénarios sont présentées dans Figure 1. Le Swissmetro se substitue en grande partie au trafic ferroviaire traditionnel et provoque une augmentation du trafic automobile. Celui-ci n'est réduit que dans le scénario "Reguliert" («régulé») et cette baisse est renforcée par la présence de Swissmetro.

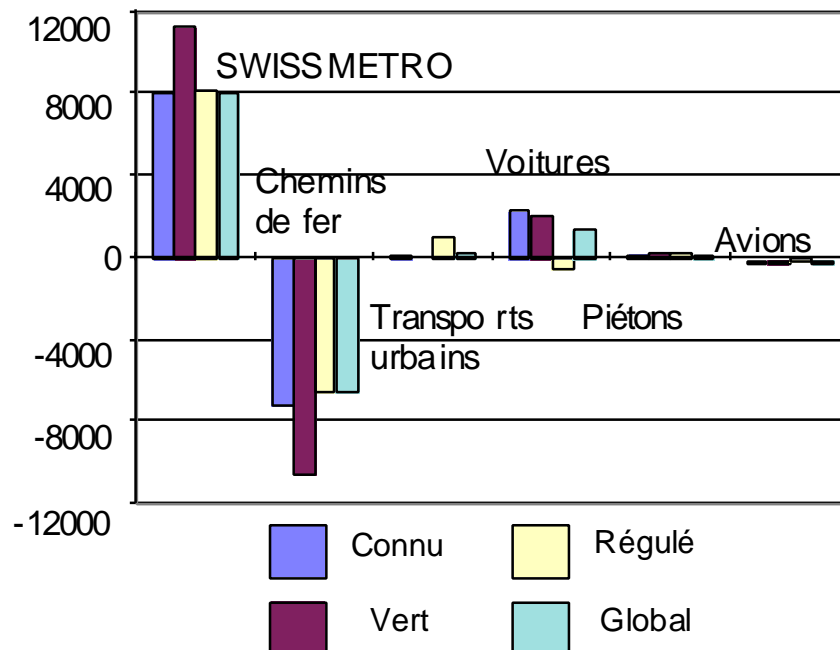


Figure 3 Changements dans les performances des différents moyens de transports; comparaison avec et sans Swissmetro; horizon de planification 2050, millions de kilomètres-passager en.

En conclusion, le Swissmetro générera, dans la plupart des circonstances, d'avantage de trafic grâce à sa vitesse et au gain de temps qu'il permet. Que ce résultat n'est pas seulement la conséquence d'une politique de densification ou non des zones habitées est démontré avec le scénario "Grün" / «vert». Il est basé sur l'hypothèse d'une politique prononcée de densification des agglomérations mais conduit au deuxième surplus le plus petit alors que le scénario "Umfassend" /

«global» génère le deuxième plus important surplus de trafic bien qu'une politique similaire soit menée.

D'autre part, toute substitution de la fréquentation d'un moyen de transport par un autre n'est pas forcément positive pour l'environnement: cela dépend de l'importance des impacts environnementaux liés à ces moyens de transport (voir plus bas).

Surfaces brutes d'habitations

Quel que soit le scénario, le Swissmetro conduit toujours à un besoin supplémentaire en surfaces brutes (cf. tableau 2). Ce nouveau besoin est nettement plus important en 2050 qu'en 2020. Ainsi, dans le scénario "Bekannt" («connu»), il est plus que quatre fois supérieur. Dans les autres scénarios, il est deux fois plus important en 2050 qu'en 2020. Cependant, pour les scénarios "Reguliert" («régulé») et "Umfassend" («global»), ce besoin en surfaces brutes d'ici 2050 est satisfait en grande partie à l'intérieur des zones d'habitation actuelles grâce à une politique de densification menée par les autorités.

		Bekannt (Connu)	Grün (Vert)	Reguliert (Régulé)	Umfassend (Global)
Surfaces brutes d'habitation -					
Besoins pour					
Habiter	Mio. m ²	69	37	9	15
Travailler	Mio. m ²	40	20	5	7
Acheter	Mio. m ²	8	4	1	2
Autres	Mio. m ²	68	37	9	14
Total	Mio. m²	185	97	23	38
% satisfait en dehors des zones d'habitation actuelles		114%	18%	0%	2%

Tableau 6 Besoin de surface brutes d'habitation pour des activités diverses; horizon de planification 2050; les chiffres représentés pour chaque scénario la différence entre le scénario avec et sans Swissmetro.

L'écobilan des activités induites

L'écobilan des activités induites par le Swissmetro se base sur deux éléments:

Le premier élément est l'estimation de l'étendue des activités induites. Pour cela, on a imaginé quatre scénarios sans faire la moindre hypothèse quant à la probabilité qu'ils se vérifient, donc sans faire de prévision quant aux effets réels sur l'environnement induits par Swissmetro. Seuls sont indiqués les impacts sur l'environnement induits par Swissmetro et avec lesquels il faudra compter au cas où l'un des scénarios élaborés venait à se concrétiser.

Le deuxième élément est l'écobilan des activités induites dites «construire» et «transporter» à l'aide duquel les impacts sur l'environnement par mètre carré de surface utile (surface brute) et par kilomètre-passager (kmp) sont déterminés. Pour cette comptabilité, il existe plusieurs variantes, selon que l'on utilise des matériaux

actuels ordinaires ou des matériaux alternatifs et selon la durée de vie retenue pour Swissmetro (30 ou 100 ans). Les impacts sur l'environnement sont évalués grâce à l'EcoIndicator95+, en fonction de points d'impact sur l'environnement (UBP) et selon le besoin en ressources énergétiques non renouvelables.

Dans le scénario le plus respectueux de l'environnement, le scénario "Reguliert" («régulé»), les effets des activités induites sur l'environnement sont quatre fois moins importants que dans l'autre scénario extrême (le scénario "Bekannt" / «connu»).

Les incertitudes quant aux impacts sur l'environnement que l'on a calculés apparaissent quand on observe les différentes variantes de chaque scénario. Ainsi, l'adoption d'une durée de vie de 30 au lieu d'une durée de vie de 100 ans résulte, dans le cas du scénario "Reguliert" («régulé»), en un doublement des impacts sur l'environnement (mesurés avec l'EcoIndicator95+). Une différence un peu moins importante provient du choix des matériaux considérés (matériaux existants ou futurs). Enfin, l'écart le plus important entre la variante la plus optimiste et la plus pessimiste – en ce qui concerne l'impact sur l'environnement – d'un même scénario est de 60% (pour le scénario "Bekannt" / «connu»), c'est-à-dire, dans l'absolu, plus que la valeur la plus importante obtenue pour le scénario "Reguliert" («régulé»). Les différences entre les variantes d'un même scénario sont donc relativement grandes, ce qui n'empêche pas chaque scénario d'avoir son propre ordre de grandeur des impacts sur l'environnement.

Les conditions régissant le développement de la mobilité, et qui ont été opérationnalisées à l'aide des scénarios, se révèlent ainsi d'une grande importance. Nous pouvons en conclure que les effets environnementaux de la mobilité peuvent être influencés par l'adoption de politiques et de réglementations appropriées. L'identification des conditions les plus efficaces (ou favorables), parmi celles utilisées pour estimer les activités induites, nécessiterait une analyse de sensibilité approfondie.

A l'horizon 2050, les impacts sur l'environnement du trafic induit par Swissmetro reflètent à peu près les changements de performances des différents moyens de transport (voir le chapitre *Mobilité* ci-dessus). Swissmetro remplace dans la plupart des cas le transport par le rail traditionnel. En conséquence, l'impact sur l'environnement du rail se voit réduit. Les impacts sur l'environnement du transport urbain sont minimes, d'une part parce que l'impact de ces moyens de transport est faible, et, d'autre part parce que Swissmetro n'induit pas beaucoup de trafic additionnel pour ce mode de transport. Ce qui est important à noter, c'est que Swissmetro induit un plus d'impacts sur l'environnement à travers l'augmentation du transport en voiture, sauf dans le scénario "Reguliert" («régulé»).

Les impacts sur l'environnement de l'activité "Construction" induite par Swissmetro correspondent aussi à l'étendu de ces diverses activités. Dans les scénarios "Reguliert" («régulé») et "Umfassend" («global»), la construction de bâtiments est sévèrement contrôlée à l'intérieur et à l'extérieur des zones d'habitations actuelles. En conséquence, les impacts sur l'environnement sont limités. Dans le scénario "Grün" («vert») la construction induite est concentrée dans les zones urbanisées d'aujourd'hui. Les impacts les plus importants correspondent au scénario "Bekannt"

(«connu»). L'activité de construction est la plus grande dans ce scénario même si l'activité à l'intérieure des zones urbanisées est très limitée.

Discussions des résultats

La détermination des effets induits par Swissmetro nécessite un modèle de simulation et d'évaluation approprié et adapté à l'analyse à long terme. Nous avons construit d'une façon pragmatique un modèle relativement simple mais adapté à la qualité plutôt robuste de nos informations sur le futur. Par exemple, le modèle fait abstraction de tous les facteurs économiques. Mais cette simplification nous a permis de modéliser avec quatre scénarios hypothétiques les conditions générales déterminant les impacts sur l'environnement de la mobilité future afin de calculer les conséquences significatives de Swissmetro d'une façon certaine et d'en faire leur écobilan d'une manière prototypique.

Les impacts écologiques de Swissmetro ont été calculés avec l'écobilan de Swissmetro actualisé avec les définitions de la demande de concession Swissmetro (1ère partie). Ces définitions sont propres à la ligne pilote Genève-Lausanne et ne peuvent donc être appliquées à la totalité des lignes sans considérations ultérieures concernant leur validité. La comptabilisation des activités induites par Swissmetro (2ième partie) inclut les impacts directs des autres moyens de transport et, en conséquence, également ceux de Swissmetro. Ceux-ci ont été ajustés pour refléter les conditions qui définissent le système entier de Swissmetro.

L'approche choisie pour le développement des scénarios (approche selon Maggi) impressionne par sa simplicité puisqu'elle n'utilise que deux facteurs d'influence, la "réglementation et le financement par l'état" et la "conscience écologique". L'opérationnalisation de ces deux facteurs, c'est-à-dire, leurs traductions en chiffres quantifiés pour le modèle de comptabilité des unités fonctionnelles, laisse beaucoup de place à l'imagination et à l'interprétation. Les résultats montrent que le modèle, les données et les résultats des scénarios forment un tout consistant.

Mais ces scénarios ne sont que des images du futur. Ils ne constituent pas de prévisions. Seul les aspects considérés comme prioritaires pour la détermination des impacts écologiques ont été modélisés. Les images du futur développées ici nous permettent d'évaluer plus précisément des relations complexes qui existent entre les conditions déterminant la mobilité future d'une part, et les hypothèses nécessairement provisoires relatives au développement du pays et du système de transport souhaité et son évaluation écologique, de autre part. Le lecteur de ce rapport est prié d'analyser lui-même ces scénarios et de les apprécier intuitivement. S'il est capable de déduire pour lui-même les actions qui sont nécessaires aujourd'hui afin d'obtenir le futur qu'il souhaite, alors nous aurons atteint notre but.

Ce modèle s'appuie sur certaines d'hypothèses de base qui sont:

- les spécifications techniques de Swissmetro, qui sont sujettes à de grandes et fréquentes modifications.
- une durée moyenne de mobilité de 85 minutes par habitant et par jour que l'on considère comme fixe dans notre modélisation.
- une mobilité internationale qui reste inchangée dans notre modèle, quelles que soient les circonstances couvertes par nos scénarios.

Les différents scénarios ne considèrent que la mobilité et l'activité de «construction» comme activités induites, ce qui ne représente qu'une partie de toutes les activités induites imaginables. L'extension de l'analyse à la détermination des impacts environnementaux dus à l'utilisation des sols est déjà envisagée mais pas encore entreprise. Même la mobilité induite peut être changée par un nombre important de facteurs, comme par exemple, de nouveaux comportements (des visiteurs bernois à l'Opéra de Zurich) ou des investissements de l'état pour augmenter l'attractivité des transports publics. Tous ces facteurs restent des hypothèses spéculatives et ont été laissés de côté dans notre modèle.

Un développement futur dans le sens d'un accroissement ou d'une diminution des problèmes écologiques peut nécessiter des changements quant aux facteurs d'impacts et d'évaluation utilisés dans les écobilans. La conséquence serait une modification (augmentation ou diminution) de la pondération des impacts écologiques du Swissmetro par rapport à ceux des moyens de transports de surface. En l'absence de prévisions de ce types, nous avons procédé à la comptabilisation des activités induites et de leurs impacts écologiques sur la base d'une situation inchangée dans le futur . Nous avons essayé de tenir compte de développements possibles dans les matériaux et de leurs techniques de production en introduisant des facteurs de correction. Mais tous ces matériaux et processus ne sont pas représentés dans les inventaires écologiques actuelles. Il est donc difficile de dire si ces changements pourraient être profitables ou néfastes pour l'environnement. Cette question devrait être le sujet d'une analyse de sensibilité ultérieure.

Pour comptabiliser les impacts écologiques des activités induites, nous avons eu recours aux unités fonctionnelles normalement utilisées pour les écobilans, c'est-à-dire, les kilomètres-passager (kmp) et la surface brute bâtie (mètres carré). Mais un voyage avec Swissmetro n'est pas nécessairement équivalent à un voyage en train rapide des CFF. Swissmetro peut avoir un avantage à cause de sa vitesse supérieure et du gain de temps que cela implique. Mais il est aussi possible qu'il y ait des gens qui se plaignent de la perte de vue engendrée par ce mode de transport souterrain. L'introduction de dimensions de qualité autres que la distance parcourue dans l'unité fonctionnelle pourrait bien modifier la conclusion selon laquelle Swissmetro engendrera une augmentation des impacts écologiques (par unité fonctionnelle) du système de transport dans sa globalité.

Les conclusions

Les résultats présentés ici nous amènent aux conclusions suivantes:

1. Le développement durable dans le secteur des transports ne peut être atteint avec l'introduction de nouveaux moyens de transport plus écologiques. Les impacts écologiques des activités induites (extension des zones urbanisées et une activité de construction plus grande) peuvent représenter une part significatif des impacts totaux.
2. La comptabilisation des impacts écologiques des activités induites par Swissmetro nous montre des impacts grandissants pour chacun des quatre scénarios analysés. L'impact écologique moindre de Swissmetro n'arrive pas à compenser les impacts écologiques dus à la mobilité accrue et engendrée par Swissmetro.
3. Le besoin en ressources énergétiques non-renouvelables du transport des personnes augmentent dans tous les scénarios. Ici aussi la consommation d'énergie moindre de Swissmetro n'arrive pas à compenser le besoin accru d'énergie dû au trafic supplémentaire.
4. L'éco-efficience de Swissmetro est meilleure que celles des autres moyens de transport si l'hypothèse sur l'utilisation massive de Swissmetro s'avère correcte. Mais il est fort probable que les autres moyens de transports ont aussi un potentiel d'amélioration.
5. Les impacts écologiques des activités induites par Swissmetro ne sont pas seulement dus à la génération d'un trafic supplémentaire. L'activité supplémentaire de construction engendré par Swissmetro contribue un part significatif à ces impacts écologiques, de 10% jusqu'à 35% dans les quatre scénarios.
6. Notre modèle ne permet pas de déterminer si l'utilisation de nouveaux matériaux dans pour le bâti peut contribuer à une réduction significative des impacts écologiques dus aux activités induites de construction. Nous avons essayé de tenir compte de ces développements en utilisant un facteur de correction malheureusement assez grossier et qui se reproduit directement dans le résultat.
7. Le but principal d'un futur moyen de transport "durable" doit être d'atteindre une longévité accru. L'hypothèse d'une vie assez courte de 30 ans pour Swissmetro augmente ses impacts écologiques d'entre 40% et 60%.

Schweizerischer Nationalfonds, Forschungsrat Abteilung IV
Fonds national suisse, Conseil de la recherche, Division IV
Swiss National Science Foundation, Research Council, Division IV

Präsident: Prof. Hans Schmid, Hochschule St. Gallen
Rapporteur PNR 41: Prof. André Musy, EPF Lausanne

Wissenschaftliche/-r Mitarbeiter/-in im Sekretariat der Abteilung IV
Collaboratrice/-teur scientifique au secrétariat de la Division IV
Scientific secretary of Division IV

Daniela Jost (1996-1997)
Dr. Stefan Husi (ab 1998)

ExpertInnengruppe Groupe d'experts Group of Experts

Président: Prof. Francis-Luc Perret, EPF Lausanne
Collaborateur du président: Tristan Chevroulet
Prof. Bruno Böhlen, Bern
Dr. Fulvio Caccia, Nationalrat (bis 1998), Bellinzona
Prof. Michel Frybourg, Groupe ENOES, Paris
Nikolaus Hilty, BUWAL
Ellen Meyrat-Schlee, Büro Z, Zürich
Dr. Jörg Oetterli, Dienst für Gesamtverkehrsfragen EVED (bis 1998), Bern
Prof. Werner Rothengatter, IWW Universität Karlsruhe
Prof. Paolo Urio, Université de Genève
Prof. Carl Hidber, IVT ETH Zürich (1996/97)
Prof. Ulrich Klöti, Universität Zürich (1997)
Prof. Denis Maillat, Université de Neuchâtel (1996/97)

Programmleitung Direction de programme Programme Management
Felix Walter, ECOPLAN, Bern