

# Le Trolleybus à Schaffhouse

## Une analyse complémentaire au rapport Infrac

### Contenu

<b>1. Introduction</b>	<b>2</b>
1.1 Contexte local	2
1.2 Contexte global	2
<b>2. Monde</b>	<b>4</b>
2.1 Energie	4
2.2 Nouveaux réseaux	5
<b>3. Suisse</b>	<b>6</b>
3.1 Enjeux principaux	6
Passés	6
Actuels	6
Futurs	7
3.2 Evolution du prix des carburants	7
3.3 Nouveaux trolleybus entre 1970-2010	8
3.4 Les VMCV, un cas semblable aux VBSH	9
3.5 Extensions de réseau	10
<b>4. Schaffhouse</b>	<b>11</b>
4.1 Variantes	11
4.2 Extensions de réseau	11
<b>5. Analyse des variantes</b>	<b>12</b>
5.1 Point clef	12
5.2 Points ouverts	12
5.3 Comparaison économique	13
5.4 Mesures de compensation	14
5.5 Synthèse	15
<b>6. Conclusions</b>	<b>16</b>

## 1. Introduction

### 1.1 Contexte local

Les VBSH se posent la question de l'opportunité de poursuivre l'exploitation de trolleybus sur la ligne 1 de leur réseau. Une étude a pour cela été commandée au bureau d'étude Infrac<sup>1</sup>. Le rapport délivre un préavis défavorable à la poursuite de l'exploitation du trolleybus en raison des coûts engendrés.

Il convient de relever que trois hypothèses implicites ont été retenues, à savoir

- Pas d'évaluation détaillée des impacts sur la qualité de vie des riverains
- Prix et disponibilité des carburants jugés constants et assurés jusqu'en 2027
- Efficience énergétique globale pas analysée

Afin d'élargir la vision très technique présentée dans le rapport Infrac, ce rapport présente du plus général au plus particulier les spécificités du trolleybus, dans le contexte actuel et futur.

### 1.2 Contexte global

Le trolleybus a l'avenir devant lui. Les principales motivations sont de nature énergétique, environnementale et sociétale. Avec un horizon d'analyse élargi, il est possible de constater que l'énergie de traction a une importance capitale<sup>2</sup> (+ de 90%) dans le total des impacts générés par l'exploitation de bus/trolleybus alors que son coût de revient actuel est presque négligeable (3 à 7%) dans le total des charges au kilomètre. Ces proportions ne sont pas inversées en tenant compte de l'infrastructure routière utilisée, elle est comparable pour les deux.

Avec le critère coût (et encore plus pour la souplesse d'exploitation), il est tentant de considérer l'autobus et le trolleybus comme parfaitement substituables. Cependant aussi bien les clients, certains contribuables et représentants politiques accordent un crédit supérieur au trolleybus en raison de ses performances aussi bien globales que locales.

D'autre part, les experts<sup>3</sup> du groupe pétrolier Total™ privilégient l'hypothèse d'un « pic » de production pétrolière à l'horizon 2020-2030, horizon temporel comparable

---

<sup>1</sup> Matthias Lebküchner, «Zukunft des Trolleybusbetriebes » - VBSH, Infrac, 2007

<sup>2</sup> Olivier Jolliet, « Développement durable – Défis pour l'environnement », EPFL, 2003

<sup>3</sup> Yves-Louis Darricarrère, « Notre énergie en partage » Rapport sociétal et environnemental, TOTAL™, 2003

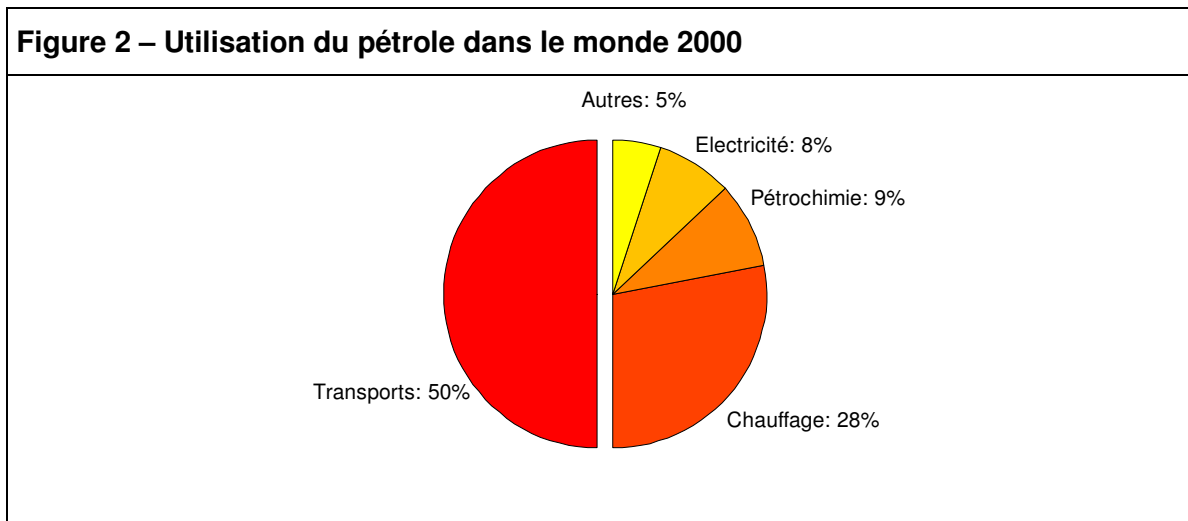
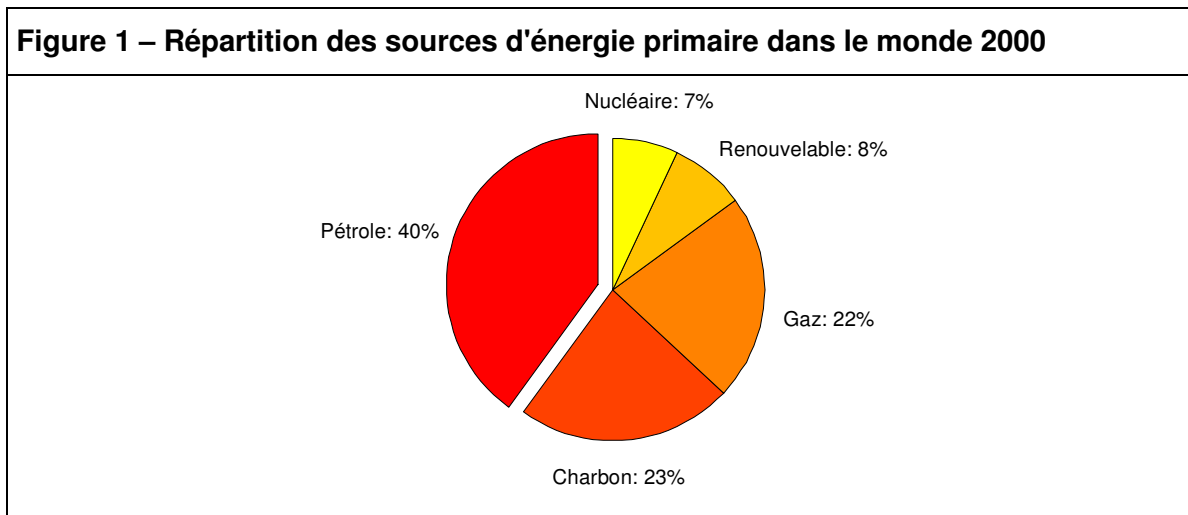
avec celui atteint par les véhicules mis en service d'ici 2010. Au delà du « pic » le maintien du niveau de la consommation d'énergie ne peut se faire que par report sur d'autres énergies primaires tel le gaz naturel. Cependant, l'utilisation de gaz naturel embarqué (ou du vecteur hydrogène) pour la propulsion des véhicules crée notamment des problèmes de coût et de rendement énergétique. En milieu urbain, les trolleybus les plus modernes offrent des solutions basées sur une technologie éprouvée. Ils permettent une utilisation rationnelle de l'énergie et des performances remarquables. Dans les prochains mois (années), des stockeurs d'énergie embarqués (supercondensateurs) dans les trolleybus seront utilisés afin d'offrir de meilleures performances en autonomie et de garantir en tout temps une alimentation électrique convenable (même sous les sectionneurs de ligne et tronçons éloignés des sous-stations). Ils permettront de lever les derniers inconvénients principaux de l'exploitation des trolleybus.

## 2. Monde

### 2.1 Energie

Pour un certain nombre de raisons, l'utilisation la plus rationnelle de l'énergie devient une nécessité. Dans le monde, le pétrole est la principale ressource énergétique<sup>4</sup> actuelle - Figure 1.

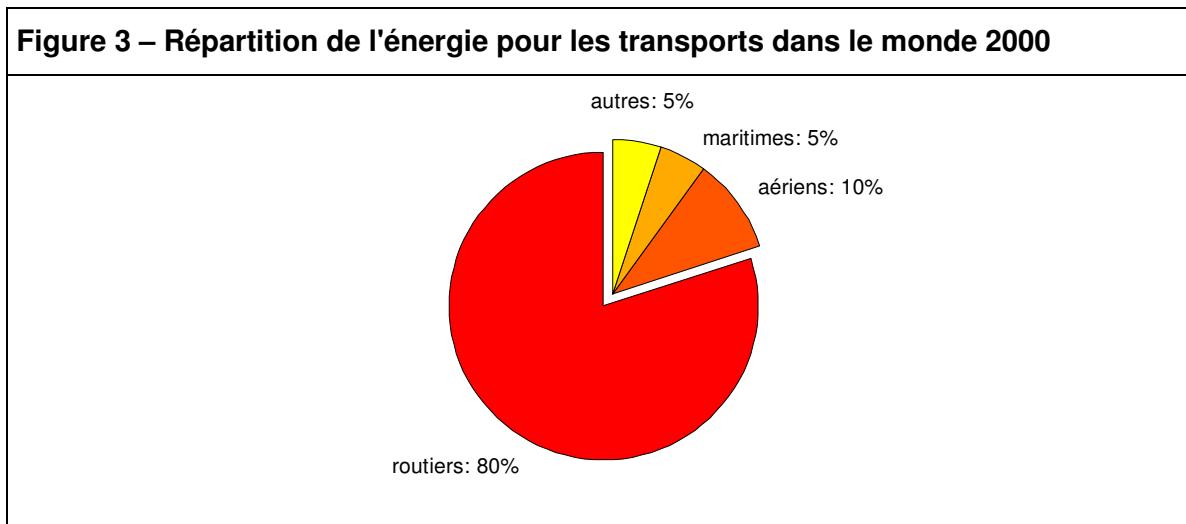
Le pétrole est utilisé à plus de 85% comme ressource énergétique<sup>5</sup>, dont 50% pour les transports et 28% pour le chauffage - Figure 2



<sup>4</sup> Pierre-René Bauquis, « Pétrole et Gaz Naturel » – Comprendre l'Avenir, Ed. Hirlé, 2004

<sup>5</sup> Thierry Desmarest, « Energie du futur et environnement » - Journées AFTP 20-21 octobre 2004, TOTAL™

Les carburants issus du pétrole fournissent plus de 95% de l'énergie des transports. Les transports routiers constituent 80% de la demande des carburants - Figure 3.



Les deux utilisations principales du pétrole comme agent énergétique sont les transports et le chauffage. C'est donc sur ces deux applications que doivent se concentrer en priorité les efforts pour une meilleure efficacité. Parmi les transports sur route, le trolleybus constitue la seule application de traction purement électrique, à des conditions financièrement concurrentielles et techniquement justifiées. En dehors des véhicules ferroviaires nécessitant une infrastructure à haut niveau d'investissement, il constitue aussi le seul potentiel de réduction directe de l'emprise des véhicules alimentés par carburant.

## 2.2 Nouveaux réseaux

De nombreux nouveaux réseaux de trolleybus sont mis en service chaque année dans le monde entier. Quelques-uns parmi ceux-ci :

**Tableau 1**

Année	Ville	Pays	Nombre de véhicules
2003	Landskrona	Suède	3
2005	Rome	Italie	30
2007	Barquisimeto	Venezuela	88

L'efficacité énergétique, le confort des passagers, les performances dynamiques et la diminution des impacts générés ne sont pas qu'une préoccupation suisse. Ces nouvelles lignes constituent aussi bien les lignes principales que celles de raccordement des réseaux concernés. La visibilité du tracé est renforcée par la présence des lignes aériennes.

## **3. Suisse**

### **3.1 Enjeux principaux**

#### **Passés**

Historiquement les trolleybus ont le plus souvent remplacé des tramways vétustes et de faible capacité. La conversion des anciennes lignes de tramways en lignes de trolleybus était un moyen efficace d'utiliser les installations fixes de l'époque. De plus, les trolleybus étaient plus performants et confortables que les autobus de l'époque (1950/1960). Depuis la situation a changé du tout au tout. Malgré cela, de fait en Suisse, seul le marché de renouvellement très anémique des années 90 a alimenté le carnet de commande des constructeurs, montrant que la logique de 1960 n'avait pas évolué.

#### **Actuels**

Les trolleybus permettent de réduire les impacts en terme de bruit, d'émissions et de consommation d'énergie. Ils s'inscrivent dans la démarche générale visant à améliorer la qualité de l'air. Les trolleybus permettent d'augmenter l'attractivité des transports publics par l'accueil positif qui lui est réservé, la lisibilité des itinéraires et le confort accru qu'ils apportent. Ils bénéficient d'un itinéraire déterminé par la concession tout en offrant ponctuellement la possibilité de s'en écarter. Par les investissements modérés d'infrastructure qu'ils représentent, ils exigent une meilleure planification à moyen terme de l'aménagement du territoire et des transports. Ils garantissent une certaine stabilité de l'offre pour les clients. En contrepartie, par leur durée de vie élevée, les véhicules doivent répondre au mieux aux critères de sécurité, de confort, d'accessibilité et d'information des années à venir.

Le système « trolleybus » dépasse celui d'un véhicule pris séparément. Sa performance globale est due à la séparation des lieux de production et consommation de l'énergie électrique. L'exploitant peut choisir la provenance ou type de l'énergie primaire (thermique, hydraulique, éolien) sans aucun investissement matériel supplémentaire contrairement aux autobus avec énergie embarquée (diesel, gaz).

## Futurs

Les transports terrestres ne pourront pas ou seulement à très long terme se passer du cycle du carbone (fossile ou non : pour les routes, pneus, plastiques), ce n'est même pas une priorité. Cependant l'essentiel de la consommation actuelle d'hydrocarbures dans les transports provient de l'énergie de traction. Ce qui est objectivement peu efficace en milieu urbain vu que ce sont des machines thermiques basées sur le cycle de Carnot et que la source froide n'est autre que l'environnement urbain dans lequel sont rejetés tous les produits de combustion.

Ainsi deux problèmes liés se superposeront à terme :

- la disponibilité d'énergie
- les impacts environnementaux

Les experts du domaine pétrolier les plus réalistes s'accordent à définir le "Peak Oil" (Pic Pétrolier) dans l'intervalle 2020 - 2030. Cela signifie que le maximum de production pétrolière - compte tenu des découvertes et investissements réalisés - sera atteint dans cet intervalle et qu'au delà, compte tenu d'investissements toujours plus grands, de techniques toujours plus évoluées, la production annuelle de pétrole ne sera pas augmentée. Ainsi cette situation induira sur le marché de nouvelles contraintes où plus rien ne permettra de contenir les prix si la demande ne baisse pas pour correspondre à la production. Il s'agira d'un réel changement de mode, vu que la consommation mondiale a presque toujours augmenté (sauf dans les années qui ont suivi la crise pétrolière de 1973) parce que la production le permettait. L'Europe est entrée dans une phase de diminution de sa production d'énergie fossile (pétrole, gaz naturel) et sa dépendance vis-à-vis des autres pays producteurs augmente constamment.

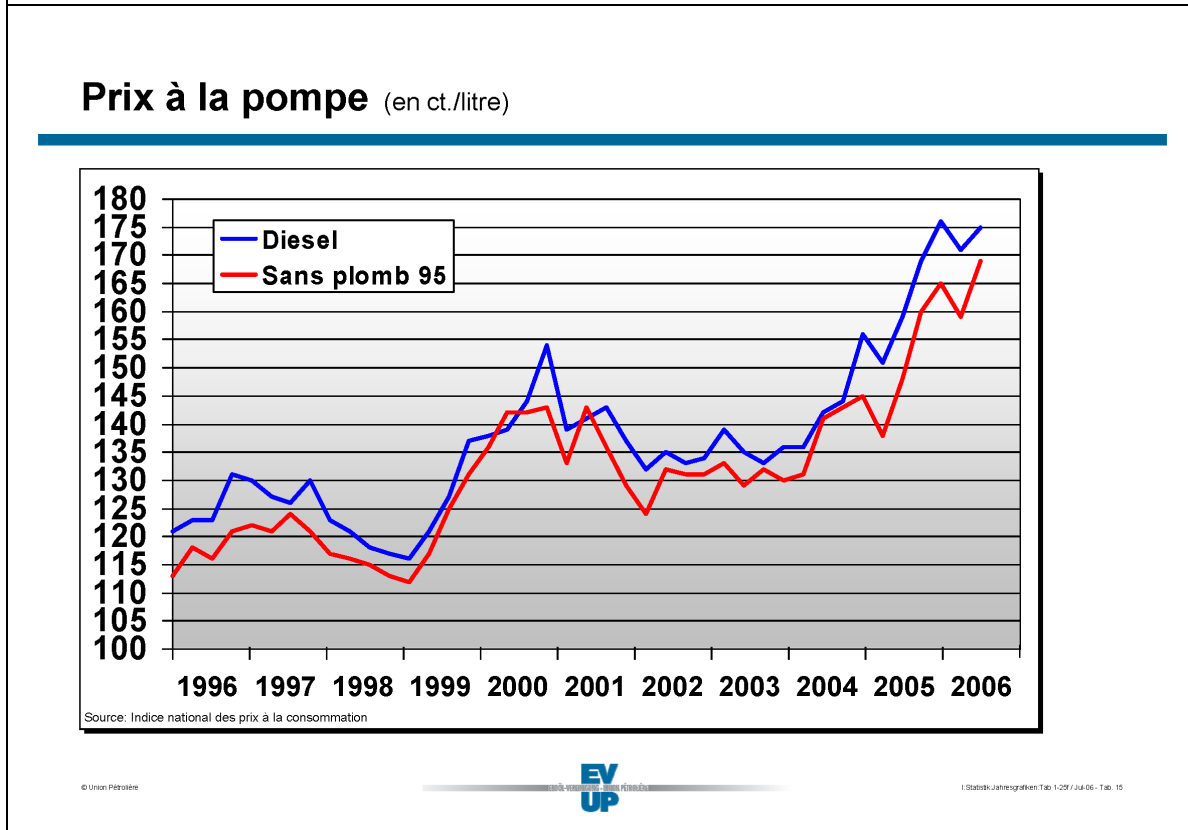
La réduction des impacts, à la fois pour des motifs de santé et de protection de l'environnement sont largement admis (Normes anti-pollution, protocole de Kyoto). Cette réduction peut être atteinte dès aujourd'hui avec très peu d'investissements supplémentaires à l'aide des trolleybus. Il va de soi qu'un report du trafic automobile sur les transports publics à traction électrique agit comme un coefficient multiplicateur sur les gains attendus.

### 3.2 Evolution du prix des carburants

L'expérience montre qu'il est très difficile de prévoir à moyen et long terme le prix du pétrole et donc l'évolution de celui des carburants. Cependant, au cours des 10 dernières années, l'augmentation du prix TTC du diesel à la pompe Figure 4, calculée en moyenne annuelle et en francs constants atteint 3%. L'augmentation subie par

les entreprises de transports publics est encore plus élevée en raison du remboursement partiel de l'impôt sur les huiles minérales et du prix de gros accordé.

Figure 4 – Evolution du prix du diesel à la pompe entre 1996 et 2006<sup>6</sup>

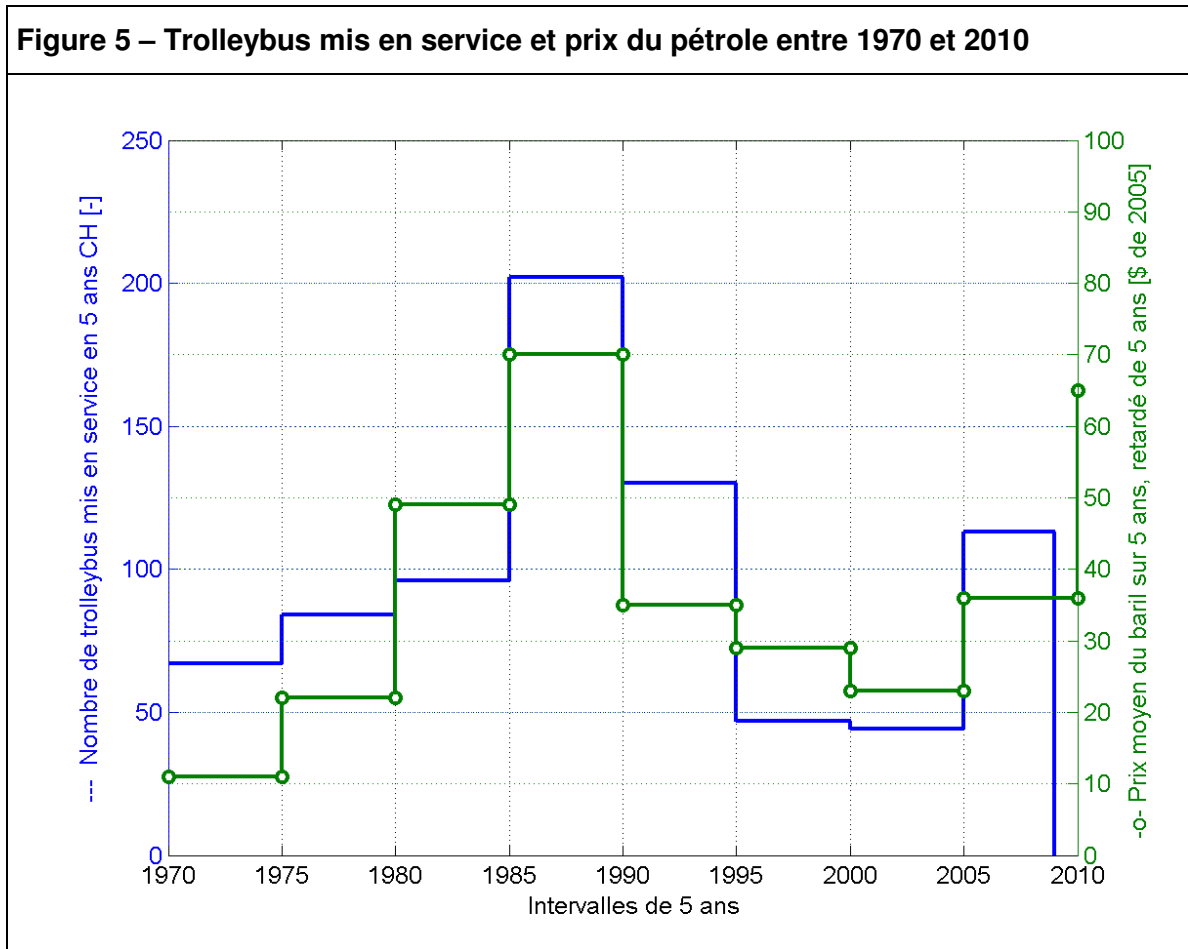


### 3.3 Nouveaux trolleybus entre 1970-2010

Le renouvellement des trolleybus est caractérisé par des cycles marqués - Figure 5. Le prix du pétrole brut et donc les variations sur celui des carburants exerce une influence nette sur le nombre de trolleybus mis en service en Suisse.

<sup>6</sup> «Evolution des prix des carburants à la pompe», Union Pétrolière Suisse, 2006





La tendance actuelle et pour les années à venir aux prix élevés des carburants laisse également penser à un niveau de commande élevé. Cette situation profite aussi bien à la hausse de la qualité des offres en matière de trolleybus qu'à la baisse des prix unitaire.

### 3.4 Les VMCV, un cas semblable aux VBSH

Au début des années 1990, les transports publics de la Riviera (VMCV) exploitant une seule ligne de trolleybus dans une région touristique, se trouvaient dans une situation comparable aux transports publics de Schaffhouse. D'un point de vue technique, la situation était encore plus complexe pour plusieurs raisons. L'entier du parc (18 véhicules) devait être renouvelé, dans une période où le marché du trolleybus était au plus bas, en raison du faible niveau de commandes. Ceci impliquait de fait des prix unitaires très élevés pour des solutions techniques obsolètes. De plus la ligne aérienne et le dépôt devaient être reconstruits.

Le réseau de trolleybus a été maintenu grâce à un engagement important de l'entreprise et à l'acquisition d'un trolleybus articulé à plancher surbaissé, adapté à l'exploitation. Il donne entière satisfaction à l'exploitant et aux clients depuis 1995. Une extension de la ligne est prévue à moyen terme.

### 3.5 Extensions de réseau

Plusieurs extensions récentes ont été réalisées en Suisse ces dernières années.

**Tableau 2**

Année	Ville	Ligne	Nouveau terminus	Longueur [km]
2002	Lausanne	8	Paudex / Verrière	0.82
2004	Lucerne	7	Unterlöchli	0.74
2004	Genève	3	Grand-Saconnex / Gardiol	1.22
2005	Fribourg	2	Villars-sur-Glâne / Les Dailles	1.23
2005	Berne	12	Centre Paul Klee	0.66
2007	Genève	7	Hôpital	1.45

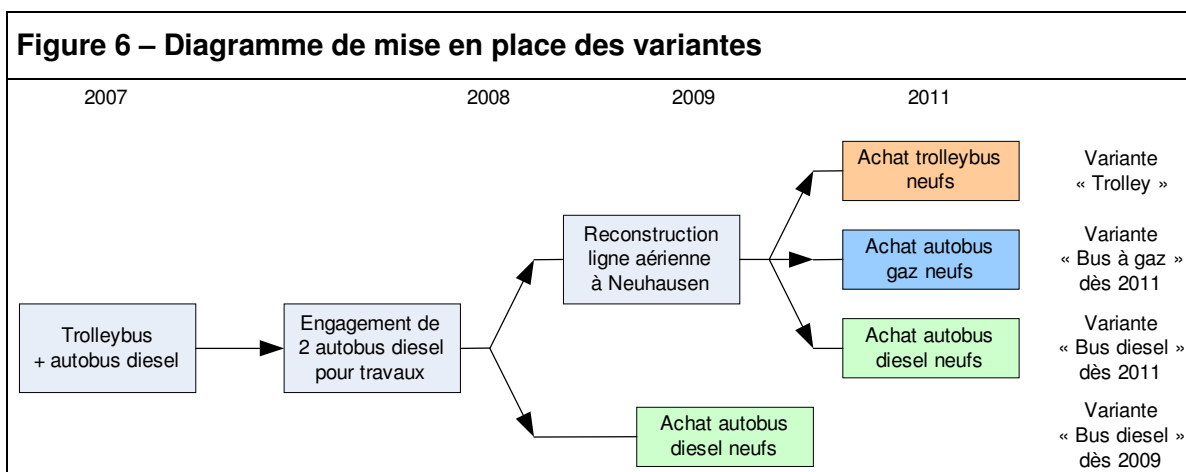
Chacune de ces extensions d'un kilomètre en moyenne démontre que ce mode de transport garde toute son attractivité aussi en Suisse. Ces nouveaux tronçons ont été réalisés dans des quartiers résidentiels ou comme interconnexion de pôles d'activité.

## 4. Schaffhouse

### 4.1 Variantes

Quatre variantes, dont une avec deux options ont été proposées pour analyse - Figure 6.

- Variante « Trolleybus »
- Variante « Bus diesel » dès 2009
- Variante « Bus diesel » dès 2011
- Variante « Bus à gaz » dès 2011 - option gaz naturel
- Variante « Bus à gaz » dès 2011 - option biogaz



Les travaux dès juillet 2007 à Neuhausen nécessitent l'engagement de deux autobus diesel pour assurer l'exploitation de la ligne 1.

### 4.2 Extensions de réseau

Langriet est un quartier d'habitation où un moyen de transport respectueux de l'environnement et des riverains serait le bienvenu. En effet, avec une ligne exploitée de 05h30 à 00h00 par autobus, le gain obtenu par la meilleure accessibilité est réduit par l'augmentation du bruit.

Le quartier d'habitation « Les Dailles » à Villars-sur-Glâne (Fribourg) profite depuis 2005 de l'extension de l'électrification de la ligne 2, longtemps demandée par les habitants concernés.

## 5. Analyse des variantes

### 5.1 Point clef

Dans le calcul des charges d'exploitation intervient le coût de l'énergie. Le prix de l'électricité fournie par les services industriels est très différent selon si ce sont les EWS (Schaffhouse) ou les EKS (Neuhausen) qui sont considérés. Dans le rapport d'étude Infrac, le calcul économique a été réalisé avec un tarif unique, le plus élevé (18.9 ct/kWh) et introduit une distorsion annuelle en défaveur du trolleybus d'environ CHF 40'000 ou CHF 600'000 sur la valeur actualisée nette (Tableau 3).

La cause des tarifs élevés pratiqués par les EWS<sup>7</sup> (pour un tel niveau de consommation et de puissance) est vraisemblablement liée à la part importante de la prime de puissance dans le prix total du kWh livré. Une nouvelle négociation de contrat considérant les VBSH comme un seul client des EWS alimenté sur plusieurs sites devrait permettre de faire baisser sensiblement le montant des primes de puissances.

Une autre voie consisterait à conserver le niveau de prix actuel du courant et de garantir l'approvisionnement électrique avec la promotion du renouvelable local (petite hydraulique, biomasse, solaire, éolien) elle rejoint les mesures de compensation envisagées.

### 5.2 Points ouverts

L'émission de **particules fines** liée à l'exploitation d'autobus Euro 4 ou 5 sur la ligne 1 correspond à 25 kg/an de suies vraisemblablement hautement cancérigènes. Contrairement à la table 8<sup>8</sup> qui mentionne 0.011 g/km, le niveau d'émission en exploitation réelle s'établit à environ 0.050 g/km<sup>9</sup> pour des autobus articulés ce qui correspond à la limite Euro 4/5 autorisée.

La réduction du **bruit** implique des mesures qui coûtent généralement extrêmement cher. Les CFF<sup>10</sup> ont défini une stratégie active de réduction du bruit en attaquant le problème principalement à la source, à savoir le matériel roulant. Si nécessaire des travaux d'installation de parois anti-bruit ou à l'intérieur des bâtiments sont entrepris. Un crédit de 1.854 mia de francs a été alloué.

<sup>7</sup> « Strom Tarif » - EWS, Städtische Werke Schaffhausen und Neuhausen am Rheinfall, 2006

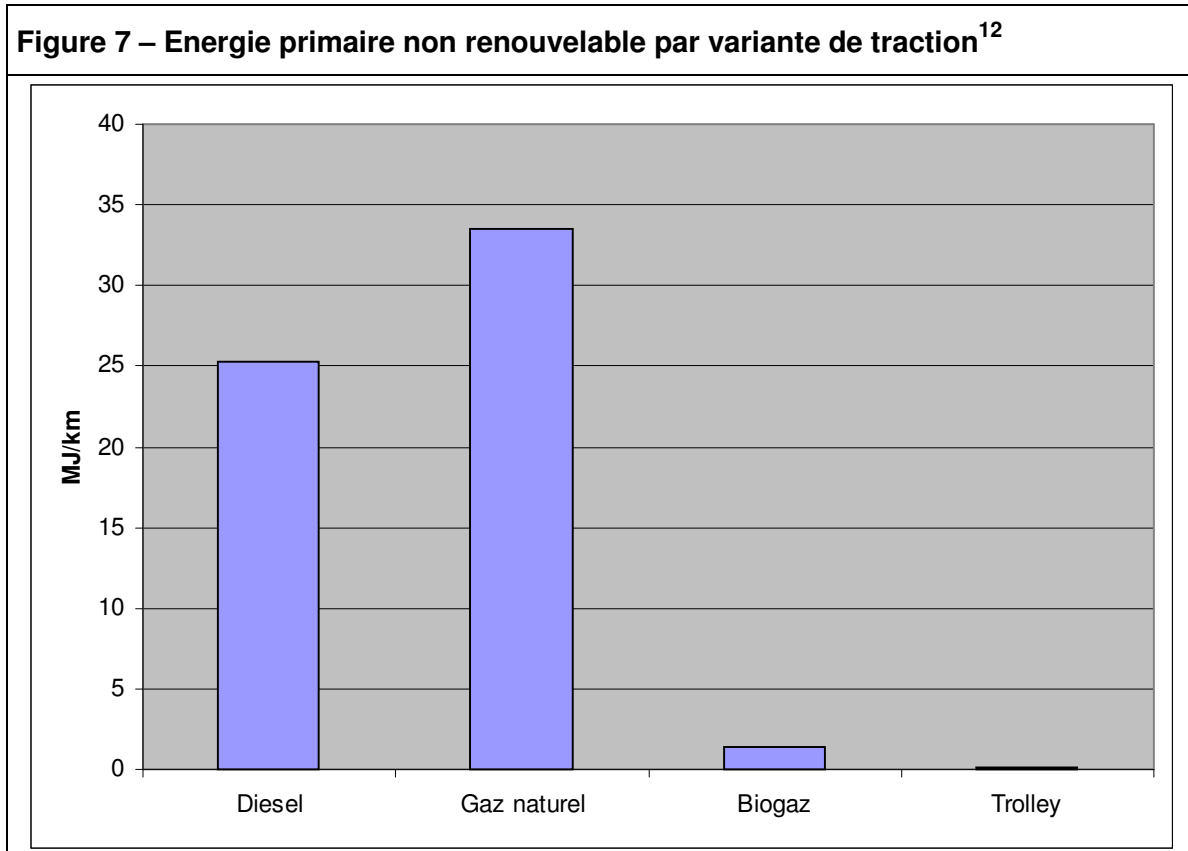
<sup>8</sup> Matthias Lebküchner, «Zukunft des Trolleybusbetriebes » - VBSH, Infrac, 2007

<sup>9</sup> Meinrad Signer, « Euro IV / V /EEV / VI Diesel- und Gasmotoren Vergleich und Aussichten» – VÖV Tagung 9./10. Mai 2006 Thun, Iveco Irisbus

<sup>10</sup> « Silence » - Brochure de lutte contre le bruit, CFF, 2000

Les mesures sur site démontrent que dans les rues où le volume de trafic est inférieur à 10'000 véhicules/jour, la circulation des autobus diesel contribue jusqu'à 30% des nuisances sonores<sup>11</sup>. Ainsi même si les niveaux d'immission ne sont pas dépassés en ce qui concerne Schaffhouse, il n'est pas acceptable d'augmenter d'un facteur 8 (+9dB) le bruit au passage des bus. Dans le cas particulier, aucune mesure de compensation n'est prévue.

La consommation d'**énergie primaire** et plus particulièrement d'énergie primaire non renouvelable est un bon indicateur de l'efficacité et des impacts d'un processus.



### 5.3 Comparaison économique

La comparaison des coûts des différentes variantes et options (gaz naturel, biogaz) donne en valeur actualisée nette pour 2008-2027 :

<sup>11</sup> « Plan des mesures d'assainissement du bruit routier selon OPB art 19 », Rép. et Canton de Genève, 1998

<sup>12</sup> « Base de données énergie et CO<sub>2</sub> ESU » - teaching version, EPFL – GECOS, 2003

**Tableau 3**

V.A.N. en Mio CHF des investissements et coûts d'exploitation 2008-2027				
« Trolley »	« Bus diesel »	« Bus diesel »	« Bus à gaz » dès 2011	
	dès 2009	dès 2011	Gaz naturel	Biogaz
23.4	17.2	17.8	20.7	22.4

## 5.4 Mesures de compensation

Le rapport d'étude Infras recommande de convertir en autobus diesel la ligne 1 et de l'accompagner de mesures de compensations environnementales. Ces mesures de compensation ne sont pas très détaillées (1/2 page) et discutables pour plusieurs raisons.

- Neutralité du bilan CO<sub>2</sub> :

326'000 l diesel -> 826t CO<sub>2</sub>

333 t CH<sub>4</sub> -> 826t CO<sub>2</sub>

Avec une différence de prix de 37.4 ct/kg entre le gaz naturel et le biogaz, un montant annuel de CHF 125'000 doit être versé à titre de compensation.

- Neutralité financière :

CHF 300'000 -> 800 t CH<sub>4</sub>

La neutralité financière entre diesel et biogaz conduit avec les chiffres pour 2007 à l'achat annuel de 800 t de CH<sub>4</sub> pour 2000 t de CO<sub>2</sub> non émis.

Il est extrêmement difficile de se convaincre de l'efficacité réelle d'une telle démarche. D'autant plus qu'elle correspond uniquement à une compensation du CO<sub>2</sub> mais pas des autres impacts (PM, NO<sub>x</sub>, bruit). La neutralité d'après bilan CO<sub>2</sub> implique que l'achat du biogaz permette d'augmenter de la même quantité la production de biogaz et qu'il n'y a pas d'autre moyen moins coûteux d'y arriver. Ce n'est pas forcément évident à démontrer.

La neutralité financière par rapport au biogaz a encore moins de sens, vu que cette compensation génère des coûts totaux aussi élevés qu'une exploitation de bus à gaz alimenté par du biogaz à laquelle il est renoncé (Tableau 3).

Dans tous les cas, la visibilité d'une telle compensation est très faible, la viabilité financière compromise par l'augmentation probable du prix du diesel et l'étendue insuffisante en raison d'une compensation partielle des impacts. De plus elle correspond à une subvention économique inopportune, dont le cadre reste à définir.

## 5.5 Synthèse

Parmi les quatre variantes analysées, celle à gaz doit être écartée rapidement pour plusieurs raisons.

- L'option biogaz génère des coûts trop élevés en comparaison avec le trolleybus et présente une mise en place techniquement complexe et discutable. Le biogaz a de meilleures applications que la traction d'autobus urbains.
- L'option gaz naturel génère des coûts trop élevés en comparaison avec le bus diesel et présente actuellement des avantages insuffisants par rapport à celui-ci. La consommation d'énergie primaire est augmentée significativement par rapport au diesel, le prix du gaz est dans tous les cas indexé sur celui du pétrole.

En Suisse, toutes les villes exploitant des trolleybus - à l'exception de Bâle et Berne qui ont opté pour le biogaz - ont récemment renouvelé leur parc de trolleybus ou décidé de le faire. Cela démontre clairement l'intérêt dans le contexte actuel de poursuivre l'exploitation de ce type de véhicules. La décision de la Ville rhénane doit encore être acceptée en votation populaire le 17 juin 2007; le soutien politique se renforce à mesure que le prix des carburants et le niveau des indicateurs de pollution augmentent. L'utilisation des bus à biogaz dans la Capitale est liée à la phase transitoire de la construction des nouvelles lignes de tram « West ». Lausanne a pour sa part démarré le renouvellement portant sur l'acquisition de 100 nouveaux trolleybus et s'intéresse vivement à réaliser une commande groupée avec plusieurs autres villes suisses afin de réduire les coûts unitaires.

Le seul motif de convertir une ligne de trolleybus en autobus réside en la diminution espérée des coûts. Dans cette logique, la variante Bus diesel dès 2011 doit être écartée au profit d'une conversion dès 2009. Cependant, réduire les coûts ne peut être l'unique objectif d'un exploitant. D'autant plus que le calcul des coûts des variantes se base sur l'hypothèse discutable d'un prix du diesel constant. Une augmentation annuelle du prix du diesel identique à celle constatée entre 1996 et 2006 (+3% par an) réduirait considérablement l'économie attendue.

Les mesures de compensation proposées n'ont pas une base suffisamment solide pour motiver une conversion du trolleybus vers des bus diesel sur la ligne 1 des Transports publics de Schaffhouse. L'exploitation des trolleybus doit être poursuivie.

## 6. Conclusions

Le contexte énergétique mondial subit des changements considérables, la tendance vers un approvisionnement plus difficile et des prix plus élevés des carburants fossiles se dessine. Un ensemble de mesures locales coordonnées doit être mis en place, le maintien et l'extension des réseaux de trolleybus en fait partie, principalement pour des raisons énergétiques et environnementales. De nombreux exemples récents de nouvelles lignes de trolleybus dans le monde et en Suisse prouvent l'actualité et l'attractivité de ce moyen de transport. Les villes de Schaffhouse et Neuhausen disposent déjà d'une telle infrastructure qu'il s'agit de moderniser et d'adapter. Les critères économiques sont déterminants dans l'étude Infras pour la variante proposée, alors même que toutes les mesures d'économie sur l'achat d'électricité n'ont pas été analysées. Les mesures de compensation proposées ne sont à ce stade pas assez détaillées pour constituer une alternative satisfaisante au trolleybus. Toute extension par rapport à la proposition actuelle renchérit encore la variante bus diesel et l'amène au niveau de la variante trolleybus.

Pour toutes ces raisons, l'exploitation du trolleybus doit être poursuivie à Schaffhouse et Neuhausen am Rheinfall.

Avec des sources d'énergies renouvelables soutenues par l'utilisation de la traction électrique, chaque client se sent partie prenante de la démarche et en bénéficie. C'est un moyen de montrer que la gestion de l'énergie est un élément pris en compte par les institutions et que cela ne coûte que peu financièrement parlant. C'est aussi un moyen de promotion pragmatique de l'innovation, tout en allant vers des lignes de transports publics appréciées parce que clairement identifiables par les lignes aériennes.