

**citrap-vaud.ch**

communauté d'intérêts pour les transports publics,  
section vaud

**Nouvelles lignes de chemin  
de fer à grande vitesse  
Roggwil-Altstetten  
&  
Olten-Schöftland**

**Analyse préliminaire des coûts  
du projet J. Perrelet et H. Bosshard**

Yves Trottet

Eric Loutan



<b>Table des matières</b>	<b>Page</b>
<b>1. Introduction et objectifs</b>	<b>1</b>
<b>2. Méthodologie</b>	<b>1</b>
<b>3. Documents de travail</b>	<b>1</b>
<b>4. Présentation du projet Perrelet – Bosshard</b>	<b>2</b>
<b>5. Hypothèses</b>	<b>4</b>
<b>6. Variantes analysées</b>	<b>5</b>
6.1 Variante 1 : 1 tube et 1 galerie de sécurité (projet PB) – Analyse et coûts	5
6.2 Variante 2A : 2 tubes unidirectionnels 80 m <sup>2</sup> – Analyse et coûts	7
6.3 Variante 2B : 2 tubes unidirectionnels 65 m <sup>2</sup> – Analyse et coûts	9
6.4 Récapitulation des coûts des 3 variantes	11
6.5 Comparaison entre les 3 variantes de profil	12
<b>7. Etapes suivantes</b>	<b>13</b>
<b>8. Conclusions</b>	<b>14</b>

## 1. Introduction et objectifs

En mars 2011, dans le cadre du groupe de travail Plan Rail 2050/Bahn-Plan 2050 de la citrap-vaud.ch, Daniel Mange a demandé d'établir une évaluation financière grossière pour la construction de nouvelles lignes de chemin de fer à grande vitesse permettant une circulation à 320 km/h entre Berne et Zurich, ainsi qu'entre Olten et Schöffland, maillon de la ligne de Bâle à Zurich (Fig. 1 et 2).

Le but de ces nouvelles réalisations est de réduire le temps de trajet entre Berne et Zurich de 56' (état actuel) à 28', respectivement entre Bâle et Zurich de 53' à 37', grâce à deux nouveaux tronçons adaptés à la grande vitesse. Conformément au projet proposé par MM. Jürg Perrelet et Hans Bosshard (ci-après nommés Perrelet-Bosshard ou PB), le premier tronçon relie Roggwil (sur l'actuelle ligne Mattstetten–Rothrist) à Zurich-Altstetten via Schöffland, tandis que le second tronçon relie Olten à Schöffland.

L'objet de ce rapport est de présenter une première évaluation financière pour la réalisation de ces deux tronçons.

Ce rapport est rédigé par Yves Trottet et Eric Loutan sous compte d'auteur, avec l'appui et les conseils d'experts.

## 2. Méthodologie

La méthodologie adoptée est la suivante :

- analyse des documents reçus de MM. Perrelet et Bosshard, dont une carte au 1:25'000 avec le tracé en situation;
- détermination des types d'ouvrages, recensés au nombre de trois (tunnels, ponts et viaducs, voies à ciel ouvert);
- comparaison des prix de différents ouvrages ressemblants réalisés récemment, en cours de construction ou en projet d'exécution, en prenant en compte 3 variantes différentes, soit un tube bidirectionnel de 100 m<sup>2</sup> avec galerie de sécurité de 19 m<sup>2</sup>, deux tubes monodirectionnels de 2 x 80 m<sup>2</sup> ou de 2 x 65 m<sup>2</sup>.

## 3. Documents de travail

- Tracés en situation sur carte au 1:25'000 de Roggwil à Altstetten (distribués par PB).
- Tracés en situation sur carte au 1:25'000 de Schöffland à Olten (distribués par PB).
- Réalisations et projets en cours, issus de relations des professionnels de la branche.

Le tracé du projet au 1:25'000 est tenu à disposition des intéressés sur demande.

#### 4. Présentation du projet Perrelet – Bosshard

Cette construction comprend les nouveaux tronçons suivants :

- Roggwil – Altstetten (sud d'Olten pour Roggwil et près de Dietikon pour Altstetten);
- Schöffland – Olten, barreau permettant d'accélérer la liaison de Zurich à Bâle.

Ces nouvelles réalisations totalisent une longueur de 70,8 km.

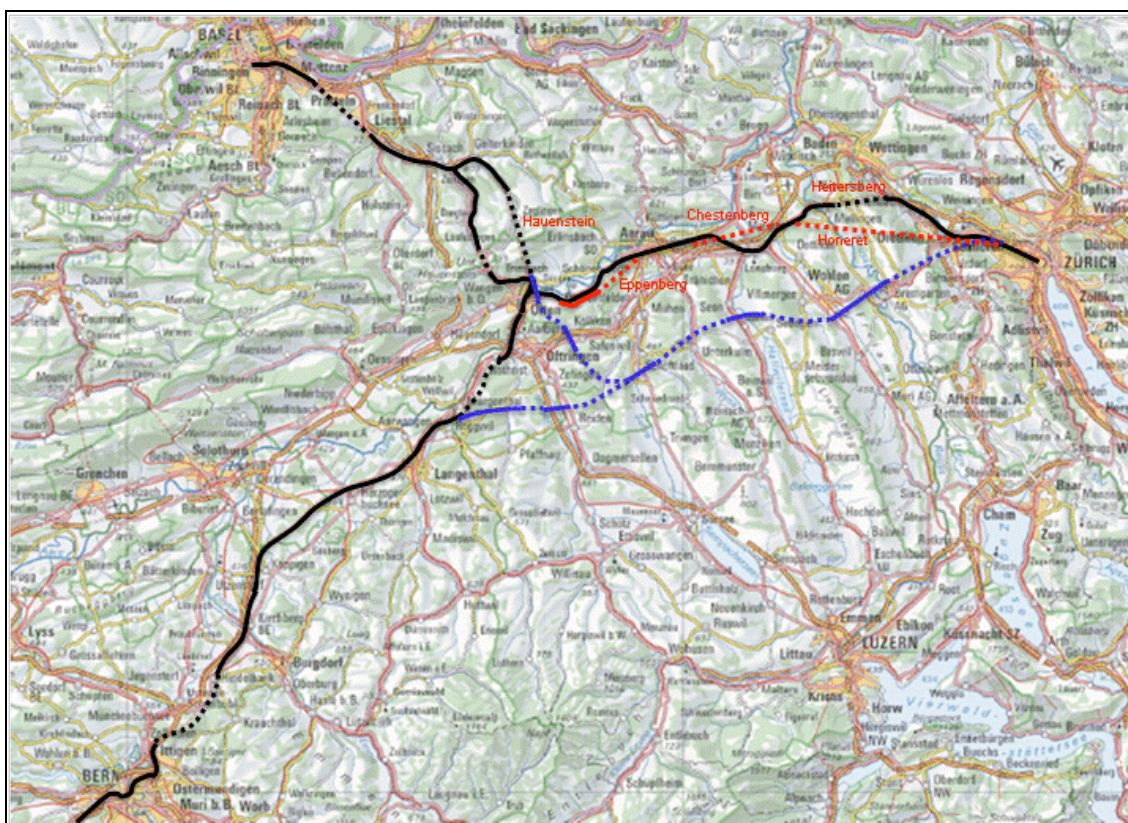


Figure 1 : Vision d'ensemble du projet Perrelet – Bosshard

- Ligne actuelle
- Tronçons à construire planifiés par les CFF
- Nouveaux tronçons proposés en alternative (projet Perrelet - Bosshard)

La carte présente en parallèle les lignes existantes (en noir), les tronçons à reconstruire selon la planification des CFF (en rouge) et le projet PB (en bleu).

Le tronçon de Roggwil à Altstetten a une longueur de 55,4 km. Il comprend :

- 7 tunnels et
  - 14 sections, soit de viaducs/ponts, soit à ciel ouvert,
- qui totalisent respectivement 33.6 km de tunnels et 21,8 km hors tunnels.

Le tronçon de Schöffland à Olten a une longueur de 15,4 km. Il comprend :

- 3 tunnels et
  - 3 sections de viaducs/ponts,
- qui totalisent respectivement 11,4 km de tunnels et 4,0 km hors tunnels.

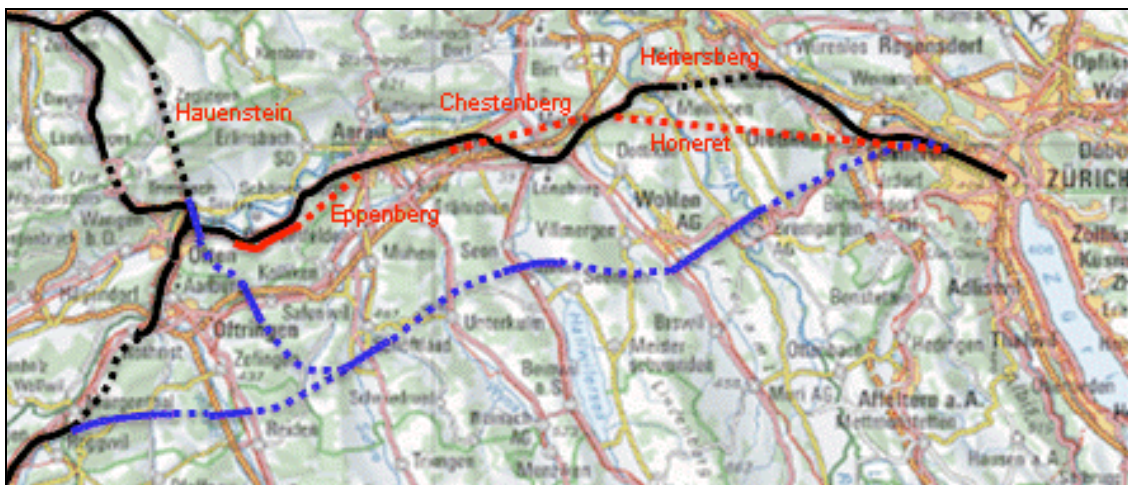


Figure 2 : Tracé du projet PB Roggwil – Altstetten et la connexion Olten - Schöffland

L'ensemble de la ligne a donc une longueur de 70,8 km, comprenant 64 % de tunnels.

	Tunnels		Viaducs		Ciel ouvert		Total	
	Nombre	L [km]	Nombre	L [km]	Nombre	L [km]	Nombre	L [km]
Roggwil - Altstetten	7	33.6	5	2.6	9	19.2	<b>21</b>	<b>55.4</b>
Schöffland - Olten	3	11.4	3	4.0	0	0	<b>6</b>	<b>15.4</b>
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>45.0</b>	<b>8</b>	<b>6.6</b>	<b>9</b>	<b>19.2</b>	<b>27</b>	<b>70.8</b>
	64 %		36 %				100 %	

Tableau 1: Récapitulatif des longueurs

## 5. Hypothèses

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- le projet Perrelet-Bosshard utilise un profil en long optimisé et compatible avec une vitesse de 320 km/h;
- la géologie locale bordant le tronçon est connue et issue de l'ère secondaire, ce qui laisse à supposer une grande stabilité du sous-sol;
- l'étude est réalisée sans connaître le profil en long et sans prise en compte d'aléas géologiques particuliers; on notera toutefois que sur le tronçon les variations de hauteurs sont faibles;
- la libération des emprises est de 50 m de largeur pour les ponts et viaducs et de 75 m pour les parties à ciel ouvert;
- les réaménagements fonciers et levées d'opposition sont estimés à 3 % du coût total des sections à ciel ouvert;
- les aménagements connexes sont estimés à 10 % du total;
- les prix sont ceux de 2011 pour l'ensemble du génie civil, des équipements et des aménagements connexes;
- les prix comprennent les études et réalisations, ainsi que les prestations des bureaux d'ingénieurs, architectes, géomètres et experts de l'environnement;
- le matériel roulant n'est pas compris dans les coûts.

Le projet Perrelet-Bosshard est basé sur l'hypothèse d'un tunnel bidirectionnel (2 voies de circulation) avec une galerie de sécurité. Les auteurs du présent rapport, forts de leur expérience dans le domaine, préfèrent une solution basée sur 2 tubes unidirectionnels. Les variantes de coûts sont explicitées dans les chapitres suivants.

A ce stade, l'estimation est basée sans réserve pour travaux supplémentaires dus à des imprévus majeurs.

## 6. Variantes analysées

### 6.1 Variante 1 : 1 tube et 1 galerie de sécurité (projet PB) – Analyse et coûts

Le profil du tube bidirectionnel (schéma avec la galerie de secours) est représenté ci-après. **Selon les recommandations de l'OFT, la surface est de 100 m<sup>2</sup> pour le tube bidirectionnel, respectivement de 19 m<sup>2</sup> pour la galerie secours, totalisant une aire de 119 m<sup>2</sup>.** De plus, les tunnels avec un tube bidirectionnel ne doivent pas dépasser la longueur de 5,0 km (recommandation OFT).

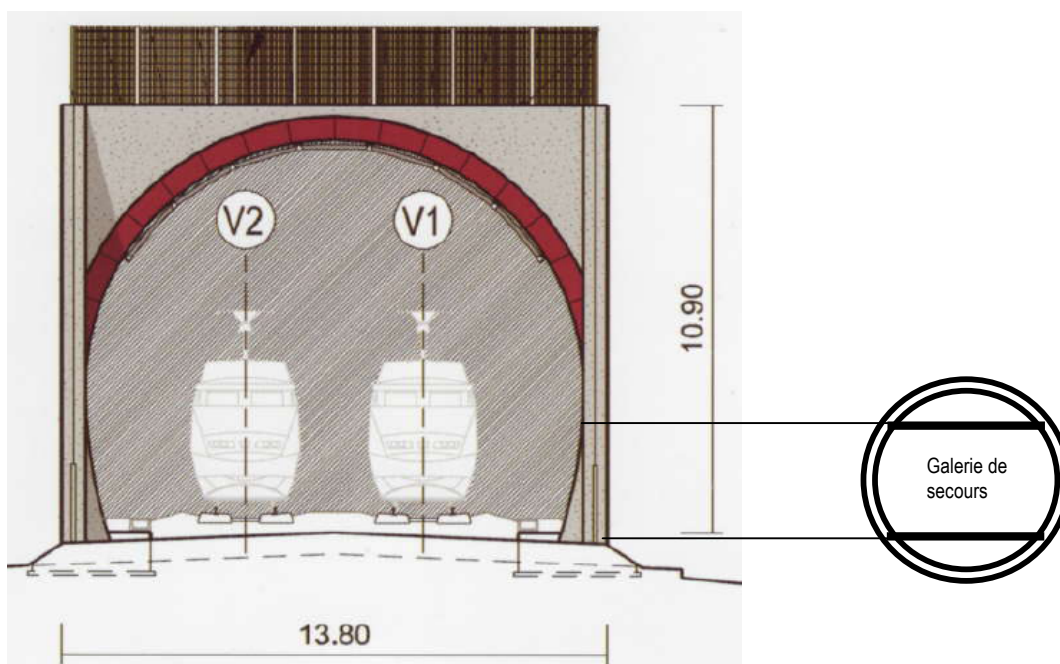


Figure 3 : Tunnel pour circulation bidirectionnelle dans un seul tube et galerie de secours (principe)

Les travaux spéciaux aux têtes sont estimés à 3 millions de CHF par tête de tunnel, y compris la galerie de secours.

Les coûts sont estimés par mètre linéaire, sur la base de projets et réalisations comparables en Suisse et en France. Les lignes analysées sont classées par types d'ouvrages, soit tunnels, ponts/viaducs, tronçons à l'air libre et aiguillages.

Il est à préciser qu'en cas d'interruption sur l'une des voies, l'ensemble du tunnel est hors service.



Pour les différents types d'ouvrages, les coûts de construction ont été répartis entre le génie civil, les équipements et le foncier. Les résultats aboutissent à un coût par mètre linéaire (2 voies) pour les :

- tunnels 80 000 CHF (tunnel bidirectionnel et galerie de secours)
- ponts/viaducs 58 500 CHF
- tronçons à l'air libre 28 600 CHF

Les aiguillages, au nombre de 10 (5 paires) ont été évalués à 80 millions de CHF au total.

Sur ces bases, le coût de la ligne par tronçon est :

- Roggwil à Altstetten aboutit à un montant de CHF 3 500 millions
- Schöffland à Olten aboutit à un montant de CHF 1 100 millions
- Total nouvelles lignes : CHF 4 600 millions

On ajoute 10 % du total pour les aménagements connexes :

- Aménagements des réseaux existants (routier, eau, électrique, égout,...)
- Parois antibruit
- Passages à faune
- Qualité paysagère et environnementale
  - Roggwil à Altstetten CHF 350 millions
  - Schöffland à Olten CHF 110 millions
  - Total CHF 460 millions

## Estimation financière

3'850 millions de CHF pour Roggwil à Altstetten

1'210 millions de CHF pour Schöffland à Olten

5'060 millions de CHF au total pour 70,8 km

## 6.2 Variante 2A : 2 tubes unidirectionnels 80 m<sup>2</sup> – Analyse et coûts

Le profil des 2 tubes unidirectionnels est représenté ci-après. La surface est de 80 m<sup>2</sup> par tube unidirectionnel, soit 160 m<sup>2</sup> pour les 2 tubes.

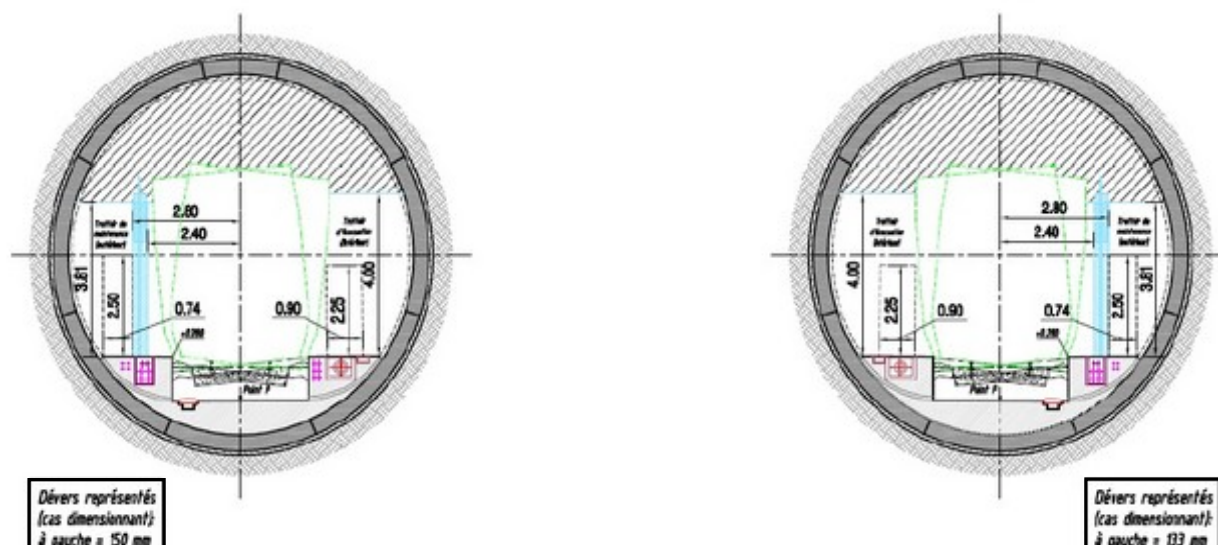


Figure 4 : Croquis de principe des sections types de tunnel unidirectionnel

Pour les tunnels de plus de 1 000 m, des intertubes distants tous les 500 m sont obligatoires et jouent le double rôle d'atténuer l'effet piston lors des déplacements des rames et permet une accessibilité de secours.

Les travaux spéciaux aux têtes sont estimés à 2 millions de CHF par tête de tunnel (2 tubes).

Les coûts sont estimés par mètre linéaire, sur la base de projets et réalisations comparables en Suisse et en France. Les lignes analysées sont classées par types d'ouvrages, soit tunnels, ponts/viaducs, tronçons à l'air libre et aiguillages.

Il est à préciser qu'en cas d'interruption sur l'une des voies, l'ensemble du tunnel unidirectionnel est hors service. Par contre, le second tube, après avoir officié comme galerie de secours, peut être opérationnel pour la circulation des trains.

Pour les différents types d'ouvrages, les coûts de construction ont été répartis entre le génie civil, les équipements et le foncier. Les résultats aboutissent à un coût par mètre linéaire (2 voies) pour les :

- tunnels 100 000 CHF (2 tubes unidirectionnels 80m<sup>2</sup>)
- ponts/viaducs 58 500 CHF
- tronçons à l'air libre 28 600 CHF

Les aiguillages, au nombre de 10 (5 paires) ont été évalués à 80 millions de CHF au total.

Sur ces bases, le coût de la ligne

- Roggwil à Altstetten aboutit à un montant de CHF 4 200 millions
- Schöftland à Olten aboutit à un montant de CHF 1 400 millions
- Total nouvelles lignes : CHF 5 600 millions

On ajoute 10 % du total pour les aménagements connexes :

- Aménagements des réseaux existants (routier, eau, électrique, égout,...)
- Parois antibruit
- Passages à faune
- Qualité paysagère et environnementale
  - Roggwil à Altstetten CHF 420 millions
  - Schöftland à Olten CHF 140 millions
  - Total CHF 560 millions

## Estimation financière

4'620 millions de CHF pour Roggwil à Altstetten

1'540 millions de CHF pour Schöftland à Olten

6'160 millions de CHF au total pour 70,8 km

### 6.3 Variante 2B : 2 tubes unidirectionnels 65 m<sup>2</sup> – Analyse et coûts

Le profil des 2 tubes unidirectionnels est représenté ci-après. La surface est de 65 m<sup>2</sup> par tube unidirectionnel, soit 130 m<sup>2</sup> pour les 2 tubes.

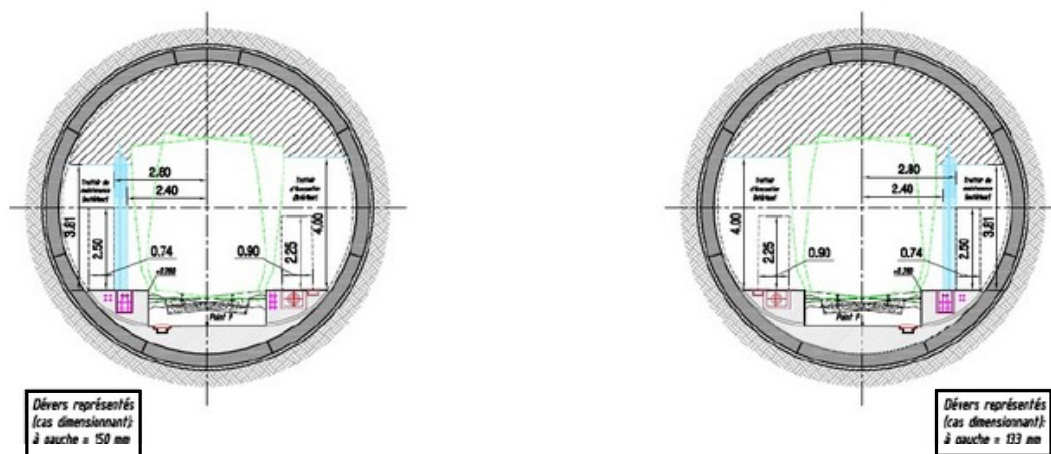


Figure 5 : Croquis de principe des sections types de tunnel unidirectionnel (base RFF tunnel de Saverne)

Pour les tunnels de plus de 1 000 m, des intertubes distants tous les 500 m sont obligatoires et jouent le double rôle d'atténuer l'effet piston lors des déplacements des rames et permet une accessibilité de secours.

Les travaux spéciaux aux têtes sont estimés à 2 millions de CHF par tête de tunnel (2 tubes).

Les coûts sont estimés par mètre linéaire, sur la base de projets et réalisations comparables en Suisse et en France. Les lignes analysées sont classées par types d'ouvrages, soit tunnels, ponts/viaducs, tronçons à l'air libre et aiguillages.

Il est à préciser qu'en cas d'interruption sur l'une des voies, l'ensemble du tunnel unidirectionnel est hors service. Par contre, le second tube, après avoir officié comme galerie de secours, peut être opérationnel pour la circulation des trains.

Pour les différents types d'ouvrages, les coûts de construction ont été répartis entre le génie civil, les équipements et le foncier. Les résultats aboutissent à un coût par mètre linéaire (2 voies) pour les :

- tunnels 85 000 CHF (2 tubes unidirectionnels 65m<sup>2</sup>)
- ponts/viaducs 58 500 CHF
- tronçons à l'air libre 28 600 CHF

Les aiguillages, au nombre de 10 (5 paires) ont été évalués à 80 millions de CHF au total.

Sur ces bases, le coût de la ligne

- Roggwil à Altstetten aboutit à un montant de CHF 3 700 millions
- Schöftland à Olten aboutit à un montant de CHF 1 200 millions
- Total nouvelles lignes : CHF 4 900 millions

On ajoute 10 % du total pour les aménagements connexes :

- Aménagements des réseaux existants (routier, eau, électrique, égout,...)
- Parois antibruit
- Passages à faune
- Qualité paysagère et environnementale
  - Roggwil à Altstetten CHF 370 millions
  - Schöftland à Olten CHF 120 millions
  - Total CHF 490 millions

## Estimation financière

4'070 millions de CHF pour Roggwil à Altstetten

1'320 millions de CHF pour Schöftland à Olten

5'390 millions de CHF au total pour 70,8 km

### 6.4 Récapitulation des coûts des 3 variantes

L'analyse montre des différences financières entre les 3 variantes. Le montant de construction de la nouvelle ligne entre Roggwil et Altstetten, avec sa connexion entre Olten et Schöffland, varierait entre 5,060 et 6,160 milliards. Le projet Perrelet-Bosshard est estimé à 5,060 milliards.

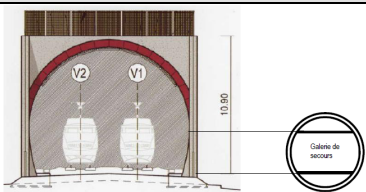
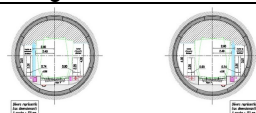

Projet Variante	Description sommaire	Coûts estimés	Différence par rapport au projet PB
<b>Variante 1</b> <b>Projet Perrelet - Bosshard</b>	 <p>1 tunnel bidirectionnel 100 m<sup>2</sup> + 1 galerie de secours 19m<sup>2</sup></p>	<p><b>Total</b> <b>5'060 millions</b></p> <p>Roggwil-Altstetten 3'850 millions Olten-Schöffland 1'210 millions</p>	<b>Base de référence</b>
<b>Variante 2A</b>	 <p>2 tubes unidirectionnels 80 m<sup>2</sup> par tube</p>	<p><b>Total</b> <b>6'160 millions</b></p> <p>Roggwil-Altstetten 4'620 millions Olten-Schöffland 1'540 millions</p>	<p><b>+ 1'100 millions</b></p> <p>+ 770 millions + 330 millions</p>
<b>Variante 2B</b>	 <p>2 tubes unidirectionnels 65 m<sup>2</sup> par tube</p>	<p><b>Total</b> <b>5'390 millions</b></p> <p>Roggwil-Altstetten 4'070 millions Olten-Schöffland 1'320 millions</p>	<p><b>+ 330 millions</b></p> <p>+ 220 millions + 110 millions</p>

Tableau 2 : Récapitulatif des coûts des 3 variantes

Les montants exprimés sont à interpréter avec précaution. Il convient de relever que la variante 2B avec 2 tubes de 65 m<sup>2</sup> offre un coût très similaire au tunnel bidirectionnel. Une réflexion doit donc se poser quand au choix du profil; par contre, le tracé n'est nullement remis en cause.

En aucun cas, le tracé n'est influencé par les 3 variantes de profil et reste constant en situation avec une longueur totale des 2 tronçons de 70,8 km. C'est donc bien le choix du profil qui détermine le coût final.

### 6.5 Comparaison entre les 3 variantes de profil

Techniquement, les 3 variantes de profil sont possibles, bien que financièrement, elles diffèrent de 20% entre la plus économique et la plus « onéreuse ». A ce stade, une analyse sommaire de faisabilité peut orienter le choix du profil.

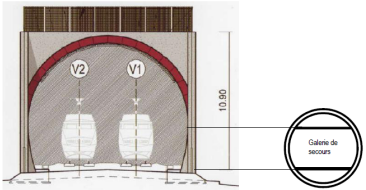


	<b>Variante 1 Projet Perrelet - Bosshard</b>	<b>Variante 2A</b>	<b>Variante 2b</b>
Profil type			
Description	1 tunnel bidirectionnel + 1 galerie de secours	2 tubes unidirectionnels	2 tubes unidirectionnels
Surface tube de circulation	Tube bidirectionnel 100 m <sup>2</sup>	<b>80 m<sup>2</sup></b> par tube, soit 160 m <sup>2</sup>	<b>65 m<sup>2</sup></b> par tube, soit 130 m <sup>2</sup>
Galerie de secours	19 m <sup>2</sup>	-	-
Coûts	5'060 millions	6'160 millions	5'390 millions
Longueur maximum recommandée	5.0 km (OFT)	Aucune	Aucune
Longueur sans intertube	800 m	500 m	500 m
Vitesse de circulation	320 km / h	320 km / h	320 km / h
Onde de pression: 1 seul train en circulation dans le tunnel	Très favorable à l'avancement de l'onde car très large section	Très favorable à l'avancement de l'onde car large section	Favorable à l'avancement de l'onde car section optimum
Onde de pression: 2 trains en circulation se croisant dans le tunnel	Très défavorable Rencontre de l'onde de pression lorsque les 2 trains se croisent	Très favorable Tube unidirectionnel donc pas de croisement de trains	Favorable Tube unidirectionnel donc pas de croisement de trains
Confort clients par rapport à l'onde de pression	Fort effet tympanique surtout lorsque 2 trains se croisent (rencontre des 2 ondes de pression)	Effet tympanique faible → bon confort	Effet tympanique moyen → confort moyen
Nouvelles orientations constructives des gestionnaires d'infrastructures	Tend à être abandonné pour les vitesses de 320 km/h	De plus en plus utilisé (RFF – CFF – DB) pour les vitesses de 320 km/h	En cours d'utilisation (RFF – CFF – DB) pour les vitesses de 320 km/h.

Tableau 3 : Comparaison des 3 variantes

Il est à relever la contrainte de longueur du tunnel bidirectionnel avec un maximum de 5,0 km selon les recommandations en vigueur. Ceci pourrait tendre à retenir le profil de 2 tubes unidirectionnels permettant une continuité de gabarit sur toute la ligne (uniformité des sections de tunnel).

## 7. Etapes suivantes

On rappelle en préalable à ce chapitre qu'il s'agit d'une étude liminaire. L'étape suivante a pour objectif de réaliser l'étude de faisabilité technique du tracé, de confirmer les coûts et de préciser notamment les caractéristiques géologiques des lignes. Une analyse détaillée des tronçons à réaliser et à modifier doit être entreprise (choix du tracé, plan détaillé, profil en long, ...).

Une diminution des coûts des tunnels est possible en réduisant leurs sections (voir les variantes) ou en réalisant, pour les tunnels les plus courts, mais au maximum pour une longueur de 800 m, une circulation bidirectionnelle (un tube de circulation à la place de deux). A noter que cet avantage s'amenuise s'il faut réaliser une galerie de sécurité pour les tunnels de plus de 800 m environ.

Une analyse aéraulique vis-à-vis du confort tympanique doit être entreprise, ainsi qu'une analyse de sécurité, de ventilation et de l'aéraulique en vue de comparer les différentes solutions que sont :

- un tunnel bidirectionnel de grande dimension avec une galerie de sécurité;
- deux tubes unidirectionnels (un par direction).

On constate que la vitesse influe grandement sur la section du tunnel, que ce soit en bi- ou en unidirectionnel. Une analyse de l'optimum section tunnel / vitesse permet de diminuer le coût des ouvrages.



## 8. Conclusions

Cette étude a permis d'établir une estimation sommaire des coûts pour la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse (320 km/h) entre Berne et Zurich avec une connexion en direction de Bâle.

L'estimation s'est basée sur les documents reçus de Perrelet-Bosshard et sur la comparaison avec des projets similaires ou ressemblants en Suisse et en France, mais sans établissement de profil en long.

On constate que, pour une ligne comprenant 64 % de tunnels, on aboutit à un coût de l'ordre de 70 à 80 millions de CHF/km<sup>1</sup>. Ainsi, pour la réalisation des tronçons de Roggwil à Altstetten et de Schöffland à Olten, d'une longueur totale de 70,8 km, on aboutit à un coût total oscillant entre 5,060 et 6,160 milliards de CHF (hors taxe et valeur 2011), tout en sachant que l'exploitation ferroviaire existante ne serait que très peu perturbée pendant la construction de la ligne. A l'opposé, les projets des CFF pour les travaux de quadruplement des voies sur une ligne historique entraveraient fortement l'exploitation ferroviaire.

Les futurs trains (en cours de développement chez les constructeurs ou déjà en présérie) seront de toute évidence davantage étanches à l'air et permettront de diminuer les variations de pressions ressenties par les voyageurs et générées par la circulation en tunnel, notamment par l'évolution favorable de leurs formes géométriques et de l'aérodynamisme. De même, on pourrait réaliser des constructions dans les tunnels permettant de diminuer les effets tympaniques (puits de décompression, intertubes à courtes distances). Ces évolutions permettront de faire varier les paramètres vitesse (à la hausse) et section d'air du tunnel (à la baisse).

Une analyse d'une couverture plus conséquente, voire totale de la ligne, comprenant des viaducs et des tronçons en surface couverts serait favorable à plusieurs égards : réduction des nuisances sonores et environnementales, sécurisation du site ferroviaire, propagation des ondes de pression et impacts fonciers diminués, pression des oppositions moins fortes,... pour un coût de l'ordre de 15-20 % supérieur.

Une comparaison entre le coût de cette nouvelle ligne (compris entre 5,1 et 6,2 milliards) et la mise à niveau de la ligne actuelle (tunnels de l'Eppenbergr, du Chestenberg et du Honeret pour un total de 6,2 milliards) met en évidence des montants du même ordre de grandeur. Mais les problèmes d'exploitation de la circulation actuelle n'est pas chiffrable à ce stade de l'étude, ni les conséquences d'un tel chantier sur une ligne historique.

Les études ultérieures devront confirmer les hypothèses et données retenues dans le cadre de ce rapport.

Yves Trottet

Eric Loutan

---

<sup>1</sup> Le contre-projet à l'initiative populaire "Pour les transports publics", intitulé "Financement et aménagement de l'infrastructure ferroviaire" (FAIF), page 123, annonce un coût de 1,9 milliard pour la construction d'une troisième voie entre Renens et Allaman. La longueur étant de 16 km, on calcule un coût de près de 120 millions/km. Il ne s'agit dans ce cas "que" d'une troisième voie à réaliser le long de la ligne existante, soit sur un site en grande partie déjà construit.