



## **Fiches techniques : analyse détaillée des dix ouvrages examinés**

Document séparé du rapport « Construction de tunnels autoroutiers : l'évolution des coûts est-elle sous contrôle ? »

**Impressum**

<b>Edition et diffusion</b>	© Contrôle fédéral des finances (CDF), <a href="http://www.efk.admin.ch/">http://www.efk.admin.ch/</a>
<b>Numéro de commande</b>	1.7367.806.00293.11
<b>Complément d'informations</b>	Centre de compétences « Audit de rentabilité et évaluation », CDF, e-mail : <a href="mailto:laurent.cremieux@efk.admin.ch">laurent.cremieux@efk.admin.ch</a> , tél. 031 323 11 12.
<b>Langue du texte original</b>	Français
<b>Reproduction</b>	Autorisée. Merci de mentionner la source.

**Table des matières**

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1. Tunnel du Raimeux et tunnel de la Roche St-Jean</b>	<b>4</b>
<b>2. Tunnel du Kirchenwald et tunnel de liaison</b>	<b>18</b>
<b>3. Tunnel de Flüelen</b>	<b>28</b>
<b>4. Tranchée couverte d'Altendorf</b>	<b>42</b>
<b>5. Tunnel de Concise</b>	<b>51</b>
<b>6. Tunnel de Glion</b>	<b>59</b>
<b>7. Tunnel de l'Aescher</b>	<b>68</b>
<b>8. Tranchée couverte d'Opfikon</b>	<b>77</b>
<b>9. Tunnel d'Uetliberg</b>	<b>85</b>

## Introduction

Ce document contient la synthèse complète des dix ouvrages étudiés par le CDF dans le cadre du projet *Construction de tunnels autoroutiers : l'évolution des coûts est-elle sous contrôle ?* Chaque ouvrage étudié est ainsi décrit selon ses caractéristiques générales (références, longueur, genre des travaux effectués, situation de l'ouvrage, etc.). De plus, de nombreuses informations concernant l'organisation de projet et des travaux, les grandes étapes et les événements particuliers qui ont marqué le projet dans les phases de planification et d'exécution des travaux, un tableau de synthèse des coûts des projets ainsi que les points forts et faibles du projet sont décrits de manière précise et détaillée.

Les tableaux exposant l'évolution des coûts pour chaque phase du projet ont été créés pour chaque objet et concernent les travaux de génie civil et les coûts pour les équipements électromécaniques. Les coûts concernant la gestion de projet et l'acquisition de terrain n'ont pas été pris compte dans la reconstitution des données car il n'était pas possible de les isoler pour chaque objet. C'est notamment le cas pour les ouvrages d'Uetliberg et d'Aescher qui font partie du grand projet de contournement ouest de Zurich. Pour les monographies qui concernent les tunnels du Kirchenwald, Glion et Flüelen, les coûts pour l'acquisition de terrain et la gestion de projet apparaissent dans le tableau mais ils ont bien entendu été déduits.

Pour les dix projets étudiés, l'exécution des travaux s'est répartie selon trois domaines généraux, à savoir le génie civil, les travaux de second œuvre et les équipements électromécaniques.

Il est à noter qu'il est parfois difficile de définir exactement quels éléments sont regroupés sous la catégorie « coûts pour les équipements électromécaniques » et second œuvre. Certains projets regroupent ensemble les catégories « équipements électromécaniques », « second-œuvre », « ventilation », « défense incendie », alors que d'autres projets considèrent ces éléments de manière séparée. Par conséquent, le CDF a parfois été obligé de faire une estimation des coûts lorsque ces derniers n'étaient pas isolables. C'est par exemple le cas pour les équipements électromécaniques du tunnel de Concise qui concernaient trois objets de l'autoroute A5 (tunnels de Concise et de la Lance ainsi que la Galerie d'Onnens).

Dans les sous-chapitres décrivant les points forts et faibles des projets, il est question de l'influence du travail de la task-force mise en place par l'ancien vice-directeur de l'OFROU, Monsieur Michel Egger, suite aux graves accidents au Mont-Blanc, au Tauern et au Gothard. Concrètement, il s'agit d'un groupe de travail dont l'objectif consistait à étudier plusieurs questions touchant à la sécurité des tunnels. Des propositions ainsi que de nouvelles directives pour augmenter la sécurité dans les tunnels et les galeries ont été émises par cette task-force. La plupart des ouvrages retenus ont alors connu des changements de projet.

Le CDF ne garantit pas l'exactitude des données de base. Il s'est exclusivement basé sur les documents qui ont été transmis par les cantons.

## 1 TUNNEL DU RAIMEUX ET TUNNEL DE LA ROCHE ST-JEAN

### Introduction

Toutes les informations demandées par le CDF ont été transmises par le Service des ponts et chaussées de Berne et concernent le projet dans son ensemble, c'est-à-dire les tunnels du Raimeux, de la Roche St-Jean et le tracé de la Combe Chopin (la construction du viaduc de la Combe Chopin faisant partie d'un autre projet). Pour le traitement des données financières, le CDF a dû extraire des coûts globaux du projet, les coûts spécifiques qui concernent chaque objet. C'est pour cette raison que trois tableaux retraçant les coûts et l'évolution des coûts sont présentés ci-dessous. Le premier tableau concerne le tunnel du Raimeux, le deuxième tableau concerne le tunnel de la Roche St-Jean et le troisième tableau englobe les coûts du projet dans son ensemble (Raimeux, Roche St-Jean, tracé de la Combe Chopin et d'autres prestations).

Le CDF n'a par contre pas reçu d'information concernant le coût de la galerie de sécurité creusée pendant la phase de planification.

### 1.1 Caractéristiques des ouvrages

Nom	Tunnel du Raimeux (BE)
A quel projet l'objet se rattache-t-il ?	Projet tunnels du Raimeux, de la Roche St-Jean et viaduc de la Combe Chopin
Références	N16, Route nat. de 2 <sup>e</sup> classe, section entre Boncourt et Bienne, tronçon La Roche St-Jean - Court, Lot R1 (comprenant les tunnels du Raimeux et de la Roche St-Jean et le tracé de la Combe Chopin mais pas le viaduc), km 46.91 - km 47.01
Genre des travaux effectués	Construction nouvelle
Opportunité du projet	L'A16 permet de relier le Jura et le Jura bernois au réseau existant des routes nationales et vise à encourager le développement économique, social et culturel de cette région
Situation de l'ouvrage	Le tunnel du Raimeux se situe sur le territoire des communes de Roches, Moutier, Belprahon (région du Jura bernois) et Eschert (JU)
Longueur	3'211 mètres (m)
Données techniques et caractéristiques	Un tube bidirectionnel à deux voies de circulation d'une largeur de 3,75 m chacune et une galerie de sécurité. Il s'agit du tunnel le plus long de l'A16 dans le Jura bernois
Méthode d'excavation	Excavation par méthodes traditionnelles : minage dans la roche calcaire et machine à attaque ponctuelle - haveuse - dans les marnes et dans la molasse

<b>Terrain à excaver</b>	Calcaires et marnes sur 2'615 m et molasse sur 500 m
<b>Environnement immédiat</b>	Cadre géologique complexe avec roches de natures diverses (calcaires, marnes et molasse) ; plusieurs anticlinaux et synclinaux recoupés par des failles

<b>Nom</b>	<b>Tunnel de la Roche St-Jean (BE - JU)</b>
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Projet tunnels du Raimeux, de la Roche St-Jean et le viaduc de la Combe Chopin
<b>Références</b>	N16, Route nat. de 2 <sup>e</sup> classe, section entre Boncourt et Bienne, tronçon La Roche St-Jean - Court, Lot R1 (tunnels du Raimeux et de la Roche St-Jean et tracé de la Combe Chopin)
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle
<b>Opportunité du projet</b>	L'A16 permet de relier le Jura et le Jura bernois au réseau existant des routes nationales et vise à encourager le développement économique, social et culturel de cette région
<b>Situation de l'ouvrage</b>	Le tunnel de la Roche St-Jean se situe à cheval entre les cantons de Berne (commune de Roches) et du Jura (communes de Rebeuvelier et de Courrendlin)
<b>Longueur</b>	211 m
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Un tube à deux voies de circulation d'une largeur de 3,75 m chacune ainsi qu'une voie d'arrêt d'une largeur de 2,5 m
<b>Méthode d'excavation</b>	Excavation par méthodes traditionnelles
<b>Terrain à excaver</b>	Rocher calcaire et marnes
<b>Environnement immédiat</b>	Hautes falaises rocheuses qui surplombent l'ouvrage (sur lesquelles des travaux de purge et des stabilisations locales ont été effectuées) et une route cantonale qui se situe en contrebas

## 1.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du Canton de Berne, <b>Office des Ponts et Chaussées (OPC) du Canton de Berne</b>  Chef de projet et responsable de l'A16 : M. Zürcher Chefs de projet et responsables des tunnels du Raimeux et de la Roche St- Jean : M. Roth puis M. Quadri
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	<b>Office des Ponts et Chaussées (OPC) du Canton de Berne</b>  Responsables : M. Roth puis M. Quadri
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Office des Ponts et Chaussées (OPC) du Canton de Berne</b>  Responsables : M. Aubry puis M. Meyrat
<b>Ingénieurs conseillers</b>	<b>Ingénieur civil</b> <b>Consortium d'étude du tunnel du Raimeux GVH-BG : BG</b> Ingénieurs-Conseils SA et GVH Tramelan SA  <b>Géologie</b> <b>MFR Géologie-géotechnique, Bienne</b>
<b>Entrepreneur principal (génie civil)</b>	« <b>Groupement Tunnel du Raimeux (GTR)</b> » Marti Tunnelbau SA (entreprise pilote), Marti SA, Parietti et Gindrat SA, Pro Routes SA et Georges Chételat SA

## 1.3 Les grandes étapes du projet

<b>1991-1999 : Phase de planification</b>	
<b>Juillet 1991</b>	Projet général de la section Boncourt-Bienne
<b>Novembre 1995</b>	Avant-projet du tunnel du Raimeux
<b>1996</b>	Réalisation de la galerie de reconnaissance du tunnel du Raimeux ou « galerie de sécurité » utilisée comme galerie de transport du marin et voie d'accès durant le chantier. Les coûts de ces travaux ne sont pas connus
<b>Janvier 1997</b>	Projet définitif, section Roche St-Jean - Bienne
<b>14 avril 1998</b>	Approbation du projet par le DETEC
<b>6 juillet 1998</b>	Projet définitif et devis définitif des tunnels du Raimeux et de la Roche St-Jean ainsi que de la Combe Chopin. Les caractéristiques techniques et financières ainsi que le niveau de précision du projet définitif correspondent plutôt à un projet de détail en comparaison avec les projets de détail des autres objets sélectionnés

<b>Août 1998</b>	Publication de la mise en soumission
<b>Septembre 1998</b>	<b>Rapport de Lombardi SA</b> : Sur demande du Contrôle cantonal des finances de Berne, le bureau d'ingénieurs Lombardi SA a procédé à l'examen du projet du tunnel du Raimeux pour une utilisation économique et rationnelle des moyens financiers
<b>Mars 1999</b>	Approbation du projet de détail par l'OFROU
<b>Juin 1999</b>	Adjudication des travaux
<b>27 septembre 1999</b>	Signature du contrat principal de génie civil
<b>1999-2005 : Phase d'exécution des travaux de gros-œuvre</b> <b>2005-2007 : Travaux de second-œuvre</b>	
<b>Septembre 1999</b>	Début des travaux préparatoires (installations de chantier, portails)
<b>1 octobre 1999</b>	Modification de projet : donnant suite à une demande de l'OFROU, le concept de ventilation du tunnel du Raimeux est adapté pour avoir une meilleure abstraction des fumées. Construction d'une dalle de ventilation et rehaussement du profil pour un coût d'environ 9 millions de francs
<b>Mars 2000</b>	Début des travaux souterrains avec le portail sud du tunnel du Raimeux
<b>5 juillet 2000</b>	Avenant d'environ 2,6 millions de francs pour modifications de projet dues aux conditions rencontrées ( <b>géologie</b> , décharges, dépôts de matériaux, sécurité, etc.). Il s'agit à la fois de facteurs internes et externes au projet
<b>15 octobre 2001</b>	Avenant d'environ 2,75 millions de francs pour les conditions géologiques de la Combe Chopin, le glissement du 22 septembre 2000 et les mesures de soutènement « Combe Chopin »
<b>Janvier 2003</b>	<b>Deuxième rapport de Lombardi SA</b> sur le suivi du contrôle des coûts pour le Tunnel du Raimeux, sur demande du Contrôle cantonal des finances de Berne
<b>Début 2004</b>	Fin des travaux d'excavation du Raimeux, début des travaux d'excavation du tunnel de la Roche St-Jean
<b>7 juillet 2004 à décembre 2004</b>	Avenants de 3,3 millions de francs (montant total). Modifications et adaptations de projet pour <b>plusieurs prestations qui n'étaient pas prévues dans l'offre principale</b> (quantités)
<b>2005</b>	Six avenants pour un montant total d'environ 1,65 millions de francs pour augmentations de quantités par rapport au contrat principal de génie-civil ou pour des <b>prestations non prévues dans l'offre principale</b>

<b>27 mars 2006</b>	Traitement exceptionnel du <b>renchérissement</b> sous la forme d'un avenant (25,5 millions de francs)
<b>8 mai 2006</b>	Avenant d'environ 5,7 millions de francs pour <b>modifications de quantités par rapport au contrat principal de génie civil</b> (béton projeté, soutènements métalliques, remplissages de béton, etc.)
<b>4 juillet 2007</b>	Dernier avenant portant le montant total des avenants à 55,8 millions de francs, y compris l'avenant pour le renchérissement
<b>30 novembre 2007</b>	Inauguration conjointe avec le tunnel de la Roche St-Jean et mise en service

#### 1.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel du Raimeux				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
1991	Projet général / Tronçon Roches - Reconvilier	Install. de chantier, travaux de construction, équipement, projet, direction des travaux et imprévus (env. 15%)	177'500'000	91%
1995	Avant-projet / Tunnel du Raimeux	Galerie pilote, tunnel, portails nord et sud, caverne de ventilation, puits et cheminée (non compris l'accès à la cheminée et les aménagements extérieurs) : 145'400'000 Total (y c. divers et imprévus 15%) : 167'210'000	167'210'000	85%
1997	Projet définitif / Roche St-Jean - Bienne	Galerie simple, construction y compris travaux de revêtement, installations électromécaniques, équipement, galerie de secours, puits d'aération et 15% imprévus	150'000'000	77%
1998	Projet définitif / Tunnel du Raimeux, Tunnel de la Roche St- Jean et Combe Chopin	Travaux de construction : 147'061'800 Equipements EM : 18'200'000 Autres équipements : 2'000'000 Total 1 : 167'261'800 Total 2 (y c. divers et imprévus 10%) : 183'987'980 Total 2 + TVA (6,5%) : 195'947'199	195'947'000	100%
1999 à 2008	Contrats	Travaux de construction : 108'261'203 Second œuvre : 1'934'764 Equipement EM : 16'156'580 Total contrats : 126'352'247	126'352'000	64%

1999 à 2008	Avenants	Travaux de construction <sup>1</sup> :	46'735'749	24'100'000	12%
		Renchérissment y inclus :	-22'950'206		
		Second œuvre :	52'046		
		Equipement EM :	261'983		
	Total avenants :	24'099'573			
	Coûts contractuels	Contrats :	126'352'000	150'452'000	76%
		Avenants :	24'100'000		
	Renchérissment <sup>2</sup>	Travaux de construction :	22'950'205,65	22'950'000	12%
		Second œuvre :	--		
		Equipement EM :	--		
		Total renchérissement effectif :	22'950'205,65		
2008	Facture finale provisoire <sup>3</sup>	Travaux de construction :	159'387'873	177'794'000	91%
		Second œuvre :	2'045'057		
		Equipement EM :	16'361'209		
		Total facture finale provisoire :	177'794'139		

Tunnel de la Roche St-Jean					
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%	
1991	Projet général	Install. de chantier, travaux de construction, équipement, projet, direction des travaux et imprévus (env. 15%)	6'000'000	38%	
	Avant-projet	N'existe pas pour le tunnel de la Roche St-Jean			
1997	Projet définitif	Galerie simple, construction y compris travaux de revêtement, installations électromécaniques, équipement, galerie de secours, puits d'aération et imprévus (15%)	6'100'000	39%	
1998	Projet définitif	Travaux de construction :	12'631'400	15'770'000	100%
		Equipements EM :	830'000		
		Autres équipements :	--		
		Total 1 :	13'461'400		
		Total 2 (y c. divers et imprévus 10%) :	14'807'540		

<sup>1</sup> Montant qui comprend le renchérissement.

<sup>2</sup> Le renchérissement est comptabilisé dans les avenants puisqu'il a été traité exceptionnellement en tant que tel par le SPC Berne.

<sup>3</sup> Le montant de la facture finale présente un surcoût d'environ 4 millions de francs. Il s'agit de la différence entre les contrats + avenants et les coûts finaux. Ce surcoût est peut-être dû au fait que la facture transmise par le Service des ponts et chaussées de Berne est encore provisoire, qu'elle ne compte pas encore tous les coûts et qu'il y a eu un retard dans le bouclage des comptes.

		Total 2 + TVA (6,5%) :	15'770'030		
	Contrats	Travaux de construction :	7'893'934	9'895'000	63%
		Second œuvre :	164'345		
		Equipement EM :	1'836'551		
		Total contrats :	9'894'830		
	Avenants	Travaux de construction :	2'939'215	2'956'000	19%
		Second œuvre :	--		
		Equipement EM :	17'184		
		Total avenants :	2'956'399		
	Coûts contractuels	Contrats :	9'895'000	12'851'000	82%
		Avenants :	2'956'000		
	Renchérisssement	Travaux de construction :	3'424'506	3'425'000	22%
		Second œuvre :	--		
		Equipement EM :	--		
		Total renchérissement effectif :	3'424'506		
2008	Facture finale provisoire (y c. renchérissement)	Travaux de construction :	16'796'571	18'607'000	118%
		Second œuvre :	237'539		
		Equipement EM :	1'573'062		
		Total facture finale provisoire :	18'607'172		

Tunnel du Raimeux, de la Roche St-Jean, tracé de la Combe Chopin et d'autres prestations				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts totaux	%
1991	Projet général	Install. de chantier, travaux de construction, équipement, <b>projet, direction des travaux et imprévus (env. 15%)</b> Tunnel du Raimeux : 177'500'000 Tunnel de la Roche St-Jean : 6'000'000 Total : 183'500'000	183'500'000	
1995	Avant-projet	Galerie pilote, Tunnel, portails Nord et Sud, caverne de ventilation, puits et cheminée (non compris l'accès à la cheminée et les aménagements extérieurs) Tunnel du Raimeux : 145'400'000 Total (y c. divers et imprévus 15%) : 167'210'000	167'210'000	

1997	Projet définitif 1	Galerie simple, construction, travaux de revêtement, install. électromécaniques, équipement, galerie de secours, puits d'aération et <b>imprévus (15%)</b> Tunnel du Raimeux : 150'000'000 Tunnel de la Roche St-Jean : 6'100'000	156'100'000	
1998	Projet définitif 2	<b>Tunnel du Raimeux</b> Travaux de construction : 147'061'800 Equipements EM : 18'200'000 Autres équipements : 2'000'000 Total 1 : 167'261'800 Total 2 (y c. divers et imprévus 10%) : 183'987'980 Total 2 + TVA 6,5% : 195'947'199  <b>Tunnel de la Roche St-Jean</b> Travaux de construction : 12'631'400 Equipements EM : 830'000 Autres équipements : -- Total 1 : 13'461'400 Total 2 (y c. divers et imprévus 10%) : 14'807'540 Total 2 + TVA 6,5% : 15'770'030  <b>Combe Chopin</b> Travaux de construction : 5'355'000 Total (y c. divers et imprévus 10%) : 5'890'500 Total + TVA 6,5% : 6'273'382 Total Raimeux, Roche St-Jean, C. Chopin : 217'990'611	217'991'000	
	Contrats	<b>Tunnel du Raimeux</b> Travaux de construction : 108'261'203 Second œuvre : 1'934'764 Equipement EM : 16'156'580  <b>Tunnel de la Roche St-Jean</b> Travaux de construction : 7'893'934 Second-œuvre : 164'345 Equipement EM : 1'836'551  <b>Combe Chopin</b> Travaux de construction : 4'309'955  <b>Autres prestations</b> Travaux de construction : 833'698 Second-œuvre : 2'396'820 Equipement EM : 395'416 Total contrats : 144'182'966	144'183'000	

	Avenants	<b>Tunnel du Raimeux</b> Travaux de construction : 46'735'749 Second-œuvre : 52'046 Equipement EM : 261'983  <b>Tunnel de la Roche St-Jean</b> Travaux de construction : 2'939'215 Second-œuvre : -- Equipement EM : 17'184  <b>Combe Chopin</b> Travaux de construction : 5'693'367  <b>Autres prestations</b> Travaux de construction : 728'872 Second œuvre : 468'891 Equipement EM : -- Total avenants : 56'897'308	56'897'000	
	Renchérissement	<b>Tunnel du Raimeux</b> Travaux de construction : 22'950'206 Second-œuvre : -- Equipement EM : --  <b>Tunnel de la Roche St-Jean</b> Travaux de construction : 3'424'506 Second œuvre : -- Equipement EM : --  <b>Combe Chopin</b> Travaux de construction : 665'234 Travaux de construction : --  <b>Autres prestations</b> Travaux de construction : 473'741 Second-œuvre : -- Equipement EM : -- Total renchérissement effectif : 27'513'726	27'514'000	
2008	Facture finale provisoire	<b>Tunnel du Raimeux</b> Travaux de construction : 159'387'873 Second-œuvre : 2'045'057 Equipement EM : 16'361'209	211'288'000	

		<b>Tunnel de la Roche St-Jean</b>		
		Travaux de construction :	16'796'571	
		Second-œuvre :	237'539	
		Equipement EM :	1'573'062	
		<b>Combe Chopin</b>		
		Travaux de construction :	4'831'575	
		Travaux de construction :	4'178'157	
		<b>Autres prestations</b>		
		Travaux de construction :	2'512'717	
		Second-œuvre :	2'984'162	
		Equipement EM :	380'304	
		Total facture finale provisoire :	211'288'225	

## 1.5 Description des points forts et des points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

La première estimation de coût pour le tunnel du Raimeux a été établie en 1991 dans le devis du projet général du tronçon Roches - Reconvilier de la N16 Transjurane. A ce stade du projet, l'ouvrage du Raimeux est estimé à 177'500'000 francs. Cette estimation recouvre les installations de chantier, les travaux de construction, les équipements, le projet, la direction des travaux et les imprévus.

### Phase de planification / Approbation du projet

La phase de planification s'est étendue de 1991 à 1998 et comporte plusieurs étapes officielles de « maturation » du projet (avant-projet, projet général, projet définitif de 1997 et projet définitif de 1998<sup>4</sup>). Fait particulier : cette phase de planification a été ponctuée de deux rapports demandés au bureau d'ingénieurs Lombardi SA par le Contrôle cantonal des finances de Berne et qui visait notamment à évaluer la solidité de l'estimation financière du Tunnel du Raimeux (volonté d'avoir un deuxième avis sur le degré de précision du devis).

Le premier rapport<sup>5</sup> portait sur l'avant-projet et le projet définitif du Raimeux. Bien que des éléments financiers importants manquent pour donner un jugement définitif, comme les coûts concernant la centrale de ventilation ou les canaux techniques, ce rapport a fait tout de même état d'une estimation des coûts jugée plutôt trop élevée.

<sup>4</sup> Les caractéristiques techniques et financières ainsi que le niveau de précision du projet définitif de 1998 correspondent à un projet de détail et ont été considérés comme tel par le Service des ponts et chaussées de Berne.

<sup>5</sup> Rapport Nr. 596.9-R-1, février 1997.

Un deuxième rapport<sup>6</sup> a également jugé l'estimation des coûts trop élevée. Le CDF n'a pas pu savoir si cette expertise a eu un véritable impact sur le projet. On sait cependant que dans les prises de position élaborées par le canton, les avis divergent passablement. Par ailleurs, il semble que l'estimation des coûts n'a pas été revue à la baisse et il n'existe aucun deuxième devis plus précis basé sur les résultats de ces rapports.

#### Précision et base du devis

Le devis estimatif pour le lot principal de génie civil (tunnels du Raimeux et de la Roche St-Jean) est établi sur la base des plans du dossier d'approbation du 3 juin 1998. Les prix unitaires retenus sont tirés de soumissions de projets de tunnels comparables. Pas de précision concernant les tunnels pris en référence.

#### Structure du projet

Le projet définitif de 1998 (équivalent d'un projet de détail) comprenait les travaux de génie civil, les équipements électromécaniques et installations de chantier.

Les phases de soumission pour l'EM ont débuté alors que la construction du tunnel était déjà en route. Il n'y a pas eu de véritable coordination entre le génie civil et le domaine de l'EM (chefs de projet différents, contrats traités de manière séparée, etc.).

Les coûts du tunnel de la Roche St-Jean (génie civil, second œuvre et EM) sont assumés par les cantons de BE et du JU selon une convention particulière entre les deux maîtres d'ouvrages.

#### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Les critères d'adjudication retenus par le Maître de l'Ouvrage sont les suivants, **indiqués par ordre d'importance** :

- Montant de l'offre,
- Structure actuelle de l'entreprise, personnel, inventaire,
- Expérience, références dans les grands travaux souterrains,
- Fiabilité du programme des travaux et des cadences annoncées, valeurs techniques,
- Qualité des documents de l'offre,
- Respect des contraintes relatives à l'environnement.

Les offres qui remplissent les critères formels établis par le MO sont ensuite qualifiées pour une analyse de détail. Les autres offres sont écartées. S'ensuivent plusieurs séances au cours desquelles les entreprises retenues présentent leur offre. Une proposition d'adjudication est

<sup>6</sup> Rapport Nr. 596.9-R-5. A16, Transjurane : Tunnel du Raimeux. Bauprojekt 1998 - Projektprüfung hinsichtlich sparsamen Einsatz der finanziellen Mittel. A. Henke, Lombardi AG, septembre 1998.

finalement formulée sur la base de l'analyse de détail et des auditions des entreprises. En conclusion, c'est à l'entreprise la moins chère que les travaux ont été attribués.

#### Contrats et adjudication des travaux

Le contrat principal du Lot R1 a été attribué au Groupement/Consortium tunnel du Raimeux (GTR) avec Marti Tunnelbau AG, Berne comme entreprise pilote. Le montant total net de ce contrat est de 116'988'941,55 francs. Le lot R1 comprend la construction du tunnel du Raimeux et ses ouvrages annexes dont la caverne et le puits de ventilation, le tunnel Roche St-Jean et tracé de la Combe Chopin sauf les ponts y relatifs (ouvrages d'art). Ce montant inclut les régies (environ 4% du montant total net des travaux), la TVA et le rabais sur les travaux en régies de 10%.

Le contrat d'entreprise comporte deux particularités à relever :

1. Répartition spécifique des coûts entre les deux maîtres d'ouvrage (Berne et Jura) avec convention séparée qui règle les détails entre les deux cantons,
2. Rabais globalisé de 5 millions de francs sur la facture finale, négocié avec l'entreprise.

#### Conditions géologiques et géotechniques

Le projet du Raimeux et de la Roche St-Jean se situe dans l'environnement caractéristique des roches du Jura. Ainsi, l'avancement des travaux souterrains pour le Raimeux du sud au nord, à travers 560 m de Molasse alsacienne, a été marqué par la mauvaise qualité et l'hétérogénéité de la roche. Des imprévus géologiques (zones karstiques) ont été rencontrés, malgré les reconnaissances faites pendant la phase de planification (1996).

Des glissements de terrain ont eu lieu sur la partie à ciel ouvert entre le tunnel du Raimeux et le tunnel de la Roche St-Jean, ce qui a nécessité la sécurisation de l'endroit et la réalisation d'un mur de soutènement avec pieux. L'OFROU a approuvé cette modification de projet à l'automne 2001.

#### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

##### *1. Changement de responsables de projet*

Au niveau de la gestion de projet, trois grands changements de responsables ont eu lieu :

- Chef de projet de la direction générale des travaux (DGT),
- Chef de la direction locale des travaux (DLT),
- Directeur des travaux pour le Lot R1 Raimeux et Roche St-Jean.

Ces changements ont affecté le management général du projet et le suivi des travaux sur le chantier. Les relations entre le MO et les entreprises engagées sur le chantier ont pu en être altérées.

##### *2. Conditions géologiques*

Un glissement de terrain a nécessité des travaux supplémentaires de sécurisation et de protection du site.

### *3. Recours de la part des entreprises*

Le SPC de Berne a dû faire face à plusieurs recours de la part des entreprises, notamment concernant la durée contractuelle des travaux. Des retards dans les délais sont à l'origine de ces recours.

### *4. Renchérissment*

Pour le traitement du renchérissement, le SPC de Berne a fait une demande de crédit supplémentaire à l'OFROU sous la forme d'un avenant (25,5 millions de francs), ce qui n'est pas conforme aux procédures en vigueur.

### *5. Galerie de sécurité*

La galerie de sécurité a été construite pendant la phase de planification. Il s'agissait d'une galerie de reconnaissance qui est par la suite devenue une galerie de sécurité. Le CDF n'a pas reçu d'information à ce sujet.

### *Gestion administrative et financière du projet*

Des séances de chantier n'ont pas été organisées tous les quinze jours et il n'existe aucun journal de projet. En revanche, des séances de coordination ont été organisées une fois par mois avec l'OFROU et des rapports périodiques ont été adressés deux fois par an à l'OFROU. Ces rapports périodiques comprenaient les points suivants : l'état des travaux, les coûts, les délais, le suivi des contrats, les prestations et la qualité. Cependant, toutes les informations contenues dans ces rapports étaient traitées de manière superficielle.

La facture finale provisoire, c'est-à-dire pas encore approuvée n'était disponible qu'au mois d'août 2008. Le CDF a rencontré des difficultés pour identifier les coûts exacts de l'objet, surtout en ce qui concerne les avenants et leur répartition entre les tunnels du Raimeux, de la Roche St-Jean et le tracé de la Combe Chopin.

### *Modifications de projet*

Le tunnel du Raimeux a connu une grande modification de projet (ajout d'une dalle intermédiaire) demandé par l'OFROU juste après la remise des offres du 22 janvier 1999.

De plus, le projet a connu une prolongation des délais contractuels suite au report de la date du premier coup de pioche. En effet, des mesures d'assainissement de falaises et de protections du site ont dû être mises en place.

### *Causes de l'évolution des coûts*

Le projet Tunnel du Raimeux / Roche St-Jean et le tracé de la Combe Chopin regroupe 34 avenants pour un montant total d'environ 55,8 millions de francs.

Il existe cinq causes principales à l'évolution des coûts du projet :

- Modifications de projet exigées par l'OFROU, de l'ordre de 9 millions de francs pour la dalle intermédiaire
- Conditions géologiques rencontrées plus difficiles que prévues,
- Renchérissement important traité de manière exceptionnelle sous la forme d'un avenant (plus de 25,5 millions de francs),
- Nombreuses prestations complémentaires non prévues dans l'offre de base,
- Modifications de quantités non prévues dans l'offre de base.

Pour ces deux dernières évolutions de coûts, on peut souligner des manquements dans le devis et dans la base de l'appel d'offres.

#### Controlling des coûts

Pas de controlling des coûts particulier.

#### Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

Intervention de la part de l'OFROU juste avant le début de l'exécution des travaux pour l'ajout d'une dalle de ventilation et le rehaussement du profil de 45 cm, suite à l'augmentation de la norme de sécurité dans les tunnels. Ces modifications estimées à environ 9 millions de francs correspondent à un pourcentage d'un peu plus de 5% sur les coûts finaux du tunnel du Raimeux.

#### Equipements électromécaniques

L'attribution des contrats pour le domaine de l'électromécanique n'a pas suivi de procédure particulièrement claire. On constate une multitude de contrats et d'avenants entre le SPC de Berne ainsi que de très nombreux entrepreneurs différents.

#### Calcul du renchérissement

Le décompte des variations économiques s'est fait selon la méthode de l'indice spécifique d'ouvrage (MIS) avec la date de référence de 1999, date de l'adjudication des travaux. En revanche, le CDF n'a reçu aucune documentation concernant le calcul du renchérissement effectif.

## 2. TUNNEL DU KIRCHENWALD ET TUNNEL DE LIAISON

### Introduction

Les coûts des différents objets (tunnel du Kirchenwald et tunnel de liaison) n'ayant pas pu être isolés, le CDF a donc traité le projet dans son ensemble, c'est-à-dire les deux tubes du tunnel du Kirchenwald et le monotube du tunnel de liaison. Par ailleurs, le canton d'Obwald assume également une partie des coûts, mais étant donné que le CDF n'a reçu des informations financières qui ne concernent que le canton de Nidwald, l'ensemble des coûts du projet n'a pas pu être défini. Enfin, les informations reçues concernant la phase de planification n'ont pas toujours été suffisantes pour reconstituer précisément les caractéristiques et l'évolution des coûts de ces ouvrages (peu d'informations sur les contrats et sur les avenants). Pour reconstituer cette description, le CDF a donc principalement travaillé avec des rapports trimestriels.

### 2.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel du Kirchenwald et tunnel de liaison (NW)
A quel projet l'objet se rattache-t-il ?	Ce projet comprend la construction du tunnel du Kirchenwald, des mesures architecturales aux portails de Stansstad et Hergiswil, la nouvelle construction du pont de l'Obkirchen et la construction du tunnel de liaison A2/A8 en direction du Brünig
Références	Tunnel du Kirchenwald : A2, Route nat. de 1 <sup>e</sup> classe, section Lucerne-Gothard, embranchement Hergiswil-Acheregg, km 102'400 - km 105'000 Tunnel de liaison : A2/A8, Route nat. de 2 <sup>e</sup> classe, section Gothard-Brünig, km 85'030 - km 87'300
Genre des travaux effectués	Construction nouvelle et réaménagement de l'A2 et l'A8
Opportunité de l'ouvrage	Ce projet vise à sécuriser le principal axe routier nord-sud en Suisse (chutes de pierres en permanence) et à créer une liaison directe vers le Brünig
Situation de l'ouvrage	Le tunnel du Kirchenwald est situé dans le canton de Nidwald au bord du lac des Quatre-cantons, entre les localités d'Hergiswil (Portail Hergiswil) et de Stansstad (Portail Acheregg). Le tunnel de liaison est situé sur les cantons de Nidwald et d'Obwald
Longueur	Tube nord : 1'528 m Tube sud : 1'637 m Tunnel de liaison A2/A8 : 1'996 m
Données techniques et	Le tunnel du Kirchenwald comporte deux tubes à deux voies de circulation de 3,75 m chacune et des galeries de

<b>caractéristiques</b>	fuite adjacentes aux deux tubes, situées à intervalles réguliers tous les 210 à 300 m Le tunnel de liaison A2/A8, en direction de Brünig est directement relié au tube nord. Ce tunnel est composé d'un seul tube à une voie de circulation
<b>Méthode d'excavation</b>	Dans le matériau stable (partie principale du tunnel du Kirchenwald et du tunnel de liaison), avancement traditionnel à l'explosif. Dans le matériau meuble (170 m environ), une méthode particulière d'avancement (percements partiels et injections de ciment) avant l'excavation complète
<b>Terrain à excaver</b>	En partant des portails ouest des deux tubes du tunnel du Kirchenwald, une zone de matériau meuble s'étire sur environ 110 m. Le reste des deux tubes du tunnel du Kirchenwald est excavé dans des roches calcaires jusqu'aux portails est
<b>Environnement immédiat</b>	Le tunnel du Kirchenwald est situé directement en contrebas du Lopper (partie sud-est du Pilatus), juste à côté du lac. Le Lopper est composé d'une pente très raide et très rocailleuse d'où de fréquentes chutes de pierre peuvent se détacher

## 2.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Kanton Nidwald, Baudepartement, <b>Tiefbauamt Nidwald</b> Responsables du projet : M. Gut / M. Casiraghi Responsable EM : M. Tschuppert
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	Kanton Nidwald, Baudepartement, <b>Tiefbauamt Nidwald</b> Responsable : M. Stampfli
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Lombardi SA</b> Bureau d'ingénieurs, Minusio
<b>Entrepreneurs</b>	Plusieurs <b>consortiums</b> , dont : - ARGE Batigroup AG/Frutiger/Bilfinger+Berger/Garovi-Odermatt/Guidali (Baulos 321 : Tunnel im Fels) - ARGE AGFM/Murer AG/Zschokke/Gasser/RIVA/Prader <b>Et plus de trente entreprises indépendantes.</b>
<b>Ingénieurs principaux</b>	<b>Ingénieurs et coordination générale</b> Lombardi SA, Bureau d'ingénieurs, Minusio

	<p><b>Equipements électromécaniques</b></p> <p>R. Brüniger AG, Bureau d'ingénieurs, Ottenbach</p> <p><b>Equipements de ventilation</b></p> <p>HBI Haerter AG, Bureau d'ingénieurs, Zurich</p> <p><b>Technique et trafic</b></p> <p>SNZ Ingenieur planification SA, Zurich</p> <p><b>Environnement</b></p> <p>Basler + Hofmann SA, Zurich</p> <p><b>Mesures du tunnel</b></p> <p>Trigonet SA, Stans</p> <p><b>Surveillance des travaux à l'explosif</b></p> <p>IG ILF Bureau d'ingénieurs SA, Zurich</p> <p>Geotest SA, Zollikofen/Horw</p> <p><b>Zones de portails</b></p> <p>Slongo Röthlin + Partner SA, Bureau d'ingénieurs, Stans</p> <p>CES Bauingenieur AG, Hergiswil + Sarnen</p> <p>Plüss Meyer Partner, Lucerne</p>
--	--

### 2.3 Les grandes étapes du projet

<b>1986 - 1998 : Phase de planification</b>	
<b>Mars 1986</b>	Début de la phase de planification
<b>26 février 1988</b>	Mandat donné à Lombardi SA pour la préparation du projet général
<b>23 décembre 1988</b>	Remise du projet général, y inclut le rapport d'étude d'impact sur l'environnement (EIE) à l'OFROU pour approbation préalable
<b>29 mars 1989</b>	L'OFROU informe les cantons de Nidwald et d'Obwald de son approbation du projet général et que la mise à l'enquête publique peut être faite dans les cantons
<b>14 février 1991</b>	Décision du Conseiller fédéral Adolf Ogi de ne pas suivre la variante proposée par le conseil communal de Stansstad. Cette variante prévoyait une prolongation du tunnel du Kirchenwald sous le lac d'Alpnach jusqu'à Stansstad
<b>9 juillet 1993</b>	Approbation du projet général du tunnel du Kirchenwald et du tunnel de liaison A2/A8 par le Conseil fédéral
<b>19 décembre 1994</b>	Remise du projet définitif à l'OFROU par les conseils d'Etat de NW et d'OW pour approbation préalable
<b>27 janvier 1995</b>	Mise à l'enquête publique du projet définitif avec le rapport EIE
<b>1 juillet 1996</b>	Transmission du projet définitif par le conseil d'Etat NW au DETEC pour approbation après traitement de différents recours
<b>7 janvier 1997</b>	Approbation du projet définitif par le DETEC
<b>5 mai 1998</b>	Remise du projet de détail à l'OFROU par le Service des ponts et chaussées de NW
<b>1998 - 2008 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>Mai 1998</b>	Début des travaux dans les zones des portails Acheregg et Hergiswil de l'A2 (NW)
<b>Mars 2000</b>	Début des travaux dans le matériau meuble pour le tube nord du tunnel du Kirchenwald
<b>Novembre 2000</b>	Début des travaux de percement du tube sud du tunnel du Kirchenwald du côté de Stansstad
<b>Automne 2001</b>	Début des travaux de percement du tube nord du tunnel du Kirchenwald du côté de Stansstad

<b>Mars 2002</b>	Début des travaux dans la zone de portail Z'matt près de Alpnachstad pour le tunnel de liaison
<b>Décembre 2002</b>	Fin des travaux de percement pour le tube nord du tunnel de Kirchenwald
<b>23 mars 2003</b>	Fin des travaux de percement pour le tube sud du tunnel de Kirchenwald
<b>Été 2003</b>	Adjudication des travaux pour le percement du tunnel de liaison à un consortium sous la direction de Walo Bertschinger
<b>1 mars 2004</b>	Début des travaux de percement du tunnel de liaison au portail de Z'matt
<b>21 avril 2005</b>	Fin des travaux de percement du tunnel de liaison
<b>Juin 2005 - avril 2006</b>	Adaptation et assainissement de l'actuel tunnel du Lopper
<b>29 juin 2006</b>	Ouverture du tube sud du tunnel du Kirchenwald et remise en service du tunnel de bifurcation A8/A2 du Lopper
<b>Fin 2009</b>	Ouverture prévue du tube nord du tunnel du Kirchenwald ainsi que du tunnel de liaison A2/A8

#### 2.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel du Kirchenwald					
Date	Phase du projet	Sujet		Coûts de construction	%
1987	Avant-projet	1. Tube Kirchenwaldtunnel	82'400'000	162'500'000 (Base de prix 1987)	51%
		2. Tube Kirchenwaldtunnel	80'100'000		
		2. Tube Loppertunnel	82'500'000		
1988	Projet général  Part NW	1. Tube Kirchenwaldtunnel	109'200'000	190'800'000 (Base de prix 1988)	60%
		2. Tube Kirchenwaldtunnel	81'600'000		
		2. Tube Loppertunnel (inclus 10% pour imprévus)	39'100'000		
1994	Projet définitif  Part NW	Travaux de construction :	229'150'000	257'800'000 (Base de prix 1998)	81%
		Equipements EM :	28'650'000		
		Projet + Terrain :	23'650'000		
		Total (incl 6,2% TVA) :	281'450'000		
2001	Projet de détail  Devis réactualisé	Travaux de construction :	273'500'000	320'000'000 (Base de prix 1998)	100%
		Equipement EM :	46'500'000		
		Projet + terrain :	39'200'000		

	Part NW	Total Kirchenwaldtunnel : (incl. 7,5% TVA)	359'200'000		
2002	Décision des autorités cantonales NW	Kirchenwaldtunnel : Projet + terrain : Achereggbrücke : Total :	320'000'000 39'200'000 15'000'000 374'200'000	320'000'000	
	Changements de projet  Part NW	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total Kirchenwaldtunnel : (incl. 7,5% TVA)	24'450'000 5'600'000 4'500'000 34'550'000	30'050'000 (Base de prix 1998)	9%
	Renchérissement gris	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total renchérissement :	13'919'151 5'066'980 0 18'986'131	18'986'000	6%
1998 à 2008	Contrats	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total contrats : (incl. 7,5% TVA)	235'995'571 44'513'683 21'532'944 302'042'198	280'509'000	88%
	Avenants	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total avenants : (incl. 7,5% TVA)	70'414'089 5'162'742 18'207'579 93'784'410	75'577'000	23%
	Coûts contractuels	Contrats : Avenants :	280'509'000 75'577'000	356'086'000	111%
	Renchérissement effectif	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total renchérissement :	33'087'627 109'649 1'069'627 34'266'903	33'197'000	10%
2007	Estimation coûts finaux  (inclus rench. et TVA)	Travaux de construction : Equipement EM : Projet + terrain : Total coûts estimés :	324'200'000 51'900'000 53'200'000 429'300'000	376'100'000	117%

## 2.5 Description des points forts et des points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Les premières idées de projet se retrouvent dans le rapport de Lombardi SA, élaboré en 1987. A ce moment-là, trois phases de travaux étaient prévues :

1. Construction de deux tubes à deux voies de circulation du tunnel du Kirchenwald,
2. Construction d'un tube à une voie de circulation du tunnel de liaison,
3. Construction d'un deuxième tube pour le tunnel du Lopper entre Alpnach et Hergiswil (achèvement du réseau des routes nationales).

Alors que les travaux correspondant aux deux premières phases ont été exécutés, la troisième phase, à savoir la construction du tunnel du Lopper n'a finalement pas été réalisée. L'estimation des coûts pour les trois phases mentionnées ci-dessus était de 245 millions de francs. En 1988, Lombardi SA a élaboré un deuxième rapport (projet général) dans lequel l'estimation des coûts pour le tunnel du Kirchenwald et le tunnel de liaison du côté NW se porte au montant de 190,8 millions de francs.

### Phase de planification / Approbation du projet

La phase de planification s'est étendue de 1986 à 1998 et a permis l'étude de plusieurs variantes de projet. Ainsi plusieurs études de projet ont été faites et c'est le bureau d'ingénieurs Lombardi SA qui a reçu le mandat d'élaborer le projet du Kirchenwald. C'est ce même bureau qui a ensuite suivi le projet pendant toute la phase d'exécution des travaux.

### Précision et base du devis

Le devis de base de 1994 pour le tunnel de Kirchenwald et le tunnel de liaison s'élevait à 281,45 millions de francs et comprenait les travaux de construction, les équipements EM, la gestion de projet et l'achat du terrain. A titre comparatif, l'estimation des coûts faite par Lombardi SA en 1988 était de 190,8 millions pour les mêmes éléments. Le devis de base de 1994 a été modifié le 31.12.2001 avec un nouveau montant devisé à 359,2 millions de francs pour le tunnel de Kirchenwald et le tunnel de liaison.

### Structure du projet

L'organisation de ce projet est divisée entre les cantons de Nidwald et d'Obwald qui traitent leurs travaux respectifs de manière indépendante. Deux directions locales des travaux ont été mises en place pour les travaux de gros-œuvre. Le CDF ne s'est intéressé qu'à la partie du projet géré par le Service des ponts et chaussées de Nidwald.

### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Les mandats les plus importants ont suivi une procédure normale de mise en appels d'offres publique (Loi intercantonale sur les marchés publics). En outre, les contrats ont été établis selon différents critères, tels que la compétence de l'entreprise, leurs références, grandeur, etc.

### Contrats et adjudication des travaux

Les travaux ont été adjugés à plusieurs consortiums ainsi qu'à de très nombreuses entreprises indépendantes pour des montants variables. L'objet du contrat principal était le percement du tunnel du Kirchenwald dans le rocher pour un montant de 104,5 millions (Lot 321).

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Projet volumineux et très complexe*

Malgré la complexité du projet du tunnel du Kirchenwald et au vu de l'importance du volume des prestations qu'il englobait, la direction des travaux a plutôt bien maîtrisé les problèmes lors de l'exécution des travaux. Les travaux se sont d'ailleurs déroulés sans grand encombre, exactement selon le programme de chantier.

#### *2. Difficultés au niveau de la géométrie*

Quelques difficultés sont survenues au niveau de la géométrie, notamment aux différents endroits où les nouveaux tunnels se croisent avec l'autoroute et le tunnel du chemin de fer déjà existant.

#### *3. Conditions géologiques et géotechniques*

Il n'y a pas eu de surprises géologiques, ni de fameuses zones karstiques. En revanche, des zones infiltrées d'eau se trouvaient à la jonction entre le nouveau tunnel du Kirchenwald et le tunnel existant. Des travaux d'évacuation d'eau ont donc dû être entrepris.

#### *4. Galerie côté Hergiswil*

En cours de construction, la nouvelle galerie antibruit du côté d'Hergiswil est devenue une galerie couverte, alors qu'initialement elle ne devait être qu'une construction ouverte. Dès lors, les directives concernant les tunnels étaient à respecter et cette galerie a dû être équipée en conséquence.

### Gestion administrative et financière du projet

Concernant la répartition des travaux et des coûts entre les cantons d'Obwald et Nidwald, chaque canton gère de manière indépendante les travaux de génie civil qui sont situés sur son territoire et les finance en totalité. Par contre, les travaux qui concernent les équipements électromécaniques sont gérés par le Service des ponts et chaussées de Nidwald en totalité et le paiement se fait selon une clé de répartition spécifique négociée entre les deux cantons.

### Modifications de projet

Suite à l'intervention de la Task-force et à l'introduction des nouvelles normes de sécurité dans les tunnels, il a fallu modifier le projet du tunnel du Kirchenwald et prévoir de construire une dalle intermédiaire ainsi qu'un système d'extraction des fumées en cas d'incendie avec clapets. A cause de ces mesures, les coûts pour l'électromécanique ont augmenté d'environ 18 millions de francs (63% de plus que prévu initialement pour l'électromécanique).

Une autre modification de projet a eu lieu en 2000 et concerne la zone de portail d'Hergiswil où une galerie antibruit a été construite en complément.

### Causes de l'évolution des coûts

Concernant le tunnel de Kirchenwald et du tunnel de liaison, les coûts totaux entre le devis de 1994 et le devis réactualisé de 2001 sont passés de 281,45 millions à 359,20 millions de francs.

Les raisons principales de ces changements de coûts sont les suivantes :

- Honoraires (ingénieurs, géologues et Service des ponts et chaussées de Nidwald),
- Surcoûts liés aux procédures de recours et achat de terrain,
- Nouvelle estimation des coûts plus précise dans le cadre du projet de détail,
- Coûts complémentaires pour l'adaptation de la galerie antibruit aux nouvelles prescriptions de sécurité,
- Elargissement du lot du tunnel principal du Kirchenwald,
- Changements de projet dus aux nouvelles exigences de sécurité (Task-force).
- L'introduction de nouvelles directives concernant l'aération et la construction des tunnels.

### Controlling des coûts

Le controlling des coûts pour le projet de construction A2/A8 du tunnel de Kirchenwald et du tunnel de liaison (sur le territoire NW) est fait par le Service des ponts et chaussées de Nidwald. D'une part, les paiements sont saisis dans le système Argus (système informatique de controlling des coûts) où ils sont consignés avec les crédits d'engagement. Il s'agit de la comptabilité du chantier. D'autre part, la surveillance des coûts et des engagements financiers est menée par la direction des travaux sur la base des ordres de paiement effectués.

### Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

Plusieurs changements de projet ont eu lieu pendant l'exécution des travaux suite au rapport de la Task-force. Une galerie intermédiaire a été installée, ce qui a eu comme conséquence d'agrandir la coupe transversale du tunnel. Un système d'extraction des fumées en cas d'incendie a également été ajouté. Les coûts engendrés par ces mesures de sécurité complémentaires ainsi que les équipements électromécaniques qui s'y rapportent sont importants. Un coût de 34,5 millions de francs est mentionné dans le rapport d'étape N° 8.

Calcul du renchérissement

Le SPC de Nidwald a calculé le renchérissement gris (période qui s'étire entre le devis approuvé et la date de référence des contrats). Il s'élève à environ 19 millions de francs.

La méthode de calcul du renchérissement effectif pour les travaux principaux est la MIS (méthode d'indice spécifique d'ouvrage). Ce renchérissement effectif pour les travaux de construction et pour les équipements électromécaniques s'élève à environ 33 millions de francs.

### 3. TUNNEL DE FLÜELEN

#### Introduction

Ce projet englobe deux objets principaux : le tunnel de contournement de Flüelen et la galerie de sécurité du tunnel de Flüelen (SiSto), construite dans un deuxième temps pour des raisons de sécurité. Au niveau financier, SiSto a été considéré par le maître d'ouvrage comme un projet séparé, alors que fondamentalement, il s'agit en fait d'un complément de projet au tunnel de base. Au niveau de la qualité de l'information, le CDF a reçu de la documentation complète et précise, tant pour le tunnel que pour SiSto. De nombreux rapports sont disponibles et mentionnent notamment les causes de l'évolution des coûts (les changements de projet et les surcoûts). Par contre, il n'existe aucun bilan général regroupant les travaux du tunnel et de SiSto.

#### 3.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel de Flüelen (UR)
A quel projet l'objet se rattache-t-il ?	Tunnel de contournement de Flüelen
Références	N4, Route nat. de 2 <sup>e</sup> classe, section entre Holzhäusern et Seedorf, tronçon Flüelen nord - Flüelen sud
Genre des travaux effectués	Construction nouvelle et réaménagement de l'A4
Opportunité du projet	Alléger le village de Flüelen du trafic en constante augmentation de l'un des principaux axes routiers en direction du Gothard
Situation de l'ouvrage	La route de contournement s'étend du sud (frontière entre les communes de Flüelen et d'Altdorf) en direction de l'est (Hafnerried)
Longueur	L'ensemble du projet a une longueur de 3'330 m, dont 2'594 m de tunnel
Données techniques et caractéristiques	Le tunnel de Flüelen est constitué d'un tube à deux voies de circulation bidirectionnelle de 3,75 m chacune ainsi que de 22 niches de sécurité réparties tout au long du tunnel
Méthode d'excavation	Le matériau dur et abrasif ne peut être traversé qu'à l'aide d'un tunnelier avec bouclier de gros calibre
Terrain à excaver	Le tunnel se situe dans des roches de calcaires inférieurs et supérieurs spécifiques à la région géologique d'Altdorf. Ce type de terrain est en général d'une qualité médiocre pour la réalisation d'un tunnel. Dans les zones des portails, le tunnel passe par des zones de matériau meuble

<b>Environnement immédiat</b>	Le tunnel contourne le village de Flüelen au bord du bassin d'Uri (lac des Quatre cantons) et traverse la pente ouest de l'Eggberg
-------------------------------	--

<b>Nom</b>	<b>Galerie de sécurité du tunnel de Flüelen (UR)</b>
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	La galerie de sécurité « SiSto » a été ajoutée au projet du tunnel de contournement de Flüelen
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle
<b>Opportunité du projet</b>	Suite aux incendies survenus dans des tunnels, de nouveaux standards de sécurité sont apparus. La galerie de sécurité a été ajoutée et sert de voie de fuite en cas d'incendie
<b>Situation de l'ouvrage</b>	La galerie de sécurité s'étend parallèlement au tunnel de Flüelen
<b>Longueur</b>	2'472,5 m
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Le diamètre de la galerie est d'environ 4 m de diamètre intérieur. Tous les 250-300 m se trouvent des voies de fuites transversales qui relient le tunnel et la galerie
<b>Méthode d'excavation</b>	La galerie de sécurité est creusée à l'aide d'un tunnelier du nord au sud. Le matériel d'excavation est transporté à travers le nouveau tunnel de contournement jusqu'à un dépôt dans le lac. Etant donné que la galerie se trouve seulement à 20 m du tunnel principal, les conditions géologiques et de percement sont les mêmes
<b>Terrain à excaver</b>	La galerie à creuser se situe dans un environnement rocheux composé à environ 80% de grès « Unterer Altdorfer » et 20% de grès « Oberer Altdorfer »
<b>Environnement immédiat</b>	Comme pour le tunnel principal, la galerie de sécurité contourne le village de Flüelen au bord du bassin d'Uri (lac des Quatre cantons) et traverse la pente ouest de l'Eggberg

### 3.2 Organisation de projet et organisation des travaux

#### 3.2.1 Tunnel de contournement

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	<b>Baudirektion Uri</b> , Amt für Tiefbau, Altdorf  Chef de projet : M. Kocherhans
<b>Direction générale des travaux (DGT) jusqu'en 2001</b>	<b>Ingenieurgemeinschaft N4 Umfahrung Flüelen</b>  B+S Ingenieur AG, Altdorf  Smh Tunnelbau AG, Rapperswil  Ernst Winkler + Partner AG, Altdorf
<b>Direction générale des travaux (DGT) dès 2001</b>	<b>Ingenieurgemeinschaft N4 Flüelen</b>  IUB Ingenieur-Unternehmung AG, Amsteg  Edy Toscano AG, Zürich  B+S Ingenieur AG, Bern  Wolf, Kropf & Bachmann AG, Altdorf
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Ingenieurgemeinschaft Flüelen, Bauleitung</b>  Edy Toscano AG / B+S Ingenieur AG
<b>Ingénieurs conseillers</b>	<b>Geologie</b>  Dr. T.R. Schneider, Altdorf  CSD Ingenieure und Geologen AG, Altdorf  <b>Umwelt</b>  Ingenieur- und Beratungsbüro Walter Jauch, Altdorf
<b>Entrepreneurs (génie civil)</b>	<b>ARGE / Groupement d'entreprises</b>  Murer AG, Erstfeld (entreprise pilote), Prader AG, Zürich / Zschokke Locher AG, Zürich / CSC Impresa Costruzione SA, Lugano / Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, Aarau / ATAG Bau AG, Schattdorf / Bau AG Erstfeld / Gebr. Bonetti AG, Andermatt / Josef Baumann Söhne AG, Altdorf / Robert Gamma AG, Schattdorf / Adolf Infanger AG, Flüelen / Sicher Bau AG, Gurnellen  <b>Et plusieurs autres entreprises et consortiums</b>

### 3.2.2 Galerie de sécurité

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	<b>Baudirektion Uri</b> , Amt für Tiefbau, Altdorf  Chef de projet : M. Reck
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	IUB Ingenieur-Unternehmung AG
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>IG ProFlüelen</b>  Lombardi AG Beratende Ingenieure, Luzern  Locher AG, Zürich
<b>Ingénieurs conseillers</b>	Dr. Roland Wyss GmbH, Frauenfeld
<b>Entrepreneurs</b>	Implenia / Prader / Losinger

### 3.3 Les grandes étapes du projet

<b>1989-2000 : Phase de planification</b>	
<b>Mars 1989</b>	Projet général du tunnel de contournement de Flüelen et rapport technique
<b>19 janvier 1994</b>	Approbation du projet général du tunnel par le Conseil Fédéral
<b>Septembre 1997</b>	Projet définitif : mise à l'enquête, devis et détail des coûts du tunnel
<b>Février 1998</b>	Rapport technique (phase de mise à l'enquête du projet du tunnel)
<b>15 septembre 1998</b>	Approbation du projet définitif du tunnel par le canton d'Uri
<b>22 janvier 1999</b>	Elaboration du projet de détail et détail des coûts pour le tunnel
<b>5 mars 1999</b>	Rapport technique (phase du projet : projet de détail)
<b>23 mars 1999</b>	Approbation du projet définitif du tunnel par le DETEC
<b>10 mai 1999</b>	Approbation du projet de détail par l'OFROU
<b>2000-2005 : Phase d'exécution des travaux du tunnel</b>	
<b>30 septembre 1999</b>	Premier coup de pioche pour la construction du tunnel
<b>Automne 2001</b>	Décision de la part de la direction de projet du contournement de Flüelen d'examiner les standards de sécurité du tunnel
<b>13 juin 2002</b>	Rapport concernant la sécurité du contournement de Flüelen élaboré par les entreprises ASIT AG et US+FZ

<b>Septembre 2002</b>	Avant-projet pour étudier différentes variantes de voies de fuite
<b>16 décembre 2002</b>	Décision de la part de l'OFROU de construire une galerie de sécurité parallèle au tunnel
<b>12 juin 2003</b>	Elaboration du projet définitif concernant la galerie de sécurité
<b>20 avril 2004</b>	Décision des autorités cantonales d'Uri d'approuver le projet définitif de la galerie de sécurité
<b>1<sup>er</sup> juin 2005</b>	Projet de détail pour la galerie de sécurité
<b>18 juillet 2005</b>	Approbation du projet de détail de la galerie de sécurité par l'OFROU
<b>10 juin 2005</b>	Inauguration du tunnel
<b>Juillet 2005</b>	Début des travaux de la galerie de sécurité
<b>Fin 2005</b>	Fin des travaux du contournement de Flüelen
<b>Hiver 2006-2007</b>	Fin des travaux de finition et ajustements au tunnel principal
<b>Octobre 2007</b>	Mise en service de la galerie de sécurité

### 3.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel Flüelen				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
	Avant-projet	N'existe pas		
1989	Projet général	Travaux de construction : 130'400'000 Equipements EM : 16'900'000 Projet et terrain : 20'200'000 Total : 167'500'000	147'300'000	83%
1998	Projet définitif	Travaux de construction : 155'844'645 Equipements EM : 21'883'620 Projet et terrain : 24'015'750 Total : 201'744'015 (incl. 10% réserve et imprévus et 6,5% TVA)	177'728'000	100%
1998	Extrait du protocole de décision des autorités cantonales	« Die Kosten des Projektes betragen ca. CHF 200 Mio. und gehen zulasten der Nationalstrassenrechnung (Bau) ».	200'000'000	
1999	Projet de détail	Travaux de construction : 143'706'000 Equipement EM : 20'081'000 Projet et terrain : 24'241'250	163'787'000	92%

		Total (incl. 7,5% TVA) :	188'028'250		
1999	Approbation DETEC	« Die Kosten der Umfahrung Flüelen belaufen sich gemäss Voranschlag vom 5. Oktober 1998 auf CHF 188 Mio. »		163'787'000	
	Contrats	Travaux de construction :	144'002'000	161'302'000	91%
		Equipement EM :	17'299'849		
		Projet et terrain :	21'035'000		
		Total contrats :	182'336'849		
	Avenants	Travaux de construction :	23'769'000	27'001'000	15%
		Changements de projet :	18'159'000		
		Adaptations de projet :	9'814'500		
		Différence de quantités :	- 4'204'500		
		Equipement EM :	3'232'151		
		Changements de projet :	3'590'732		
		Adaptations de projet :	- 438'903		
		Différence de quantités :	80'322		
		Projet et terrain :	11'578'000		
		Changements de projet :	1'601'000		
		Adaptation de projet :	9'465'000		
		Différence de quantités :	512'000		
	Coûts contractuels	Contrats :	161'302'000	188'303'000	106%
		Avenants :	27'001'000		
	Renchérissment effectif	Travaux de construction :	14'669'000	14'869'000	8%
		Equipement EM :	200'000		
		Projet et terrain :	125'000		
2005	Estimation des coûts finaux (y c. rench. et TVA)	Coûts de construction :	182'440'000	203'172'000	114%
		Equipement EM :	20'732'000		
		Projet et terrain :	32'738'000		
		Total coûts estimés :	235'910'000		

Galerie de sécurité				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
	Avant-projet	N'existe pas		
	Projet général	N'existe pas		
2003	Projet définitif Estimation des coûts	Travaux de construction : 16'611'830 Equipements EM : 1'047'490 Projet et terrain : 1'883'000 Total : 19'542'320 (incl. 10% réserve et imprévus et 7,6% TVA)	17'659'000 (Base de prix 04.2003)	100%
2005	Projet de détail	Travaux de construction : 16'629'580 Equipement EM : 887'700 Projet et terrain : 1'883'000 Total : 19'400'280 (incl. 10% réserve et imprévus et 7,6% TVA)	17'517'000 (Base de prix 04.2003)  16'159'000 (sans 10% pour imprévus)	99%
2005	Approbation du projet de détail OFROU Base projet de détail	Travaux de construction : 15'117'800 Equipement EM : 880'000 (incl. 7,6% TVA)	15'998'000 (sans 10% pour imprévus)	
	Contrats incl. Avenants	Travaux de construction : 18'800'663 Equipement EM : 1'563'085 Projet et terrain : 1'967'745 Total contrats : 22'331'493	20'364'000	115%
2008	Renchérissment estimé	Selon « Rapport final » de ProFlüelen c/o Lombardi AG 1'412'720	1'413'000	8%
2008	Estimation des coûts finaux (avec renchérissement)	Coûts de construction : 17'558'733 Equipement EM : 1'551'347 Projet et terrain : 1'911'954 Total coûts estimés : 21'022'034 (incl. 7,6% TVA)	19'110'000	108%

Tunnel de Flüelen et galerie de sécurité				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
	Avant-projet	N'existe pas		
1989	Projet général	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 130'400'000 Equipements EM : 16'900'000 Projet + terrain : 20'200'000 Total : 167'500'000	147'300'000	75%
	Projet définitif	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 155'844'645 Equipements EM : 21'883'620 Projet et terrain : 24'015'750 Total : 201'744'015 (incl. 10% réserve et imprévus + 6,5% TVA)  <b>Sisto</b> Travaux de construction : 16'611'830 Equipements EM : 1'047'490 Projet et terrain : 1'883'000 Total : 19'542'320 (incl. 10% réserve et imprévus + 7,6% TVA)	195'387'000	100%
	Projet de détail Devis	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 143'706'000 Equipement EM : 20'081'000 Projet et terrain : 24'241'250 Total : 188'028'250 (incl. 7,5% TVA)  <b>Sisto</b> Travaux de construction : 16'629'580 Equipement EM : 887'700 Projet et terrain : 1'883'000 Total : 19'400'280 (incl. 10% réserve et imprévu et 7,6% TVA)	181'304'000	93%
	Contrats	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 144'002'000 Equipement EM : 17'299'849 Projet et terrain : 21'035'000 Total contrats : 182'336'849	181'666'000	93%

		<b>Sisto (inclus avenants)</b> Travaux de construction : 18'800'663 Equipement EM : 1'563'085 Projet et terrain : 1'967'745 Total contrats : 22'331'493		
	Avenants	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 23'769'000 Changements de projet : 18'159'000 Adaptations de projet : 9'814'500 Différences de quantité : - 4'204'500  <b>Equipement EM</b> 3'232'151 Changements de projet : 3'590'732 Adaptations de projet : - 438'903 Différence de quantité : 80'322  <b>Projet et terrain</b> 11'578'000 Changements de projet : 1'601'000 Adaptations de projet : 9'465'000 Différence de quantité : 512'000	27'001'000	14%
	Coûts contractuels	Contrats : 181'666'000 Avenants : 27'001'000	208'667'000	107%
	Renchérissement effectif	<b>Tunnel</b> Travaux de construction : 14'669'000 Equipement EM : 200'000 Projet + terrain : 125'000  <b>Sisto</b> Par rapport au devis de base 2003 : 8% de 17'659'000 1'412'720	16'282'000	8%
2005  Et  2008	Estimation des coûts finaux (inclus rench. et TVA)	<b>Tunnel</b> Coûts de construction : 182'440'000 Equipement EM : 20'732'000 Projet + terrain : 32'738'000 Total coûts estimés : 235'910'000  <b>Sisto</b> Coûts de construction : 17'558'733 Equipement EM : 1'551'347 Projet + terrain : 1'911'954 Total coûts estimés : 21'022'034 (incl. 7,6% TVA)	222'282'000	114%

### 3.5 Description des points forts et des points faibles du projet

#### Premières idées du projet / Première estimation de coût

La route qui traverse le village de Flüelen était alors l'une des principales liaisons nord-sud du Gothard et voyait son trafic augmenter continuellement. D'où la volonté de construire un tunnel de contournement. La première estimation de coût pour le tunnel de Flüelen a été établie en 1989 dans le devis du projet général. A ce stade du projet, l'ouvrage est estimé à 167'500'000 francs. Cette estimation recouvre les installations de chantier, les travaux de construction, les équipements électromécaniques, le projet et la direction des travaux ainsi que les imprévus.

#### Phase de planification / Approbation du projet

La phase de planification s'est étendue de 1989 à 1999 et comporte plusieurs étapes officielles de « maturation » du projet (projet général, projet de mise à l'enquête, projet définitif). En mars 1999, le DETEC a approuvé le projet pour un montant total de 188 millions de francs (tout compris). Pour la galerie de sécurité, la phase de planification a été plus courte. La nécessité de construire une galerie de sécurité est apparue directement suite aux incendies du Mont-blanc et du Tauern. L'estimation de coût pour la galerie était au stade de projet de mise à l'enquête d'environ 19,5 millions de francs (y c. 10% pour divers et imprévus et 7,6% de TVA).

#### Précision et base du devis

Le devis estimatif (1999) du tunnel de contournement a été établi sur différentes bases :

- Etudes de projet pour l'élaboration du projet de détail, dont la construction, la ventilation, les équipements électromécaniques et la signalisation,
- Base de prix de juillet 1997,
- Connaissances des coûts généraux (coûts de gestion interne de projet, coûts administratifs, etc.) du Service des ponts et chaussées d'Uri,
- Coûts pour l'acquisition de terrains après enquêtes du Service des ponts et chaussées d'Uri.

Le devis estimatif a également pris en compte une analyse des risques liés aux travaux de construction<sup>7</sup>.

#### Structure du projet

Jusqu'au projet de détail, les aspects de génie civil et d'EM ont été traités ensemble. Puis, un contrat principal génie civil a été attribué à l'ARGE TUF - Umfahrung Flüelen, alors que l'EM a été traité séparément.

La galerie de sécurité est un projet complémentaire traité de manière totalement séparée (chef de projet différent).

<sup>7</sup> Informations trouvées dans le rapport qui concerne le devis pour le projet de détail.

### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Il n'a pas été possible de retrouver l'information concernant les critères d'adjudication.

### Contrats et adjudication des travaux

Le contrat principal du Lot T1 (contournement de Flüelen) a été attribué au Groupement/ARGE TUF - Umfahrung Flüelen avec Murer AG Erstfeld comme entreprise pilote. Le montant total net de ce contrat est de 97'883'045.40 francs et comprend la construction du tunnel, les portails nord et sud, les installations de chantier, les voies de liaison entre le tunnel et les routes existantes, la centrale de ventilation et le puits de ventilation. Ce montant inclut 1'680'000 de francs de régies, la TVA à 7,5% et un rabais de 0,5%.

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### **Tunnel**

##### *1. Changement du groupement d'ingénieurs*

Dans le courant de l'année 2001, le groupement d'ingénieurs en charge de la direction générale des travaux a dû être remplacé. Cet important changement a eu lieu à cause des multiples manquements au niveau de la communication entre les ingénieurs responsables de la direction des travaux et le maître d'ouvrage. Cette période a été très difficile pour l'organisation du chantier et pour la gestion des travaux.

##### *2. Attribution des contrats*

Les travaux ont été adjugés en de nombreux petits lots ce qui a permis à différentes entreprises locales de participer aux travaux. Le nombre important de contrats attribués rend plus difficile la vision d'ensemble du contrôle des coûts.

#### **Galerie de sécurité**

##### *1. La planification des travaux*

Les travaux de percement et d'équipement de la galerie de sécurité se sont déroulés alors que les deux tubes du tunnel de contournement de Flüelen étaient en circulation.

##### *2. Le percement*

Le percement n'a pas été une tâche facile étant donné le diamètre de 4,75 mètres seulement et l'installation du tunnelier sur un tracé une courbe. Cela a demandé une préparation minutieuse de la part de la direction de projet et un travail précis de la part de l'entrepreneur. Cependant, le creusement n'a posé aucun problème. Il s'est donc déroulé sans surprise et sans spéculation car la géologie était déjà connue suite au percement du tunnel.

### *3. Equipements électromécaniques*

Les équipements électromécaniques pour la galerie de sécurité devant être similaires et compatibles avec ceux qui existaient dans les tunnels principaux, le jeu de la concurrence n'a pas pu fonctionner normalement et les offres se sont avérées plus chères que ce qui avait été prévu dans le devis.

#### Gestion administrative et financière du projet

- Pour les tunnels, un système plus ou moins similaire au journal de projet a été mis en place et permettait d'enregistrer chaque changement de projet mais le CDF n'a pas retrouvé ce document. Ce système mentionnait toujours la raison, les incidences des changements sur les coûts, les délais et la qualité des travaux. Par ailleurs, les changements de projet et leurs raisons étaient mentionnés dans chaque rapport d'étape et étaient donc documentés clairement et officiellement.
- La direction générale des travaux a reçu le mandat de faire une prévision permanente des coûts finaux. Ainsi, cette prévision était faite tous les trois mois.

#### Modifications de projet

Après l'introduction de nouveaux standards de sécurité dans les tunnels, le projet du tunnel de Flüelen a été complété par une galerie de sécurité (approbation du projet par le DETEC en mai 2005). Cette galerie de sécurité peut être empruntée comme voie de fuite en cas d'incendie. Cette galerie se situe du côté lac du tunnel et mesure 2,5 km. Les travaux ont été initiés en juillet 2005 et c'est la variante tunnelier qui a été choisie. Selon le devis, les coûts globaux de cette galerie de sécurité s'élèvent à 19,4 millions de francs.

#### Causes de l'évolution des coûts

##### **Tunnel**

Le projet du tunnel de Flüelen (y c. projet et achat de terrain) a connu une évolution des coûts d'environ 47,9 millions de francs (25,5%) entre le montant approuvé par le DETEC, à savoir 188'000'000 francs et les coûts finaux estimés (en date du 30.06.2005) de 235'910'000 francs.

La différence de coûts de 47,9 millions de francs est expliquée par le maître d'ouvrage de la manière suivante :

- Importants changements de projet (A, B, C) : 20,3 millions de francs,
- Renchérissement : environ 15 millions de francs,
- Coûts supplémentaires à cause du changement du taux de la TVA : 282'000 francs,
- Surcoûts effectifs d'environ 12,3 millions de francs par rapport au devis de base.

Les principaux changements de projet sont exposés dans le dernier rapport d'étape N°13 et sont divisés selon les trois sous-groupes :

- Changements par rapport au projet définitif approuvé (A)
- Changements par rapport au projet de détail approuvé (B)
- Changements par rapport au plan d'exécution des travaux (C)

La décision d'équiper le tunnel d'une galerie de sécurité a entraîné des coûts supplémentaires pour le projet dans son ensemble estimés à 19,5 millions de francs (c'est-à-dire 36,7% par rapport au montant approuvé par le DETEC).

### ***Galerie de sécurité***

En ce qui concerne la galerie de sécurité, il y a eu une évolution des coûts à la baisse puisque la géologie était plus facile que prévue. Un changement de projet a entraîné des coûts supplémentaires (deux portes dans la galerie transversale). Des surcoûts sont également à noter pour l'électromécanique et plus particulièrement pour la ventilation. Le renchérissement du cuivre et de l'acier a également pesé sur l'évolution des coûts.

Selon le controlling des coûts de IG ProFlüelen, une augmentation de 8,4% par rapport au devis de base est à déclarer.

### *Controlling des coûts*

Pour la construction des tunnels, un système de controlling simple a été mis en place. Ainsi les prestations données par les entreprises étaient contrôlées périodiquement et comparées avec les coûts effectifs. Cependant, les rapports trimestriels de controlling faits par la supervision générale des travaux ont montré de grandes fluctuations et anomalies. Dès lors, malgré le controlling mis en place, les coûts finaux estimés n'ont jamais été très précis. Une recommandation a été émise dans un rapport final, à savoir de mandater un bureau spécialisé dans le domaine du controlling des coûts pour gérer de futurs projets.

### *Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)*

Pendant l'hiver 2001/2002, la direction de projet du tunnel de Flüelen a étudié la possibilité d'une voie de fuite complémentaire qui a conduit à la construction de la galerie de sécurité pouvant servir en cas d'incendie. Il y a donc eu d'importants changements de projet pendant la construction des tunnels suite à l'intervention de la Task-force.

Les préparatifs pour ces changements (mise en place d'une liaison transversale entre le tunnel et la future galerie de sécurité, notamment) ont pu être faits avant l'ouverture du tunnel. Dès lors, les travaux de construction de la galerie de sécurité ont été menés « tranquillement » sans déranger la circulation dans le tunnel.

### Equipements électromécaniques

Dans le cadre du groupement d'ingénieurs, c'est le bureau IUB qui s'est occupé du planning et de la surveillance de l'exécution de l'EM (faite par plusieurs entreprises). La direction technique des travaux d'EM était également conduite par IUB dans le cadre de la direction locale des travaux.

### Calcul du renchérissement

Pour la construction, le décompte des variations économiques s'est fait selon la méthode MIS (Méthode de l'indice spécifique d'ouvrage). Le renchérissement effectif selon les informations données par le maître d'ouvrage s'élève à environ 16,4 millions de francs (8% des coûts devisés dans le projet définitif).

#### 4. TRANCHÉE COUVERTE D'ALTENDORF

##### Introduction

Dans la sélection des dix ouvrages, le CDF a également choisi de s'intéresser à deux recouvrements d'autoroutes parmi lesquels se trouve la tranchée couverte d'Altendorf. Il s'agit principalement de déterminer si la gestion de ce type de projets (bien que moins chers et moins risqués) se heurte aux mêmes incertitudes que celles qui existent pour des projets de tunnel avec percement. Au niveau de l'information, le CDF s'est basé sur la documentation remise par la commune d'Altendorf.

##### 4.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tranchée couverte d'Altendorf (SZ)
A quel projet l'objet se rattache-t-il ?	Recouvrement de l'autoroute N3 à Altendorf
Références	N3, Zurich - Coire, Route nat. de 1 <sup>e</sup> classe, section Pfäffikon - Lachen, km 137.869 - 138.470
Genre des travaux effectués	Construction nouvelle
Opportunité du projet	Protection contre les émissions de bruit et les gaz d'échappement, Réaménagement du centre du village, jusque-là séparé en deux par l'autoroute,  Construction de nouvelles habitations ainsi qu'un terrain de sport sur la couverture de l'autoroute
Situation de l'ouvrage	Territoire de la commune d'Altendorf
Longueur	590 m
Données techniques et caractéristiques	Deux tubes à deux voies de circulation qui sont recouverts sur presque 600 m depuis le pont de la route Bezirksstrasse jusqu'au pont Burgweg
Environnement immédiat	Village d'Altendorf, plusieurs zones d'habitations à proximité

#### 4.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO)</b>	<b>Commune d'Altendorf</b> Président : M. Steinegger
<b>Supervision générale du projet</b>	Service des ponts et chaussées du canton de Schwyz, <b>Tiefbauamt des Kantons Schwyz, Technischer Stab/Brückeningenieur</b> Responsable : M. Kälin
<b>Auteur du projet et consultant pendant les travaux</b>	<b>Diggelmann + Partner, Pfäffikon</b> Responsable : M. Diggelmann
<b>Ingénieurs conseillers</b>	Ingenieurgesellschaft ITA (HTB AG / CES Bauingenieure AG) Basler + Partner AG (Umweltverträglichkeitsbericht) MB Architekten Lachen (Etudes de projet pour d'éventuelles constructions d'habitation)
<b>Entrepreneurs / Direction générale des travaux (DGT) et direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Entreprise totale (TU) : Bietergemeinschaft TU Etzel</b> ZüblinSchlittlerSpaltenstein Bau AG, Zürich Butti AG, Pfäffikon Föllmi AG, Feusisberg Murer AG, Erstfeld Anliker AG, Emmenbrücke
<b>Direction de projet</b>	CMI Partner AG, Altendorf Responsable : M. Gian Reto Lazzarini
<b>Responsable de planification</b>	<b>Planergemeinschaft Etzel</b> Birchler, Pfyl + Partner (BPP) (Construction) Bänziger + Köppel + Partner (BKP) (Construction) Henauer Gugler AG (Hegu) (Construction) Kalberer U&B GmbH (EM) Bakoplan AG (EM)

### 4.3 Les grandes étapes du projet

<b>1961-1999 : Phase de planification</b>	
<b>1961</b>	Planification du passage de l'autoroute N3 au centre d'Altendorf
<b>1962</b>	Etude de différentes variantes
<b>1973</b>	Mise en service de la section de l'autoroute N3
<b>Dès 1974</b>	Volonté de la commune d'Altendorf de recouvrir l'autoroute
<b>4 janvier 1978</b>	Rapport d'études préliminaires livré par le bureau d'ingénieurs Balzari, Blaser et Schudel
<b>27 juin 1988</b>	Feu vert du Conseiller fédéral Adolf Ogi au projet de recouvrement de l'autoroute
<b>Mai 1989</b>	Avant-projet (étude de sept variantes différentes)
<b>30 mai 1990</b>	Acceptation d'un projet de recouvrement de 350 m seulement alors que l'avant-projet prévoyait une couverture de 800 m
<b>1990-1998</b>	Recherche de financements privés
<b>7 avril 1998</b>	Approbation du projet par le canton
<b>10 mai 1999</b>	Acceptation par l'OFROU de l'agrandissement du projet recouvrement l'autoroute sur 590 m
<b>Fin juin 2000</b>	Approbation du projet de détail par l'OFROU
<b>Juillet 2000</b>	Signature du contrat par l'entreprise totale
<b>2000-2002 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>Automne 2000</b>	Début des travaux / Installation du chantier
<b>Fin 2002</b>	Fin des travaux de recouvrement
<b>Fin 2002 à 2003</b>	Aménagement des équipements électromécaniques

## 4.4 Les coûts et leur évolution

Recouvrement d'Altendorf				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
1978	Projektstudie	Eingabe des Berichts Balzari, Blaser und Schudel an den Regierungsrat des Kantons Schwyz für eine Überdeckung der Autobahn N3 auf eine Länge von 680 m		
1988	Besuch von Bundesrat Ogi Chef EVED in Altendorf	Aufgrund der enormen Immissionen gibt er grünes Licht für die Ausarbeitung eines Vorprojekts einer Überdeckung		
1989	Vorprojekt	Vorgesehene Überdeckung von 800 m Länge wird den zuständigen Bundesstellen zur Festlegung eines Kostenteilers eingereicht  ASB und BUWAL erachten lediglich eine Überdeckung von 350 m Länge als rechtlich vertretbar		
1997	Definitives Projekt  Länge 560m  (Auflageprojekt)	Baumeisterarbeiten : 29'651'980 Elektromechanik : 3'661'000 Total Baukosten : 33'312'980 Projekt+Landerwerb : 5'987'020 Total veranschlagte Kosten : 39'300'000  (inkl. 4% Reserve und Unvorhergesehenes und 6,5% MWST)	33'313'000	100%
1998	Regierungsratsbeschluss SZ	zum Projekt « Überdeckung 560 m lang »		
1998	Zustimmung UVEK	zum Projekt und Zusicherung eines Pauschalbeitrags von CHF 24'000'000		
1999	Zustimmung ASTRA	Beidseitige Verlängerung um rund 10 m Pauschalbeitrag von CHF 1'200'000		
2000	Vergabeentscheid des Gemeinderates von Altendorf	Auftrag von CHF 31'605'282 (inkl. MWST) an die Totalunternehmung « TU-Etzel » für die Überdeckung der N3		
2000	Zustimmung ASTRA	zu einem Zusatzbeitrag an die Mehrkosten für zusätzliche Massnahmen Tunnelsicherheit ; Pauschalbeitrag von CHF 6'500'000		
	Verträge	TU-Etzel inklusive EM : 31'655'281 übrige Leistungen : 213'524 Total Baukosten : 31'868'805 Projekt: 1'055'108 Total TU-Vertrag : 32'923'913	31'869'000	96%

	Nachträge	TU-Etzel : 2'187'407 EM zusätzl. Massnahmen : 7'396'150 Total Baukosten : 9'583'557 Projekt : 558'677 Total Nachträge : 10'142'234	9'584'000	29%
	Total vertragliche Kosten	Verträge : 31'869'000 Nachträge : 9'584'000	41'453'000	125%
	Teuerung	Effektive Teuerung : Gemäss Angabe « Altendorf » nur die LSVa 200'000  Weiter hat Altendorf die graue Teuerung (Zürcher Baukosten-Index 10.1998 (111,4) bis 04.2002 (122,7)) mit ca. CHF 3,65 Mio. angegeben.  <i>Nach Schätzung der EFK beträgt die Teuerung zwischen dem Kostenvoranschlag und der Ausführungsphase theoretisch ca. CHF 2,74 Mio.</i>	200'000	
2003	Schlussabrechnung Bauabrechnung der Gemeinde Altendorf Stand 14.03.2005 (inklusive Teuerung)	Vertrag TU-Etzel : 34'042'688 Elektromechanik : 8'179'000 übrige Leistungen : 2'034'342 durch SUVA bezahlt : -1'168'364 Total Baukosten : 43'087'666 Projekt : 1'328'352 Total Endkosten : 44'416'018	43'088'000	129%

#### 4.5 Description des points forts et des points faibles du projet

##### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Le canton de Schwyz a planifié en 1961 le passage de l'autoroute A3 en plein cœur de la commune d'Altendorf. En 1962, le Conseil communal d'Altendorf proposa alors deux variantes différentes, l'une dont le tracé serait proche de la montagne, et l'autre qui préconisait la solution d'un tunnel. Après plusieurs mois de réflexion, le Conseil fédéral accepta le 12 juin 1967 le projet général selon la variante 1a qui est pratiquement l'A3 actuelle, passant au cœur du village, sans recouvrement. En novembre 1973, ce tronçon a été mis en service et les premières nuisances sonores ont été constatées.

##### Phase de planification / Approbation du projet

Depuis 1974, tout a été entrepris pour trouver une solution aux nuisances sonores provoquées par l'autoroute. Le 4 janvier 1978, la commune d'Altendorf présente une étude de projet de recouvrement de l'A3 aux autorités politiques du canton de Schwyz. Lors de la visite du Conseiller fédéral Adolf Ogi en 1988, alors Chef du Département des transports et de l'énergie, ce dernier donne son feu vert pour un projet de recouvrement. En 1990, l'Office fédéral pour la construction

des routes approuve un projet d'une longueur de maximum 350 m, toute prolongation devant être prise en charge par la commune d'Altendorf ou par le biais d'investissements privés.

La solution s'est effectivement trouvée auprès d'investisseurs privés (SUVA) qui ont participé aux frais de construction pour l'aménagement au-dessus du recouvrement.

#### Précision et base du devis

Le projet consiste en la construction d'une couverture d'autoroute. Cependant, un aménagement sportif public et des zones d'habitations ont également été planifiés mais financés par des investissements privés. Le recouvrement de l'autoroute jusqu'aux deux ponts situés de part et d'autre du village a été devisé à 36 millions de francs sans le renchérissement. Ce chiffre a été indiqué en septembre 1998 et a été donné sur la base d'une estimation précise de tous les éléments constitutifs du projet.

Au niveau du financement, le crédit voté par la commune s'est réparti comme suit :

Total des coûts de construction :	39'300'000.-
Contribution de la Confédération et du canton :	24'000'000.-
Contribution d'investisseurs privés :	4'500'000.-
Capital financier de la Commune d'Altendorf :	7'000'000.-
Autres coûts à la charge de la commune :	3'800'000.-

#### Structure du projet

Le mandat attribué à l'entreprise totale, à savoir la construction de la couverture d'autoroute de la N3 comprend l'ensemble de la planification du projet, l'élaboration de tous les documents nécessaires à cette première phase de projet, le suivi des délais, de l'avancement des travaux et le controlling des coûts. Le fait qu'il s'agissait d'une entreprise totale, et donc d'un seul partenaire à gérer, a grandement facilité la gestion du projet pour le maître d'ouvrage (commune d'Altendorf). Mais par contre, dans une situation pareille, il est nécessaire de mettre en place un appui au maître d'ouvrage.

#### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Dans un premier temps, douze entreprises ont répondu à l'appel d'offres. Parmi celles-ci, les cinq meilleures ont été invitées à déposer une offre complète. Les résultats de la soumission ont été jugés par la commission de construction N3-recouvrement. Les critères d'adjudication étaient les suivants :

- Coûts,
- Intégralité du projet,
- Variantes de projet (étude de faisabilité, besoins, etc.),

- Délais et phase de construction / procédures de la construction / trafic,
- Réserves,
- Conditions contractuelles,
- Autres critères.

Un dédommagement de 10'000 francs (inclus TVA) a été versé aux quatre entreprises qui ont déposé une offre complète mais qui n'ont pas été sélectionnées.

#### Contrat et adjudication des travaux

Le contrat a été attribué à l'entreprise totale Bietergemeinschaft TU-Etzel pour le montant de 31'605'282 francs (y compris TVA) en date du 11 janvier 2000. Le mandat était très important et comportait de multiples tâches puisqu'il consistait à : gestion générale du projet, exécution des travaux, gestion des prestations, des coûts, des matériaux, des délais et contrôle.

#### Conditions géologiques et géotechniques

Bien qu'il n'y ait pas eu de percement, des problèmes d'ordre géologique ont quand même été rencontrés. Des mesures supplémentaires ont dû être mises en place pour les fondations car le terrain ne correspondait pas à ce qui avait été prévu. Il a donc fallu remplacer le matériel sur place avec du gravier. Coût supplémentaire : 330'000 francs.

#### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

##### *1. Responsabilité de projet*

La commune d'Altendorf avait la responsabilité générale et entière du projet. Au niveau du financement général de l'ouvrage, il s'agit d'un cas très particulier où une commune a dû gérer par le biais d'un forfait fixe l'ensemble des coûts et assumer, le cas échéant, tous les coûts supplémentaires. La clé de répartition des coûts fixée entre la commune, le canton de Schwyz et l'OFROU a fortement incité le MO à observer un contrôle strict des coûts et de l'évolution du chantier.

##### *2. Choix de l'entreprise*

Par le biais de la solution « entreprise totale », le management du projet a été passablement allégé. Concrètement, seulement trois acteurs étaient engagés sur ce projet : le président de la commune d'Altendorf, le consultant et l'auteur de projet et l'entreprise totale. Travailler à trois a grandement facilité le transfert des informations et la bonne communication entre les différentes parties. Par ce fonctionnement tripartite, la gestion du chantier et la visibilité de l'évolution des coûts ont été garanties pour les responsables de projet.

### *3. Directives peu claires en matière d'équipements électromécaniques*

Le maître d'ouvrage a dû travailler passablement « seul », notamment pour ce qui concerne les équipements électromécaniques. A plusieurs moments clé du projet, il lui a manqué des normes et des directives claires de la part de l'OFROU.

### *4. Investissements privés*

La partie ouest de la couverture de l'autoroute a été utilisée pour construire plusieurs bâtiments locatifs totalisant 112 appartements. Sur la partie est, une place de sport ainsi que l'établissement de l'école ont été agrandis. Ces projets annexes au recouvrement ont été financés par des investisseurs privés et par la commune (zones publiques).

### *Gestion administrative et financière du projet*

La gestion administrative et financière du projet a été assurée par l'entreprise totale engagée sur le projet (tâche qui faisait partie de son contrat). Du côté du MO, c'est le président de commune qui a suivi l'évolution des coûts et qui s'est occupé de tous les paiements à régler avec les entreprises.

Au final et par rapport au crédit de base, la commune a dû assumer des coûts supplémentaires d'environ 3,2 millions de francs.

### *Modifications de projet*

Pendant la phase de planification, le projet a été modifié une fois pour inclure deux ponts dans la construction globale. Cette modification de projet a été budgétée à 1,2 millions de francs. Une fois les travaux initiés, quelques modifications de projet ont eu lieu : remplacement du terrain pour les fondations, renoncement à des mesures d'étanchéité du béton (pour une économie d'environ 650'000 francs), changements de projet voulus par la Task-force, notamment pour la protection incendie.

### *Causes de l'évolution des coûts*

Des problèmes géologiques ont dû être réglés pour un coût total de 330'000 francs. Quelques adaptations de projet ont dû être faites et des éléments non prévus dans la planification de départ ont été ajoutés, comme par exemple : assurance du crédit de construction, remplacement du terrain pour les fondations, quelques modifications voulues par la Task-force ainsi que les coûts pour le renchérissement.

Controlling des coûts

Contrôle permanent des coûts effectifs avec un système informatisé et mis à jour quotidiennement par le MO. Cela s'est fait de façon très précise d'autant plus que c'était la commune qui portait l'entière responsabilité des coûts et notamment des éventuels surcoûts. Les coûts totaux se sont élevés à environ 45,6 millions de francs (inclus les compléments de projet exigé par la Task-force.

Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

L'OFROU a insisté sur les équipements techniques, particulièrement par le biais de nouvelles directives concernant la sécurité générale d'un tunnel (notamment en cas d'incendie). Les changements de projet pour la sécurité du tunnel ont engendré un coût supplémentaire de plus de 7 millions de francs. 6,5 millions ont été assumés par la Confédération et le canton, le reste par la commune.

Calcul du renchérissement

La commune d'Altendorf a indiqué un montant de 200'000 francs pour la redevance poids lourds liée aux prestations (RPLP). Par contre, un renchérissement éventuel a été décompté directement dans le cadre du contrat avec l'entreprise totale.

Dans sa comptabilité, la commune indique une hausse de 3,65 millions de francs pour les années 1998 à 2002, hausse calculée sur le crédit de construction selon l'indice zurichois.

## 5. TUNNEL DE CONCISE

### Introduction

Le CDF s'est basé sur les informations transmises par le Service des routes du canton de Vaud ainsi que sur les entretiens menés auprès du responsable des travaux et du responsable des équipements électromécaniques. Une documentation complémentaire a été transmise par le bureau d'ingénieurs CSD-Monod Ingénieurs-Conseils. Les contrats d'entreprise pour la défense incendie et pour l'électromécanique concernent les travaux pour trois ouvrages : Galerie d'Onnens, tunnel de Concise et tunnel de la Lance. Le CDF a donc dû faire une estimation car il n'était pas possible d'avoir un chiffre précis de ces coûts pour le tunnel de Concise.

### 5.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel de Concise (VD)
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Le projet regroupe les tunnels de Concise et de la Lance mais il n'inclut pas l'exécution des ponts sur la Dia (autre contrat)
<b>Références</b>	A5, Route nat. de 2 <sup>e</sup> classe, Autoroute Yverdon - Neuchâtel, section 512 - 513, tronçon entre Corcelettes et Vaumarcus
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle
<b>Opportunité du projet</b>	L'autoroute A5 qui relie Yverdon-les-Bains à Soleure vise à développer l'ensemble de l'arc jurassien
<b>Situation de l'ouvrage</b>	Le tunnel de Concise se situe sur la commune de Concise
<b>Longueur</b>	1'410 m pour le tube Jura 1'340 m pour le tube Lac
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Deux tubes à deux voies de circulation d'une largeur de 3,875 m chacune avec deux trottoirs d'environ 1 m sans bande d'arrêt. Le diamètre intérieur des tubes est de 10,20 m
<b>Méthode d'excavation</b>	Après analyse des conditions géologiques, l'utilisation d'un tunnelier n'a pas été retenue pour percer les tunnels (sauf pour la galerie de sondage de 3 m de diamètre, percée à l'aide d'un petit tunnelier). Pour le reste, différentes méthodes ont été utilisées : en terrain meuble peu profond, l'exécution s'effectue à ciel ouvert, lorsque l'épaisseur des sols meubles est importante, des voûtes parapluies deviennent nécessaires. Dans les roches calcaires, le percement se fait par minage
<b>Terrain à excaver</b>	Principalement des calcaires fins du Portlandien, plus localement du Valanginien ou de l'Hauterivien supérieur sur 1'152 m

	Présence de terrains graveleux et limoneux d'origine morainique, de graviers fluvio-glaciaires, de karst et de ciment argileux de qualité médiocre
<b>Environnement immédiat</b>	Relief tourmenté et topographie compliquée. Diversité de la qualité des sols et nombreux sites archéologiques

## 5.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage pilote (MO) / Supervision générale du projet</b>	Canton de Vaud, Département des infrastructures, Service des routes, Routes nationales, section travaux.  Responsable : M. Petriccioli
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	<b>Mandataires et auteurs du projet : Groupement GIT-N5</b> CSD-Monod Ingénieurs-Conseils SA (entreprise pilote) Piguet + Associés Ingénieurs-Conseils SA Norbert Géologues-Conseils SA (sous-traitant) IM Bureau d'Ingénieurs Maggia SA  Direction de projet : M. Gendre et Remplaçant : M. Tappy
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Groupement GIT-N5</b>  Directeur local des travaux : M. Gendre et remplaçant : M. Tappy  Adjoint : M. Gindroz  Resp. DLT sur le site : M. Waeber  Adjoint et remplaçant : M. Paquier
<b>Ingénieurs conseillers</b>	Géotechnique, CSD : P.-C. Bugnon, Géotest, M. Noverraz  Qualité de l'eau, CSD : J.-D. Dubois  Expert tunnels, M. Descoedres, EPFL  Architecte, Bureau Thibaud Zingg, Chavornay  Mesure des vibrations, De Cérenville SA, Lausanne  Constats d'immeubles, F. Martin Arch., Yverdon
<b>Entrepreneur</b>	<b>Consortium Association des Tunnels de Concise (ATC)</b>  Frutiger SA, Lausanne + Thoune  Batigroup SA, Crissier + Berne  Walo Bertschinger SA, Lausanne + Zurich  Responsable de chantier : M. Schou

### 5.3 Les grandes étapes du projet

<b>1997- 2000 : Phase de planification</b>	
<b>Novembre 1991 - Avril 1998</b>	Etudes préliminaires, études géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, rapport d'impact et projet d'exécution par différents bureaux d'ingénieurs
<b>14 février 1996</b>	Approbation par le Conseil fédéral du tracé du projet général
<b>14 février 1997</b>	Contrat de base pour le mandat d'ingénieurs GIT-N5
<b>Mai 1998</b>	<b>Avant-projet</b> des tunnels de Concise et de la Lance élaboré par le GIT-N5
<b>Janvier 1999</b>	<b>Projet de détail</b> des tunnels de Concise et de la Lance élaboré par le GIT-N5
<b>2000</b>	Adjudication des travaux au Consortium Frutiger SA
<b>2000 - 2005 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>1 mai 2000</b>	Début des travaux (installations et pistes de chantier, centrale à béton, terrassement)
<b>Début 2001</b>	Début des travaux de percement de la galerie de sondage au tunnelier (rencontre d'un karst qui l'immobilise pendant trois mois)
<b>Avril 2002</b>	Avenant d'environ 1,15 million de francs suite à la découverte de deux karsts
<b>Septembre 2002</b>	Modification de projet demandée par l'OFROU concernant la signalisation dans les tunnels
<b>Janvier 2004</b>	Avenant d'environ 1,5 million de francs pour les compléments de projet liés au passage du karst dans le tube jura
<b>26 juin 2004</b>	Fin des travaux
<b>Septembre 2004</b>	Avenant d'environ 1,5 million de francs pour les travaux supplémentaires liés au passage des karsts Julie et Katia dans le tube jura
<b>Juillet 2005</b>	Avenant d'environ 2 millions de francs pour les travaux liés au passage des karsts
<b>2005</b>	Ouverture officielle

## 5.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel de Concise				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
1998	Avant-projet	Installations : 12'929'686 Tunnels, galeries et centrales : 71'831'591 EM : 7'450'000 Total : 92'211'277	92'211'000	99%
1999	Projet de détail	Installations : 12'950'677 Tunnels, galeries et centrales : 73'046'357 EM : 7'450'000 Total : 93'447'034	93'447'000	100%
	Contrats (construction)	Installations : 23'097'515 Tranchée d'accès : 3'491'504 Tunnels et galerie : 76'391'263 Bâtiments à ciel ouvert : 1'042'419 Total 1 : 104'022'704 Total 2 (rabais 5% +TVA 7,5%) : 106'233'185 Total gros-œuvre EM (+TVA 7,5%) : 16'800'000 <sup>8</sup> Défense incendie (+TVA 7,5%) : 5'470'000 <sup>9</sup> Total coûts de construction : 128'503'186	128'503'000	138%
	Contrats (projet)	Mandat d'ingénieurs : 4'760'071		
	Avenants (construction)	Total (inclus TVA 7,5%) : 9'438'837 Les avenants concernent presque tout le tunnel de Concise	9'439'000	10%
	Avenants (projet)	Mandat d'ingénieurs : 4'013'746		
	Total coûts contractuels	Contrats : 128'503'000 Avenants : 9'439'000	137'942'000	148%
	Renchérissement	Travaux de construction : 15'479'611 EM : -- Protection incendie : --	15'480'000	17%

<sup>8</sup> Il s'agit d'une estimation puisque les contrats comprenaient les travaux pour trois ouvrages (Concise, Lance et galerie d'Onnens). Cette estimation est basée sur la longueur des ouvrages et les équipements électromécaniques que chaque ouvrage peut contenir.

<sup>9</sup> Ce montant est également une estimation. Il s'agit du 80% du montant total des contrats concernant la défense incendie. Environ 20% a été pris en charge par les communes de Concise et de Corcelles près de Concise. Des 80% restants, on a estimé que les coûts pour Concise s'élèvent à deux tiers (le reste se répartissant entre le tunnel de la Lance et la Galerie d'Onnens).

2008	Facture finale provisoire <sup>10</sup>  (y c. renchérissement)	installations de Concise :	28'988'881	154'261'000	165%
		Tranchée d'accès de Concise :	7'975'771		
		Tunnels et galerie de Concise :	90'155'024		
		Bâtiments à ciel ouvert :	2'886'291		
		Total gros-œuvre :	130'005'968		
		EM :	18'442'000		
		Protection incendie :	5'813'000		
		Total second-œuvre :	24'255'000		
		Total facture finale provisoire	154'260'968		

## 5.5 Description des points forts et des points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

La première estimation des coûts du projet est visible dans le devis d'avant-projet de 1998. A ce stade du projet, la construction des tunnels de Concise (génie civil) est estimée à 84'761'277 francs. Cette estimation recouvre les installations de chantier, les travaux souterrains, les galeries et les centrales ainsi que les 15% de divers et imprévus.

Concernant l'électromécanique des tunnels de Concise, l'estimation du devis de 1998 s'élève à 7'450'000 francs. Cette estimation recouvre les équipements de ventilation et les équipements électromécaniques.

### Phase de planification / Approbation du projet

La phase de planification s'est étendue de 1991 à 2000. Plusieurs études préliminaires et études d'impact ont été faites entre 1991 et début 1998 et ont servi de base pour le dressage des rapports d'avant-projet et de projet de détail, dont l'élaboration a été confiée au GIT-N5, suite à un concours d'ingénieurs.

Il n'y a pas d'évolution du devis estimatif entre l'avant-projet et le projet de détail. Le projet général a été approuvé le 14 février 1996 par le Conseil Fédéral.

### Précision et base du devis

Le devis estimatif pour le lot principal de génie civil a été établi sur la base des avant-métrés calculés à partir des plans d'avant-projet. Les prix unitaires introduits dans le devis proviennent de la base de prix du GIT-N5 et du calcul de deux entreprises spécialisées dans les travaux souterrains.

<sup>10</sup> Les éléments indiqués en italique sont tous des estimations. Les valeurs réelles incluaient d'autres ouvrages et/ou éléments. Ici, les contrats d'entreprise pour la défense incendie concernaient les travaux pour trois ouvrages (Galerie d'Onnens, tunnel de Concise et tunnel de la Lance). Les contrats d'entreprise pour l'électromécanique concernaient deux ouvrages (Tunnel de Concise et de la Lance). Par ailleurs, les travaux concernant la défense incendie ne sont à l'heure actuelle pas tout à fait terminés.

### Structure du projet

Le rapport du projet de détail de 1999 prend en compte le génie civil, les équipements EM ainsi que les installations de chantier. Mais lors de l'exécution des travaux, les aspects de génie civil et d'électromécanique ont été traités de manière séparée. Pas de véritable coordination entre ces deux aspects (chef de projet différent, contrats traités de manière séparée, etc.).

### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Le critère principal pour l'adjudication des travaux retenu par le maître de l'ouvrage était de choisir l'offre la plus avantageuse économiquement. Le choix du Consortium Frutiger SA a donc été motivé par le fait qu'il s'agissait de l'offre la moins chère. Cependant, ce consortium offrait un autre avantage très intéressant pour le MO : différentes variantes supplémentaires et chiffrées ont été proposées par l'entreprise à la discrétion du maître de l'ouvrage, dont notamment la récupération des matériaux excavés afin de les utiliser pour la route.

### Contrats et adjudication des travaux

Le contrat principal du Lot 5201 (génie civil) a été attribué au Consortium Frutiger SA pour un montant total net de 128'870'411,35 francs. Ce montant comprend les tunnels de Concise et de la Lance (installations, tranchées d'accès, tunnels et galeries et bâtiments à ciel ouvert pour les deux tunnels) Ce montant inclut la TVA à 7,5% ainsi qu'un rabais de 5% hors TVA.

Un contrat pour mandat d'ingénieurs (prestations de génie civil et d'électromécanique) a été attribué au groupement GIT-N5 qui s'est occupé des tâches suivantes : établissement des avant-projets et projet de détail, conduite de projet (DGT + DLT), contrôle des coûts, mise en soumission, décompte final.

Plusieurs contrats ont été attribués pour tous les travaux concernant l'EM.

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Gestion de projet et suivi des travaux en outsourcing*

Dans le cadre de la réalisation de l'autoroute N5 entre Yverdon et Neuchâtel, le Service des routes du canton de Vaud a mandaté le groupement GIT-N5 pour l'étude et la réalisation des tunnels de Concise et de la Lance. Le mandat comprenait l'étude des éléments relevant du génie civil et des équipements électromécaniques. Pendant l'exécution des travaux, le groupement GIT-N5 tenait le rôle d'AP, de direction de la DLT et DLT sur le site, alors que le SR Vaud s'occupait de la supervision des travaux côté MO. Quelques difficultés ont pu apparaître au niveau de la collaboration, de la définition des tâches ou de la transmission d'informations, étant donné le nombre d'acteurs engagés sur ce projet.

## *2. Nombreux changements dans l'organisation initiale des travaux*

La phase d'exécution des travaux a connu de nombreux changements par rapport au programme initial, suite à la rencontre de zones karstiques lors du percement au tunnelier (immobilisé pendant trois mois) de la galerie de sondage du tunnel Jura. L'immobilisation du tunnelier pendant trois mois a entraîné de nombreuses décisions et adaptations pour éviter un report de planning et des surcoûts trop importants. Ainsi, les équipes ont été renforcées, du matériel supplémentaire a été commandé et les travaux des deux tubes ont été commencés en même temps. Suite à cet imprévu géologique, un expert est par ailleurs intervenu pour réfléchir aux différentes variantes possibles.

## *3. Qualité des bétons en-dessous des exigences contractuelles*

La qualité des bétons fournie était bien en-dessous des exigences contractuelles et a engendré de nombreuses discussions avec l'entreprise. Au niveau financier, ce conflit n'a rien coûté au maître d'ouvrage mais a engendré un grand coût humain. Dans un tel conflit, les rapports peuvent être très endommagés. Au final, l'entreprise a dû verser 763'000 francs de réparation au SR Vaud.

### *Gestion administrative et financière du projet*

Lors de la construction des tunnels de Concise et de la Lance, les directives OFROU sur la gestion de projet n'ont pas été appliquées car à ce moment-là, elles n'étaient pas encore connues des responsables de projet. Il n'existe ni rapport trimestriels, ni journal de projet. Les informations se transmettaient la plupart du temps oralement.

### *Modifications de projet*

Plusieurs changements d'orientation de projet ont eu lieu pendant l'exécution des travaux, notamment à cause des problèmes géologiques rencontrés lors du percement de la galerie-pilote du tunnel du Jura. Pour éviter un report de planning trop important aux conséquences financières pénalisantes, des mesures ponctuelles de réorganisation de chantier ainsi que toute une série de décisions ont été prises et ont modifié le programme des travaux (renforcement d'équipe, matériel supplémentaire, deux attaques à la place d'une, travaux initiés dans les deux tubes à la place de l'un après l'autre, etc.).

### *Causes de l'évolution des coûts*

Le montant de l'adjudication pour la construction du tunnel de Concise (génie civil) s'élève à 106'233'185.70 francs. Le coût total en date du 20 mai 2008 pour ce même objet s'élève à 130'005'968.95 francs (total gros-œuvre).

Il existe cinq avenants au contrat pour le mandat d'ingénieur, pour un montant total d'environ 9 millions de francs. Six avenants concernent le contrat avec l'entrepreneur pour les tunnels de Concise et de la Lance pour un montant total d'environ 10 millions de francs.

On trouve cinq causes principales à l'évolution des coûts du projet :

- Extension de contrat liée aux fouilles archéologiques (coût d'environ 1 million de francs),
- Modifications de projet, notamment changement du type d'étanchéité sur les tranchées couvertes et modification des locaux techniques prévus à 300 m<sup>2</sup> et qui s'étendent finalement sur 800 m<sup>2</sup>,
- Modification de délais,
- Prestations complémentaires non prévues dans l'offre de base, notamment pour le génie civil dévolu à l'électromécanique et pour le passage du karst dans le tube Jura,
- Modifications de quantités non prévues dans l'offre de base,
- Coûts moindres : réparations concernant la qualité du béton qui ne correspondait pas à ce qui avait été prévu.

#### Controlling des coûts

Pas de controlling des coûts particulier mais prévision globale des coûts en fonction de l'enveloppe budgétaire accordée par l'OFROU.

#### Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

Intervention de l'OFROU, suite aux accidents survenus dans les tunnels sur le territoire suisse : nécessité d'équiper les tunnels avec des fournitures et installations de sécurité supplémentaires, signalisation des galeries de fuite et pose des prismes lumineux électriques.

#### Equipements électromécaniques

Les contrats d'entreprise pour la défense incendie et pour l'électromécanique concernent les travaux pour trois ouvrages : Galerie d'Onnens, tunnel de Concise et tunnel de la Lance. Pour le tunnel de Concise, une estimation a donc été faite par le CDF.

#### Calcul du renchérissement

L'adjudication des travaux de construction a eu lieu en 2000. Selon le contrat, la méthode de décompte des variations économiques est la Méthode d'indice spécifique d'ouvrage (MIS). Le renchérissement décompté est d'environ 15,5 millions de francs. En ce qui concerne les contrats de l'EM et de la défense incendie, il n'y a pas de renchérissement effectif car les délais des travaux restent courts.

## 6. TUNNEL DE GLION

### Introduction

Le tunnel de Glion est le seul assainissement parmi les dix objets sélectionnés par le CDF. Il constitue cependant un bon exemple de comparaison et apporte également un point de vue sur les processus de développement de projet d'assainissement UPlaNS. La documentation transmise au CDF était très partielle et il a été particulièrement difficile de reconstituer l'historique et l'évolution des coûts de ce projet. Le CDF a reçu un certain nombre de contrats d'entreprise mais il est impossible de savoir si cette liste est exhaustive. Au niveau des données financières, il n'a pas été possible de séparer précisément les coûts qui concernent le tunnel et les coûts du reste du projet.

### 6.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel de Glion (VD)
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Assainissement du tunnel de Glion et travaux complémentaires tels que la création de nouveaux locaux techniques, la réfection de ponts autoroutiers (Vuarences et ceux sur la Baye de Montreux) et de passages supérieurs, exécution de parois antibruit, etc.
<b>Références</b>	A9, Route nationale de 1 <sup>e</sup> classe, Section entre Lausanne et St-Maurice, jonctions autoroutières de Montreux et de Villeneuve, km 31 - km 40.5
<b>Genre des travaux effectués</b>	Travaux de sécurisation / Assainissement. Aucune modification de l'utilisation convenue
<b>Opportunité du projet</b>	Assurer la sécurité des usagers, notamment en cas d'incendie,  Rénovation des parties dégradées,  Adaptation de l'ouvrage afin de faciliter son exploitation, sa maintenance et son entretien
<b>Situation de l'ouvrage</b>	Tunnel encadré par les ponts sur la Baye de Montreux, au Nord et par les ponts sur la Veraye, au Sud et situé entre les jonctions de Montreux et Villeneuve, extrémité sud-est du lac Léman
<b>Longueur</b>	1'350 m pour les deux tubes
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Le tunnel de Glion, construit entre 1968 et 1971, comporte deux tubes unidirectionnels à deux voies de circulation initialement de 3,75 m chacune et agrandies à 3,875 m. Le tunnel se caractérise par un tracé en courbe avec une pente de 2,3%

<b>Environnement immédiat</b>	Succession d'ouvrages d'art accrochés aux contreforts des Préalpes vaudoises et dominant la ville de Montreux. En raison de la configuration topographique et urbaine des lieux, cet axe routier est le seul capable d'absorber l'important trafic pendulaire et touristique qui emprunte la côte lémanique à destination ou en provenance des pôles industriels et touristiques de l'Est vaudois et du Valais
-------------------------------	--

## 6.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Département des infrastructures (DINF), <b>Service des routes du canton de Vaud (SR VD)</b>  Chefs de projet : M. Graber puis M. Nendaz
<b>Organisation stratégique et opérationnelle</b>	<b>Comité de pilotage (COPIL)</b> : composé de personnes représentant les différents intérêts en présence (techniques, économiques, touristiques, cantons et Confédération)  <b>Commission des partenaires (COPAR)</b> : composée de toutes les autorités, administration, associations, personnalités concernées par le projet  <b>Coordination du projet Glion 2004-2005</b> : composée de trois responsables de secteurs  <b>Direction de la communication</b>
<b>Lot principal de génie civil</b>	
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	Groupement d'ingénieurs Bonnard et Gardel Ingénieurs-conseil SA et Daniel Willi SA (BG-DW)
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	Groupement d'ingénieurs Bonnard et Gardel Ingénieurs-conseil SA et Daniel Willi SA (BG-DW)
<b>Equipements électromécaniques (EM)</b>	
<b>Etudes et Direction locale des travaux (DLT)</b>	Groupement Ingénieurs Maggia SA - Bonnard et Gardel Ingénieurs-conseils SA (IM-BG)
<b>Travaux</b>	
<b>Entrepreneur principal</b>	Consortium d'entreprises CTG (entreprise pilote : Zschokke-Locher AG)

### 6.3 Les grandes étapes du projet

<b>2001 - 2003 : Phase de planification</b>	
<b>Décembre 2001</b>	Etudes préliminaires - Ventilation, rénovation et mise en conformité par Bonnard et Gardel SA
<b>Janvier 2002</b>	Etudes préliminaires - Description technique de la solution constructive retenue (Devis : 58'000'000 francs)
<b>Décembre 2002</b>	Devis pour les travaux de génie civil de l'assainissement des tunnels de Glion de 43'750'000 francs, y compris les travaux de nuit et les divers et imprévus
<b>2003</b>	Elargissement de la zone d'intervention en passant de l'assainissement des tunnels seulement à d'autres éléments, jusqu'aux jonctions de Montreux et de Villeneuve
<b>Août 2003</b>	Evaluation technique et économique des offres
<b>2003 - 2005 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>Automne 2003</b>	Mise en œuvre des travaux préparatoires incluant l'adaptation et le renforcement du dispositif de ventilation du tunnel côté montagne en prévision de son exploitation en mode bidirectionnel durant l'année 2004
<b>Mi-avril - fin novembre 2004</b>	Assainissement du tunnel et de la chaussée côté lac (Génie civil : 4 mois / EM : 3,5 mois) avec report du trafic en mode bidirectionnel dans le tunnel montagne
<b>Décembre 2004 - mi-avril 2005</b>	Arrêt du chantier et remise en exploitation de la totalité de l'ouvrage
<b>Mi-avril - fin novembre 2005</b>	Assainissement du tunnel et de la chaussée côté montagne (Génie civil : 4 mois / EM : 3,5 mois) avec un report du trafic en mode bidirectionnel dans le tunnel côté lac rénové
<b>Décembre 2005</b>	Remise en service définitive du tronçon autoroutier rénové

#### 6.4 Les coûts et leur évolution

L'investissement global de l'opération « Glion » a été de l'ordre de grandeur de 130 millions de francs, répartis comme suit<sup>11</sup> :

Objet	Coût (en millions de francs)	En %
Conduite du trafic, signalisation du chantier, sécurité, mesures d'accompagnement, communication	8	6%
Tunnels et ouvrages de soutènement	58	45%
Ouvrages d'art (ponts, etc.)	10	8%
Superstructures (canalisations, revêtements, marquages)	12	9%
Divers (gestion des eaux, parois antibruit, etc.)	12	9%
Installations électromécaniques, signalisation définitive	30	23%
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>100%</b>

TUNNEL DE GLION				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
2001	Etudes préliminaires / Tunnels de Glion - Ventilation, rénovation et mise en conformité	Travaux de structure liés à la ventilation : 12'400'000 Travaux GC liés à la rénovation et mise en conformité : 13'600'000 EM et mise en conformité : 15'000'000 Total 1 : 41'000'000 Majoration travail de nuit : 10'200'000 Divers et imprévus (15%) : 6'200'000 Total 2 : 16'400'000	57'400'000	100%
2002	Devis des travaux actualisé. Ne concerne que le génie civil et pas l'EM, ni second-œuvre	Segment UPIaNS 008 (génie civil) Coûts GC HT (deux tunnels) : 31'750'000 Majoration travaux de nuit : 7'937'500 Divers et imprévus (15%) : 4'762'500 Coûts totaux : 43'750'000 <i>Pour les deux tubes</i> <i>EM, autres prestations, divers : Pas d'indication</i>	Pas d'information complète	

<sup>11</sup> Informations issues du Rapport final - bilan GLION, février 2007, p.72.

2002	Selon Rapport OFROU	Réfection du tunnel en tant qu'élément isolé	86'000'000	150%
2003	Selon Rapport OFROU	Concept initial UPlANS 008, crédits OFROU initiaux Tout compris ; sans détail ni document d'approbation	108'200'000	188%
2003 à 2006	Contrats (selon tableau de bord financier)	Contrat principal génie civil : 50'704'376 Autres prestations : 22'037'704 Equipements EM : 22'160'127 Total coûts de construction : 94'902'207 Honoraires : 18'959'612 Total contrats : 113'861'819	94'902'000	165%
2003 à 2006	Avenants (selon tableau de bord financier)	Contrat principal génie civil : 2'866'488 Autres prestations : 3'476'915 Equipements EM : 2'262'545 Total avenants de construction : 8'605'947 Honoraires : 2'366'632 Total avenants : 10'972'580	8'606'000	15%
	Total coûts contractuels	Contrats : 94'902'000 Avenants : 8'606'000	103'508'000	180%
	Renchérissement décompté à la charge des factures selon Avenant no. 3 du contrat principal	Sur le contrat principal : 10'903'907	10'904'000	19%
2006	Estimation coûts finaux, y c. renchérissement dont le détail est visible dans la facture finale	Contrat principal génie civil : 53'570'864 Autres prestations : 23'460'193 Equipements EM : 30'132'083 Total coûts de construction : 107'163'140 Honoraires : 20'776'659 Total coûts estimés : 127'939'799	107'163'000	187%

*Remarque : les coûts mentionnés dans le tableau ci-dessus ne sont pas comparables puisqu'ils concernent des travaux différents.*

## 6.5 Description des points forts et des points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Suite aux accidents survenus dans les tunnels du Mont-Blanc, du Tauern et du Gothard, la sécurisation des tunnels a été imposée par l'OFROU par l'introduction de nouveaux standards de sécurité ainsi qu'une refonte complète de la norme SIA relative aux tunnels au début des années 2000.

Dès les premières études, les concepteurs du projet ont cherché à aborder ce projet de manière pluridisciplinaire pour faire face aux nombreux défis propres à un assainissement (gestion du trafic, gestion des délais, sécurité des usagers, trafic touristique et pendulaire, coût lié aux pertes de temps dans les bouchons, médiatisation, etc.). La problématique Glion a donc été traitée selon une approche globale, c'est-à-dire que les dimensions politique, économique, publique, environnementale, médiatique, légale, administrative et technique ont été intégrées aux réflexions initiales.

### Phase de planification / Approbation du projet

Plusieurs constats :

- Initialement, Glion a été imaginé en tant que projet isolé d'entretien lourd (pas de concept global mais avant-projet, projet de détail, etc.). C'est seulement après avoir décidé d'étendre le projet à d'autres éléments (jusqu'aux jonctions de Montreux et de Villeneuve) que le concept UPlaNS a été appliqué. Cependant, l'assainissement de Glion n'a pas suivi la stratégie et les étapes « officielles » voulues par la directive OFROU sur les UPlaNS. De plus, parmi la documentation à soumettre à l'OFROU pour l'approbation du projet, il n'existe pas de concept global, ni de concept d'intervention ni de projet d'intervention.
- Une planification fine des études et des travaux a dû être élaborée afin de respecter les délais d'exécution fixés. En effet, dans le cas d'un assainissement, le respect des délais est certainement l'enjeu le plus important, le but étant de ne pas perturber le trafic trop longtemps. Ainsi, d'importants moyens techniques et logistiques ont été engagés (travail 7j/7j, 24h/24h).
- L'organisation de projet, les nombreux outils stratégiques, l'intégration de tous les facteurs et acteurs clés et la stratégie de communication sont des éléments qui ont été étudiés dans la phase de planification et qui ont permis le succès de l'assainissement du tunnel de Glion.

### Précision et base du devis

Le CDF a reçu le devis de base de 2002 qui comprenait les travaux de génie pour les deux tubes seulement. Il n'y a pas eu de compléments au devis de base pour y inclure les nouveaux éléments ajoutés à la réfection des tubes. Les contrats ayant été attribués au fur et à mesure de l'avancement des travaux, la traçabilité des coûts est donc faible.

### Structure du projet

Le projet de Glion a fait l'objet d'une bonne coordination entre génie civil et EM dès l'engagement des travaux par le biais de séances mensuelles au niveau de la direction opérationnelle mais également sur le chantier pendant l'exécution des travaux. Dans un projet d'assainissement, et notamment pour éviter d'entraver trop longtemps le trafic, il est recommandé d'exécuter autant que possible des travaux de manière simultanée. Au début de la phase de planification, cette réflexion a cependant manqué car l'intervention prévue n'a pas tout de suite été planifiée comme un UPIaNS.

### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Aucune information.

### Contrat et adjudication des travaux

Concernant les contrats et l'adjudication des travaux de génie-civil et d'EM, le groupement Zschokke a reçu le contrat principal. De nombreux contrats ont été attribués à d'autres entreprises (+ de 200 contrats).

Le groupement d'ingénieurs Bonnard et Gardel Ingénieurs-conseil SA et Daniel Willi SA (BG-DW) a reçu le mandat de planification et de coordination de l'opération (Etude du projet, planification, coordination, Direction générale des travaux (DGT), Direction locale des travaux (DLT) du lot principal de génie civil).

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Planification des travaux*

Le tunnel de Glion représentant un passage obligé entre les agglomérations genevoises et vaudoises et le Valais, la première décision a été de prévoir de travailler en continu 7 jours / 7 jours et 24 heures / 24 heures mais seulement sur 7 mois, d'avril à novembre afin de ne pas endommager le flux du tourisme hivernal.

Difficultés à gérer et coordonner le personnel vu le grand nombre de sous-traitants.

Planification des travaux extrêmement stricte afin de respecter les délais (veille programmatique). Pour cela, mise en place de systèmes de bonus-malus et de location de la chaussée (Directive : entretien des routes nationales, 2002) dont le but est d'induire une réduction des entraves à la circulation et de la durée des chantiers, qui doit se traduire par une optimisation du coût économique global.

#### *2. Méconnaissance des conditions in situ*

Aucune connaissance du lieu et de l'état des installations avant d'être véritablement sur place. De nombreuses surprises peuvent donc avoir lieu comme par exemple la découverte de plusieurs

types de déchets spéciaux (sues de moteurs diesel, joints souples à forte teneur en PCB et joints bitumineux à forte teneur en HAP) qui ont dû être éliminés avec toutes les précautions d'usage.

### 3. *Recours*

Recours déposé contre l'adjudication des travaux de génie civil qui a entraîné la réduction de la phase préparatoire de 7 à 4 mois.

### 4. *Volume des prestations*

Augmentation massive du volume des prestations d'assainissement non prévues dans le contrat de base. De nombreux travaux supplémentaires non prévus initialement ont été gérés à l'avenant, au fur et à mesure des besoins du chantier. Ceci est principalement dû à un manque de planification et à la nécessité de travailler dans l'urgence.

### 5. *Communication*

Bonne communication tant entre les acteurs engagés qu'avec le public, le politique et les médias (mesures d'accompagnement, conférences de presse, Glion-futé, etc.).

### Gestion administrative et financière du projet

Aucun suivi du projet au niveau financier, pas de controlling des coûts et devis de base initial qui ne correspond pas à ce qui a été effectué. Dans un rapport d'audit publié par l'inspecteur des finances de l'OFROU, l'auteur critique le manque d'exigences claires de la part de l'OFROU<sup>12</sup>.

### Modifications de projet

Les plus grandes modifications de projet se sont faites juste avant le début des travaux, sans adaptation du devis de base. L'assainissement du tunnel de Glion a été abordé dans un premier temps comme un projet isolé d'entretien lourd et s'est finalement dessiné comme un UPlaNS en incluant d'autres types de travaux comme la création de locaux techniques, la réfection de ponts autoroutiers, de passages supérieurs, la construction de parois antibruit, etc.

### Causes de l'évolution des coûts

Les premières estimations ont dû être faites sur la base d'une méconnaissance des conditions *in situ*. Il n'y a pas eu de considération des éventuels risques dans la phase de planification, ni dans la phase d'exécution des travaux sauf concernant les délais. L'évolution des coûts a été continue, puisque des travaux complémentaires ont été ajoutés tout au long du chantier. Ce qui entraîne une grande difficulté à y voir clair dans les coûts. Il est impossible d'émettre un ordre de grandeur car peu de transparence.

<sup>12</sup> OFROU, *Rapport d'audit, A9 tronçon d'entretien « UPlaNS 008 »*, 2007.

**Facteurs internes**

- Augmentation du volume des prestations,
- Modification du projet par le MO,
- Adaptations du projet aux conditions rencontrées sur place,
- Incertitudes techniques (Ponts Baye de Montreux),
- Inconnues (polluants présents dans l'ouvrage),
- Installations de chantier particulières.

**Facteurs externes**

- Etat du marché de la construction lors du lancement des offres des travaux (élevé),
- Recours éventuels (coût et perte de temps, d'où plusieurs mesures d'accélération nécessaires),
- Hausses conjoncturelles (acier),
- Revendications de l'entrepreneur.

Controlling des coûts

Aucun controlling des coûts puisque peu de vision d'ensemble et adjudication de lots par le biais d'une multitude de contrats supplémentaires souvent inférieurs à 2 millions de francs.

Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

Le rapport du 23 mai 2000 publié par la « Tunnel Task-force » a défini des mesures destinées à augmenter la sécurité dans les tunnels en Suisse. Des carences ont été mises en évidence dans le tunnel de Glion, notamment dans les domaines suivants :

- Ventilation,
- Défense incendie,
- Signalisation des voies de fuite,
- Balisage de guidage,
- Absence d'étanchéité en voûte.

Calcul du renchérissement

La méthode retenue pour le calcul des variations économiques a été négociée dans le contrat principal. Il s'agit de la MIS + SIA 121. Pour le contrat principal, le renchérissement est de 10,9 millions de francs. Pour les autres contrats, le CDF n'a pas reçu d'information.

## 7. TUNNEL DE L'AESCHER

### Introduction

La construction de ce tunnel fait partie de l'ensemble du grand projet de contournement ouest de Zurich. Les travaux du tunnel de l'Aescher ont été terminés dans le courant de l'année 2009. Par conséquent, les coûts finaux indiqués dans le point 4 de cette description ne sont que des estimations. Pour créer cette description, le CDF s'est basé sur la documentation transmise par le Service des ponts et chaussées de Zurich et sur les entretiens menés sur place.

### 7.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel de l'Aescher (ZH)
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Le tunnel de l'Aescher fait partie du contournement de Birmensdorf (N20.1.4) avec le Hafnerbergtunnel (1'380 m) et le Eggraintunnel (480 m). L'ensemble de ce projet est un élément du contournement ouest de Zurich
<b>Références</b>	N20.1.4, Contournement ouest de Zurich, près de Birmensdorf / Aesch, entre les jonctions Brimensdorf et Wettswil
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle
<b>Opportunité de l'ouvrage</b>	Le tunnel de l'Aescher constitue un petit élément du contournement ouest de Zurich, projet autoroutier d'ampleur nationale permettant d'alléger le trafic pendulaire de nombreuses agglomérations ainsi que le trafic de transit de la ville de Zurich
<b>Situation de l'ouvrage</b>	L'Aeschertunnel contourne la commune de Birmensdorf d'ouest au sud, au nord de la localité d'Aesch et se situe entre le tunnel d'Uetliberg et le tunnel du Hafnerberg
<b>Longueur</b>	Les deux tubes mesurent respectivement 2'175 m et 2'142 m de longueur
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Deux tubes parallèles à trois voies de circulation ainsi que des galeries transversales carrossables et piétonnes
<b>Méthode d'excavation</b>	Avancement avec bouclier à lances et par jetting sur 2 fois 1'075 m et excavation à l'explosif sur 2 fois environ 1'000 m
<b>Terrain à excaver</b>	Géologie complexe et changeante entre terrains meubles et roches. Moraine sèche, compacte à molle, en partie avec venues d'eau et molasse d'eau douce supérieure zurichoise avec couches horizontales (grès / grès limoneux / marnes / marnes-argileuses) très fracturées et saturées d'eau

<b>Environnement immédiat</b>	Le tunnel se situe entre les localités d'Aesch et de Birmensdorf, région caractérisée par ses nombreuses collines. Le tracé du tunnel traverse le ruisseau Aescher
-------------------------------	--

## 7.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Baudirektion Kanton Zürich  <b>Tiefbauamt National- und Hauptstrassen</b>  Ingénieur cantonal responsable : M. Pleisch  Chef de projet : M. Meili  Remplaçant : M. Schnellli
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	Baudirektion Kanton Zürich  <b>Tiefbauamt National- und Hauptstrassen</b>  Responsable : M. Kummer, puis à partir d'avril 2001, M. Amstad
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>EWE (Electrowatt Engineering AG)</b>  Responsable : M. Hasler  Remplaçant : M. Schwegler
<b>Ingénieurs</b>	<b>Bureau d'ingénieurs Dr. L. Wyssing AG</b>  Dr. M. Felber  <b>Terra Vermessung</b>  M. Müller  <b>ElectroWatt Engineering EWE</b>  M. Gfeller
<b>Entrepreneur principal génie civil</b>	Groupement d'entreprises « <b>Arbeitsgemeinschaft Aeschertunnel</b> » / Prader AG Zurich (entreprise pilote) / Zschokke Locher AG Zurich / Murer AG, Erstfeld / CSC Bauunternehmung AG, Zurich

### 7.3 Les grandes étapes des projets

<b>1971 - 1998 : Phase de planification</b>	
<b>23 juin 1971</b>	Décision de l'Assemblée fédérale d'ajouter au réseau national le projet de contournement autoroutier nord-ouest de Zurich
<b>1984</b>	Proposition d'un tracé à l'ouest de Birmensdorf (Concept C). Les concepts A et B, initialement proposés, ont été refusés pour des raisons techniques et politiques
<b>Août 1985</b>	Le Conseil fédéral et le Conseil d'Etat de Zurich informent leur volonté de poursuivre le projet avec le concept C
<b>Mars 1987</b>	Projet général pour l'ensemble du tunnel de l'Aescher
<b>22 avril 1987</b>	Le Conseil d'Etat de ZH accepte le projet général de 1987 du contournement de Birmensdorf (A20.1.4)
<b>22 mai 1991</b>	Projet définitif du tunnel de l'Aescher avec adaptation de l'estimation des coûts
<b>20 octobre 1997</b>	Projet de détail du tunnel de l'Aescher (auteur du projet : Electrowatt engineering)
<b>22 octobre 1998</b>	Approbation de l'OFROU du projet de détail
<b>27 juillet 1999</b>	Signature du contrat principal pour la construction de l'Aeschertunnel
<b>1999 - 2009 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>3 mai 1999</b>	Début de la phase des travaux de percement de l'Aescher
<b>8 septembre 1999</b>	Fin des travaux sur la partie ouverte de Täntenholz (zone de portail est)
<b>Août 2000</b>	Effondrement en pleine phase de percement du tunnel
<b>21 décembre 2000</b>	Fin des travaux sur la partie ouverte de Löffler et Schaubert (zone de portail nord-ouest)
<b>2 mai 2005</b>	Début des travaux pour la centrale Schaubert
<b>15 août 2005</b>	Début des travaux pour la centrale Täntenholz
<b>Novembre 2006</b>	Fin des travaux de gros-œuvre
<b>Mai 2009</b>	Fin prévue des travaux de second-œuvre et ouverture officielle

## 7.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel de l'Aescher				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
	Vorprojekt	Dieses datiert aus den 1950-1960er Jahren Das Konzept wurde später geändert/weiterentwickelt und ist mit dem, was später gebaut wurde nicht vergleichbar (Dok. 1 zu Uetliberg)		
1987	Generelles Projekt	N20.1.4 Umfahrung Birmensdorf (Konzept C) Tunnelbau	357'000'000	97%
1991	Definitives Projekt	Baumeisterarbeiten : 430'800'000 Elektromechanik : 49'200'000	480'000'000	130%
1997	Detailprojekt	Voreinschnitt Schaubert : 3'600'000 Zentrale Schaubert : 3'010'000 Aeschertunnel : 311'520'000 Voreinschnitt Täntenholz : 4'910'000 Zentrale Täntenholz : 8'190'000 Verlegung Aescherbach : 960'000 Bachkorrektur Täntenbach : 485'000 Baumeisterarbeiten : 332'675'000 Elektromechanik : 35'400'000 (Preisbasis 10.1994)	368'075'000	100%
1998	Projektgenehmigung durch das ASTRA	Baumeisterarbeiten : 326'805'000 Elektromechanik : keine Angabe		
	Verträge (inklusive MWST + Regie)	Voreinschnitt Schaubert : 4'375'130 Zentrale Schaubert : 2'496'522 Aeschertunnel : 163'016'941 Voreinschnitt Täntenholz : 2'177'100 Zentrale Täntenholz : 8'899'998 Verlegung Aescherbach : -- Bachkorrektur Täntenbach : -- Baumeisterarbeiten : 180'965'691 Elektromechanik : 31'739'639	212'705'000	58%
	Nachträge	Voreinschnitt Schaubert : 285'740 Zentrale Schaubert : -- Aeschertunnel : 50'797'481 Voreinschnitt Täntenholz : 114'204 Zentrale Täntenholz : 79'132 Verlegung Aescherbach : -- Bachkorrektur Täntenbach : -- Nachträge Baumeisterarbeiten : 51'276'557 Nachträge Elektromechanik : 3'433'057	54'710'000	15%

	Total vertragliche Kosten	Verträge : Nachträge :	212'705'000 54'710'000	267'415'000	73%
2008	Endkostenschätzung (inklusive Teuerung und MWST)	Voreinschnitt Schaubert : Zentrale Schaubert : Aeschertunnel : Voreinschnitt Täntenholz : Zentrale Täntenholz : Verlegung Aeschertbach : Bachkorrektur Täntenbach : Baumeisterarbeiten : Elektromechanik :	4'540'093 3'392'591 227'601'630 2'628'770 10'923'749 -- -- 249'086'833 35'492'855	284'580'000	77%

## 7.5 Les points forts et les points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Les premières idées du projet datent des années 1970. Ce projet a engendré de nombreuses réflexions et études de projet : trois concepts de construction ont été élaborés avec des variantes différentes (concepts A, B et C). C'est finalement le *concept C* de mars 1987 qui a été retenu et accepté par le Conseil d'Etat de Zurich. Ce concept a pris en compte toutes les remarques et critiques déposées pendant la phase de réflexion et prévoyait le passage de l'autoroute A20 au sud-ouest de la localité de Birmensdorf de manière à ce que les flux de trafic venant d'Argovie soient directement transférés sur la nouvelle route nationale.

### Phase de planification / Approbation du projet

Le projet de l'autoroute A20.1.4, appelé également détournement de Birmensdorf, a été approuvé le 22 avril 1987 et prévoyait deux grandes constructions souterraines, le tunnel de l'Aescher et le tunnel d'Hafnerberg, plusieurs ouvrages à ciel ouvert et la construction de trois bifurcations (l'une en direction de Dietikon, l'autre en direction de Birmensdorf et la troisième en direction de Wettswil).

### Précision et base du devis

L'estimation des coûts provient de diverses sources ; elle se base notamment sur les expériences d'ouvrages similaires et sur des indications récoltées auprès d'entrepreneurs avec des compétences et des connaissances reconnues dans le domaine de la construction souterraine. Le CDF a constaté une grande évolution dans l'estimation des coûts entre le projet général (mars 1987) devisé à 357 millions de francs, le projet définitif (mai 1991) devisé à 480 millions de francs et le projet de détail (octobre 1997) devisé à environ 368 millions de francs. Les raisons qui

expliquent la grande différence entre l'estimation des coûts de 1991 et le devis du projet de détail de 1997 sont les suivantes<sup>13</sup> :

- Décision de renoncer à différentes installations de ventilation (économie d'environ 67 millions de francs),
- Estimation des coûts plus précise pour les équipements électromécaniques (économie d'environ 14 millions de francs),
- Estimation des coûts plus précise pour la construction du tunnel de l'Aescher (économie d'environ 32 millions de francs).

#### Structure du projet

Les travaux de génie civil ont été adjugés à un consortium. Pour ce qui est du second-œuvre et notamment pour les équipements électromécaniques, des entreprises particulières ainsi qu'un consortium ont été engagés.

Une division spécifique de la direction des travaux publics du canton de Zurich s'occupe de tous les travaux qui concernent les équipements électromécaniques. Un chef de projet de ce service a été nommé pour l'Aeschertunnel et a travaillé en parallèle avec le chef de la direction des travaux. L'entreprise Pöyry (anciennement EWI - ElektroWatt) s'est occupée du projet d'exécution et de l'exécution des travaux d'électromécaniques.

#### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Le consortium « Arbeitsgemeinschaft Aescher » a été choisi pour remplir les critères principaux suivants : d'une part, il s'agissait de posséder une grande expérience dans la construction de tunnels et d'autre part, avoir des compétences reconnues dans la maîtrise de conditions géologiques et hydrogéologiques spécifiques, similaires à celles qui caractérisent le terrain du tunnel de l'Aescher.

Le processus s'est déroulé en une seule étape avec des critères spécifiques (obligatoires) pour ce projet en particulier (efficacité et capacité de l'entreprise, ressources internes, etc.) ainsi que différents critères d'adjudication complémentaires. Toutes les offres ont été évaluées selon l'ensemble des critères choisis par le maître d'ouvrage. Les entreprises devaient répondre à la variante officielle demandée par le maître d'ouvrage dans l'appel d'offres et pouvaient également proposer des variantes propres.

<sup>13</sup> Rapport effectué par le bureau d'ingénieurs Electrowatt Engineering sur demande de la direction des travaux publics du canton de Zurich : A20.1.4 Contournement de Birmensdorf, construction du tunnel de l'Aescher, comparaison entre l'estimation des coûts et le devis, 21 octobre 1998.

### Contrats et adjudication des travaux

Le contrat principal du Lot 533 a été attribué au Groupement AAT Arbeitsgemeinschaft Aeschertunnel, avec Prader SA Zurich comme entreprise pilote. Le montant total de ce contrat est de 131'794'077,50 francs (TVA 6,5% incluse). Ce lot comprend le percement et la construction du tunnel de l'Aescher (génie-civil). Cette entreprise a offert une variante de percement plus rapide et moins chère que la variante officielle, qui a été acceptée par le maître d'ouvrage. Le montant du contrat était donc d'environ 42% de moins que le devis initial.

### Conditions géologiques et géotechniques

Il s'agit d'un projet particulièrement difficile étant donné les conditions géologiques très instables et la diversité des sols. Par ailleurs, la surface du terrain est très irrégulière, ce qui a influencé le percement du tunnel.

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Changement de méthode de percement*

Un effondrement a eu lieu en août 2000 en plein percement du tunnel à cause de la méthode d'excavation (KMS-Vortrieb) qui n'était pas adéquate aux conditions géologiques *in situ*. Cette méthode proposée par l'entreprise avait été acceptée par le canton pour des raisons financières et techniques en dépit des risques qu'elle comportait. Suite à cet effondrement, il a fallu changer de méthode en cours de percement et reprendre initialement celle prévue dans le projet de détail. Il s'agit de la méthode stabilisation du terrain par injection (Jetting-Verfahren). Le changement de la méthode de percement a été discuté par le maître d'ouvrage et l'entreprise, en présence de l'OFROU. Les négociations concernant la responsabilité et le paiement des dégâts ont été longues et difficiles. Le paiement de cet effondrement et de ses conséquences est assumé par le MO et la Confédération à hauteur de 3 millions de francs.

#### *2. Retard dans le planning des travaux*

Suite à l'effondrement du terrain et aux problèmes géologiques rencontrés lors du percement du tunnel, l'exécution des travaux a pris du retard. Pour faire face à ce retard, il a fallu prendre différentes mesures comme le renforcement des équipes et des ressources à disposition pour le chantier. De plus, un calendrier précis pour avancer le plus rapidement possible dans les travaux a été mis en place. Si l'entrepreneur respectait ce nouvel agenda, le maître d'ouvrage s'engageait à payer la moitié des coûts supplémentaires (l'autre moitié était payée par l'entrepreneur qui a eu la responsabilité des dégâts d'effondrement du terrain). Cette modification de projet a été approuvée par l'OFROU.

#### *3. Planification et direction des travaux faites par une seule entité*

L'avantage dans l'organisation de projet du tunnel de l'Aescher était le fait que la direction générale et locale des travaux (DGT et DLT) ainsi que toute la planification étaient assumées par une seule

et même entité : l'entreprise d'ingénieurs EWI SA. Le fait d'avoir un seul acteur qui s'occupe du projet de détail, du projet d'exécution ainsi que de la direction des travaux sur place a grandement facilité l'ensemble du management de projet et les rapports entre les acteurs engagés.

#### Gestion administrative et financière du projet

Tous les mois, un rapport a été publié et comportait les points suivants : état des travaux de construction, délais, coûts, qualité, éléments à régler, prochaines séances, photos et documentation. Cependant, il s'agissait toujours d'informations assez succinctes et le CDF n'a pas eu accès à l'ensemble de ces rapports.

#### Modifications de projet

42 avenants qui concernaient les travaux de construction ont été recensés par le CDF, pour un montant total d'environ 51,3 millions de francs. Parmi ceux-ci, l'avenant No 7 d'environ 15 millions de francs concerne le changement de méthode d'avancement pour le percement. L'avenant No 30 qui s'élève à 11,6 millions de francs concerne l'ajout d'un plafond intermédiaire pour l'évacuation des gaz en cas d'incendie.

#### Causes de l'évolution des coûts

Plusieurs facteurs ont influencé les coûts à la hausse : le changement de la méthode de percement, la réparation des dégâts causés par l'effondrement, l'adaptation du projet pour l'aération suite aux mesures de la Task-force et aux nouvelles directives de l'OFROU. En outre, lors de la construction du tunnel, le SPC de Zurich a dû faire face à de nombreux imprévus, principalement d'ordre géologique. Lors de l'effondrement, il a fallu déterminer qui était responsable et comment cet imprévu allait être payé. En l'occurrence, les coûts supplémentaires causés par cet effondrement ont été réglés par le biais d'avenants.

Il y a également eu des facteurs ayant influencé les coûts contractualisés à la baisse, comme notamment le changement des installations pour la méthode de percement et la modification des canaux pour les gaines techniques (économie d'environ 5,5 millions de francs).

Le fait que les travaux aient été adjugés avant ceux qui concernent les nouvelles transversales alpines (NLFA) - environ deux ans avant - a certainement influencé les offres des entreprises qui étaient plus avantageuses que les coûts devisés.

#### Controlling des coûts

Le Service des ponts et chaussées du canton de Zurich dispose d'un système de suivi des coûts des projets de construction. Il s'agit d'un système général qui a été mis en place pour tous les projets que le Service des ponts et chaussées de Zurich assume.

Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

L'adaptation du concept de ventilation avec centrales d'aération (un plafond intermédiaire, clapets pour l'aspiration des gaz d'échappement ainsi que les accès transversaux entre les tubes) ont été construits suite à l'intervention de la Task-force et à l'entrée en vigueur des nouvelles normes de sécurité dans les tunnels.

Calcul du renchérissement

Pour les travaux de construction, la méthode de décompte des variations économiques est la Méthode d'indice spécifique d'ouvrage (MIS). Le renchérissement a été décompté et facturé à la fin des travaux mais le CDF n'a reçu aucune indication précise à ce sujet.

## 8. TRANCHEE COUVERTE D'OPFIKON

### Introduction

Il s'agit du deuxième cas de recouvrement choisi par le CDF. Cette description se base sur la documentation transmise par le Service des ponts et chaussées de Zurich. Cependant, relativement peu d'informations ont été transmises au CDF. A ce titre, le nombre d'avenants et leur montant sont restés inconnus.

### 8.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Recouvrement d'Opfikon (ZH)
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Recouvrement de la partie de l'autoroute en direction de l'aéroport « Flughafenautobahn » à la hauteur de la ville d'Opfikon
<b>Références</b>	N11.1.1, Route nat. de 1 <sup>ère</sup> classe, tronçon entre Oberhausen et Flughafen, demi-jonction d'Opfikon à la jonction de Glattbrugg, objet : Recouvrement d'Opfikon, km 292.400 - km 293
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle : couverture, élargissement d'un tronçon d'autoroute et réaménagement
<b>Opportunité du projet</b>	Protection contre le bruit et les gaz d'échappement, adaptation à une fréquence de circulation en constante augmentation et meilleur aménagement du territoire voulu par la ville d'Opfikon (recouvrement carrossable)
<b>Situation de l'ouvrage</b>	L'ouvrage est situé sur le territoire d'Opfikon ; l'autoroute traverse la ville du sud au nord
<b>Longueur</b>	585 m
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Elargissement de l'autoroute (2 voies à 3 voies pour chaque direction) et recouvrement. Séparation des voies de circulation par une paroi intermédiaire permanente. Le tunnel est équipé d'un système de ventilation construit selon les nouvelles normes de sécurité
<b>Terrain</b>	L'ouvrage est construit sur des pieux qui s'appuient sur une couche de grès et de marne situés entre 10 et 25 m de profondeur au-dessous du niveau de l'autoroute
<b>Environnement immédiat</b>	Zone urbaine au nord de Zurich, en direction de l'aéroport

## 8.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Baudirektion Kanton Zürich  <b>Tiefbauamt</b>  Abteilung National- und Hauptstrassen  Abteilung Brücken
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	<b>Tiefbauamt Zürich</b>  Chef de projet : M. Bachmann  Ingénieur responsable : M. Meili
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	Edy Toscano AG, Zürich  M. Breitenmoser
<b>Ingénieurs conseillers</b>	<b><u>Auteur du projet</u></b>  Walter Bosshard & Partner Bauingenieure AG, Dübendorf  <b><u>Spécialistes</u></b>  Architekten - U.P. Eigenmann & P. Hefti, Gockhausen & Jauch, Zürich  Verkehr - Jenni+Gottardi AG, Kilchberg  Sicherheit- Bürkel Baumann Schuler, Winterthur  Lüftung - Haerter & Partner AG, Zürich  Geologie - Dr. von Moos AG, Zürich  NT-Anlage - W. Schefer AG, Hinwil  Electromechanik - R. Stöckli AG, Zürich  Geometrie - Gossweiler Ing. AG
<b>Entrepreneur principal génie civil</b>	<b>ARGE N11 TBT OPFIKON</b>  Baltensperger AG, Seuzach ; Anliker AG, Emmenbrücke ; Hüppi AG, Zürich ; Schmidli Bau AG, Rafz ; Bereuter AG, Volketswil

### 8.3 Les grandes étapes du projet

<b>1979 - 2001 : Phase de planification</b>	
<b>1979</b>	Motion du Conseil communal au Conseil de la ville d'Opfikon pour un projet de parois antibruit le long de la N11
<b>1980</b>	Plusieurs mesures sont effectuées et on constate que le niveau des émissions de bruit est élevé
<b>1983</b>	Premier projet de la commune d'Opfikon pour des parois antibruit de 5 m et pour un coût de 10 millions de francs
<b>1<sup>er</sup> avril 1987</b>	Entrée en vigueur de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB)
<b>1992</b>	Suite à l'ordonnance sur la protection contre le bruit, proposition d'un projet de parois antibruit avec variante de recouvrement léger (coûts estimés à 35 millions de francs) remis à l'OFEV
<b>1992</b>	La commune d'Opfikon demande à l'OFROU et à l'OFEV un recouvrement plus long, devisé à 55 millions de francs
<b>Juin 1992</b>	L'OFROU communique au SPC de Zurich que les coûts complémentaires de 20 millions de francs pour cette variante doivent être assumés par la commune d'Opfikon
<b>1994</b>	Acceptation de la ville d'Opfikon de prendre en charge 15 millions de francs des coûts suppl. pour un recouvrement carrossable de 585 m et élaboration du projet définitif. Ce projet est estimé à 52 millions de francs
<b>Début 1995</b>	Approbation du projet définitif par les autorités du canton de ZH
<b>13 mars 1995</b>	Approbation du projet définitif par le DETEC
<b>1996</b>	Lors de la préparation du projet de détail, proposition d'un élargissement du projet 6 voies + 2 bandes de sécurité pour faire face à l'augmentation constante du trafic. En conséquence, un nouveau projet définitif est élaboré
<b>9 juin 1999</b>	Approbation par le DETEC de ce nouveau projet estimé à 124 millions de francs (coût auquel Opfikon participe à hauteur de 15 millions de francs)
<b>2001 - 2004 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>Juillet 2001</b>	Premier coup de pioche
<b>2002-2004</b>	Phase d'exécution des travaux principaux. Pendant toute cette phase, la circulation est concentrée sur deux voies dans chaque direction

<b>Fin 2004</b>	Fin des travaux de recouvrement et mise en service de la structure finale de circulation. Quelques travaux de finition (étanchéité, remblayage, reconstruction des routes se trouvant au-dessus du tunnel)
-----------------	--

#### 8.4 Les coûts et leur évolution

Recouvrement d'Opfikon				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
1983	1er projet (Commune d'Opfikon)	Etablissement d'un premier projet par la Commune d'Opfikon qui prévoyait des parois anti-bruit d'une hauteur de 5 m pour un coût d'environ CHF 10'000'000	10'000'000	13%
1992	Programme d'assainissement partiel (Opfikon)	Programme qui a été remis à l'OFEV au début de 1992 : - Parois anti-bruit - Variante : recouvrement minimal Coûts devisés à CHF 35'000'000	35'000'000	45%
1992	Avant-projet	Vœux de la Commune d'Opfikon : recouvrement long pour un coût devisé à CHF 55'000'000 Juin 1992 : l'OFROU communique au SPC ZH que les surcoûts de CHF 20'000'000 sont à assumer par Opfikon	55'000'000	70%
1994	Approbation de la Commune d'Opfikon	Surcoût de CHF 15'000'000 : recouvrement raccourci Nouveaux coûts : CHF 50'000'000 Supplément pour évacuation d'eau : CHF 1'970'000	52'000'000	66%
1995	Approbation 1er projet définitif	13.03.1995 : approbation par le DETEC d'un projet définitif sur la base de l'approbation 1994 de la Commune d'Opfikon Ce projet a été rejeté en 1996 à cause de plusieurs désavantages		
1998	2ème projet définitif	Recouvrement : 67'294'362,57 Equipements EM : 5'143'875,00 Adaptation des routes au-dessus du recouvr. : 6'081'791,86 Total 1 (recouvrement) : 78'520'029,43 Construction : 22'493'789,28 Total coûts de construction : 101'013'818.70 Projet et achat du terrain : 23'200'451,74 Total coûts devisés : 124'214'270,45	78'520'000	100%

1999	Approbation 2ème projet définitif	09.06.1999 : approbation par le DETEC d'un 2ème projet définitif avec coûts totaux devisé à CHF 124'000'000		
	Contrats	Recouvrement : 54'642'956,52 Equipement EM : 17'085'217,39 Adaptation des routes au-dessus du recouvr. : 859'774,22 Total 1 (recouvrement) : 72'587'958,13 Construction : 28'309'232,35 Total coûts de construction : 100'897'180,50 Projet et achat du terrain : 25'384'782,61 Total contractuel : 126'281'963,10	72'588'000	92%
	Avenants	Pas d'indication		
2008	Paiements totaux (y c. renchérissement)	Recouvrement : 60'059'426,90 Equipements EM : 16'695'655,85 Adaptation des routes au-dessus du recouvr. : 988'740,35 Total 1 (recouvrement) : 77'743'823,10 Construction : 33'753'548,75 Total coûts de construction : 111'497'371,90 Projet et achat du terrain : 29'856'354,95 Total paiements : 141'353'726,90	77'744'000	99%

## 8.5 Description des points forts et faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Déjà en 1979, alors que les nuisances provenant de l'autoroute N11 dépassaient le seuil de tolérance admissible pour Opfikon, le Conseil communal souhaitait un projet de recouvrement ou de parois antibruit. En 1983, un premier projet de construction d'écrans antibruit de 5 m de hauteur a été établi pour un coût estimé alors à 10 millions de francs. Cependant, cette variante n'a pas convaincu la ville d'Opfikon étant donné qu'elle ne couvrait pas tous les besoins dénombrés par la commune et les habitants des environs.

### Phase de planification / Approbation du projet

Suite à l'entrée en vigueur de l'ordonnance sur le bruit (1987), le projet a été remplacé par un projet de parois antibruit avec variante d'un recouvrement minimal devisé à environ 35 millions de francs. La commune d'Opfikon n'étant toujours pas satisfaite du projet, une autre variante de recouvrement est alors discutée en 1992. Il s'agissait d'un recouvrement carrossable plus long estimé à 55 millions de francs. L'OFROU communique au Service des ponts et chaussées de Zurich que les coûts supplémentaires de cette variante (20 millions de francs) devront être

assumés à 100% par la commune d'Opfikon. Opfikon étant d'accord d'assumer les surcoûts de cette variante à hauteur de 15 millions de francs, le projet est donc raccourci à 585 m de longueur pour un coût total de 50 millions de francs et un supplément d'environ 2 millions pour les mesures d'évacuation d'eau qui avaient été sous-estimées auparavant (1994).

En mars 1995, le DETEC approuve le projet définitif qui inclut :

- un recouvrement d'une longueur de 585 m,
- l'assainissement de trois passages au-dessus du recouvrement,
- sur la route en direction de l'aéroport, la construction d'une troisième voie de circulation,
- la possibilité d'une éventuelle voie de circulation supplémentaire en direction de Zurich.

Mais, en 1996, lors du traitement du projet de détail, de nouvelles modifications de projet ont lieu et annulent l'approbation du DETEC de 1995. Ce nouveau projet prévoit alors une autoroute à six voies, une bande de sécurité dans chaque direction ainsi que la démolition des trois passages et leur reconstruction plus solide et plus large. Dès lors, le coût total pour cette dernière variante est devisé à 124 millions de francs.

Pour le recouvrement d'Opfikon, la phase de planification a duré plus d'une vingtaine d'années et c'est seulement en 1999 que le DETEC a approuvé le projet de la variante définitive après l'acceptation par les autorités politiques du canton de Zurich. Dans la phase de planification, ce projet est donc passé de 10 millions de francs à 124 millions de francs.

#### Précision et base du devis

L'estimation des coûts provient de diverses sources ; elle se base notamment sur les expériences d'ouvrages similaires et sur des indications données par des entrepreneurs.

#### Structure du projet

Le rapport du projet de détail de 1998 rend en compte le génie civil, les équipements EM, le tracé ainsi que les installations de chantier. Mais lors de l'exécution des travaux, les aspects de génie civil et d'électromécanique ont été traités de manière séparée.

#### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Pas d'information.

### Contrats et adjudication des travaux

Le contrat principal a été attribué au consortium ARGE N11 TBT OPFIKON qui regroupe les entreprises Baltensperger AG, Seuzach ; Anliker AG, Emmenbrücke ; Hüppi AG, Zürich ; Schmidli Bau AG, Rafz et Bereuter AG, Volketswil. Le montant du contrat s'élève à 65 millions de francs et comprend le tracé, les travaux de recouvrement et les adaptations des routes situées au-dessus du tunnel. Le reste du chiffre d'affaire a été adjudé à d'autres entreprises.

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Retard au début des travaux*

La fabrication des pieux de soutènement du recouvrement ayant pris plus de temps que prévu, le l'avancement du chantier a pris un certain retard par rapport à la planification.

#### *2. Changement d'organisation de chantier*

Pour faire face au retard suite à la fabrication des pieux, l'organisation des travaux a été renforcée : deux équipes par jour au lieu d'une seule et 12-13 heures de travail au lieu de 8 heures seulement.

### Gestion administrative et financière du projet

Lors de la construction du recouvrement d'Opfikon, les directives OFROU n'ont pas été appliquées. Il n'existe ni rapports trimestriels, ni journal de projet. Les informations se transmettaient la plupart du temps oralement. Tout s'est fait sans papier officiel, il n'y a donc pas eu de controlling sur le chantier. Il n'existe donc pas de document pour chaque décision.

### Modifications de projet

Mis à part pendant la longue phase de planification où de nombreuses variantes de projet ont été étudiées, une fois les travaux en route, il n'y a pas eu de modification de projet notable.

### Causes de l'évolution des coûts

Les facteurs qui ont influencé les coûts à la baisse sont les suivants : le projet s'est déroulé avec une organisation claire et efficace et le programme de construction a pu être raccourci sur le temps de construction prévu initialement. L'avancement a donc été plus rapide que prévu. De plus, selon les entretiens, les offres que les entreprises ont faites étaient très avantageuses par rapport au devis.

Le principal facteur qui a influencé les coûts à la hausse est le renchérissement de l'acier tout à la fin du chantier.

Controlling des coûts

Pas de controlling des coûts.

Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

Il n'y a pas eu d'influence de la Task-force mais des changements ont malgré tout eu lieu concernant le système d'aération suite aux mesures voulues par l'OFROU.

Equipements électromécaniques

Pas d'information particulière mais, alors que le devis pour l'EM s'élevait à environ 5 millions de francs, les contrats et le décompte final se sont élevés à 17 millions de francs. Cette différence s'expliquerait par les changements au niveau du système d'aération.

Calcul du renchérissement

Le renchérissement a été décompté et facturé à la fin des travaux mais il n'existe aucune indication précise à ce sujet puisque le renchérissement a probablement été couvert par les crédits d'objet attribués par l'OFROU. Par ailleurs, le renchérissement a été calculé selon le modèle (MIS) prévu dans le contrat.

## 9. TUNNEL D'UETLIBERG

### Introduction

Le tunnel d'Uetliberg fait partie du grand projet de contournement ouest de Zurich. Pour créer cette description, le CDF s'est basé sur la documentation transmise par le Service des ponts et chaussées du canton de Zurich. Cependant, le CDF n'a pas reçu toutes les informations souhaitées. A ce titre, il manque le nombre d'avenants et le montant qu'ils représentent.

### 9.1 Caractéristiques de l'ouvrage

Nom	Tunnel d'Uetliberg (ZH)
<b>A quel projet l'objet se rattache-t-il ?</b>	Le projet du tunnel d'Uetliberg est une partie du contournement ouest de Zurich A4/A20. Il relie la route nationale A4 à l'ouest Zoug-Lucerne et la route nationale Zürich-Coire (A3) à l'est
<b>Références</b>	A4.1.5, Route nat. de 1 <sup>e</sup> classe, Section frontière du canton de Zoug - Brunau, tronçon Uetliberg ouest - Uetliberg est, km 23.945 - km 28.420
<b>Genre des travaux effectués</b>	Construction nouvelle
<b>Opportunité du projet</b>	Comme le tunnel de l'Aescher, le tunnel de l'Uetliberg constitue aussi un élément du contournement ouest de Zurich et permet d'alléger le trafic pendulaire de nombreuses agglomérations ainsi que le trafic de transit entre Zurich et Zoug
<b>Situation de l'ouvrage</b>	Le tunnel se trouve dans le canton de Zurich, juste après le contournement de Birmensdorf et s'étend plus précisément entre les jonctions « Zurich-ouest » à Filderer et « Zurich-sud » en direction de « Zurich-Brunau »
<b>Longueur</b>	4'410 m. Il s'agit du plus long tunnel du contournement ouest de Zurich
<b>Données techniques et caractéristiques</b>	Deux tubes parallèles à trois voies (deux voies de circulation et une bande de sécurité). Le tracé est fortement courbé et possède un degré d'inclinaison de 1,6%. Des niches de sécurité se trouvent à intervalles de 150 m environ
<b>Méthode d'excavation</b>	Les risques liés à un avancement au tunnelier seulement étaient vraiment trop élevés (zones de molasse et surtout de moraine). Un système d'avancement à l'explosif a été utilisé ainsi qu'un système combinant un petit tunnelier et une machine à attaque ponctuelle

<b>Terrain à excaver</b>	Le cœur des deux collines (Ettenberg et Uetliberg) se compose de plusieurs couches de molasse ainsi que des bancs de grès dur et des couches de marne douce. Pour atteindre les parties de molasse, il faut traverser à trois endroits (Gjuch, Diebis et Juchegg) des sections de matériau meuble. Tous les passages de matériau meuble se trouvent dans la nappe phréatique
<b>Environnement immédiat</b>	Le tunnel d'Uetliberg passe au-dessous de deux collines, l'Ettenberg et l'Uetliberg. Entre deux, se trouve le Reppischtal où la centrale de ventilation a été localisée sur une surface de 230 m de long. Le recouvrement maximal du tunnel est d'environ 320 m

## 9.2 Organisation de projet et organisation des travaux

<b>Maître d'ouvrage (MO) / Supervision générale du projet</b>	Baudirektion Kanton Zürich  <b>Tiefbauamt National- und Hauptstrassen</b> Ingénieur cantonal responsable : M. Meili Chef de projet : M. Schnell Remplaçant : M. Bieber
<b>Direction générale des travaux (DGT)</b>	Mandataires et auteurs du projet : <b>Amberg Engineering AG</b> Chef de la direction générale du projet : M. Sala/M. Marti
<b>Direction locale des travaux (DLT)</b>	<b>Amberg Engineering AG</b>
<b>Études de projet et conseillers techniques</b>	Dr. Heinrich Jäckli AG, Zürich, Geologe Ernst Basler und Partner AG, Zürich (Baugrube und Portalstation Wanneboden) Henauer + Gugler AG, Zürich (Baugrube und Lüftungszentrale Reppischtal) Ingenieurbüro Eichenberger AG, Zürich (Baugrube und Portalstation Gänziloo)
<b>Entrepreneurs principaux Génie civil</b>	<b>ARGE Uetli, c/o Implenia Bau AG, Aarau</b> Murer-Strabag AG, Erstfeld Prader AG Tunnelbau, Zürich CSC Bauunternehmung AG, Zürich Wayss & Freytag, München/Frankfurt Alpine Mayreder Bau GmbH, Salzburg-Wals Züblin-Strabag AG, Zürich

### 9.3 Les grandes étapes du projet

<b>1974 - 1996 : Phase de planification</b>	
<b>23 juin 1971</b>	Décision de l'Assemblée fédérale d'ajouter au réseau national le projet de contournement autoroutier nord-ouest de Zurich
<b>6 août 1986</b>	Le Conseil d'Etat du canton de Zurich vote sur le projet général du tunnel d'Uetliberg ainsi que sur la jonction Zurich - sud / Zurich - Brunau
<b>22 avril 1987</b>	Le canton de Zurich vote le projet général du contournement de Birmensdorf (A 20.1.4) ainsi que la A 4.1.5 (Uetliberg)
<b>29 juin 1988</b>	Le Conseil Fédéral approuve le projet général A4 du canton de Zurich, tronçon jonction Brunau- Uetlibergtunnel - embranchement Filderen - Bergermoos
<b>Juillet 1992</b>	Projet définitif du tunnel d'Uetliberg
<b>1993</b>	Approbation du projet définitif de la A 20.1.4, de la A 4.1.5 et de la A 4.1.4 par les autorités du canton de Zurich
<b>Juillet 1996</b>	Approbation du projet définitif par le DETEC pour le tronçon Bergermoos - Filderen - Uetliberg - Brunau
<b>5 avril 1999</b>	Projet de détail du tunnel d'Uetliberg
<b>1999 - 2011 : Phase d'exécution des travaux</b>	
<b>Juin 1999</b>	Début de la phase des travaux avec mise en place des installations de chantier, déplacement des gaines techniques, accès au chantier, installations d'épuration principales, pistes d'accès, surfaces de dépôts, etc.
<b>13 septembre 2000</b>	Le Conseil d'Etat du canton de Zurich décide l'approbation des travaux concernant le tunnel
<b>Octobre 2000</b>	Début des travaux principaux
<b>Printemps 2002</b>	Installation du tunnelier pour le percement de la galerie pilote
<b>1 février 2005</b>	Fin des travaux de percement du tunnel
<b>2006</b>	Fin des travaux de gros-œuvre
<b>Mai 2009</b>	Ouverture prévue et mise en exploitation du tunnel

## 9.4 Les coûts et leur évolution

Tunnel d'Uetliberg				
Date	Phase du projet	Sujet	Coûts de construction	%
	Vorprojekt	Dieses datiert aus den 1950-1960er Jahren. Das Konzept wurde später geändert bzw. weiterentwickelt und ist mit dem, was später gebaut wurde nicht vergleichbar		
1986	Generelles Projekt	Tunnelbau. Laut TBA ZH sollte in der Regel die EM in diesen Kosten mit ca. 15% inbegriffen sein	373'000'000	41%
1992	Definitives Projekt (bereinigtes Auflageprojekt)	Tunnelbau : 700'000'000 Aushub- und Material- transporte : 115'000'000 Baumeisterarbeiten : 815'000'000 Elektromechanik : 100'000'000	915'000'000	100%
1994	Projektgliederung N4.1.5	Tunnelbau : 707'600'000 Verladestationen (Material) : 115'000'000 Elektromechanik : 92'400'000	915'000'000	100%
1999	Detailprojekt	Tunnel (inkl. Materialtransport) 682'588'000 Zentrale Gänziloo : 9'868'000 Voreinschnitt Gänziloo : 20'527'000 Lüftungszentrale : 69'900'000 Voreinschnitt Reppischtal : 30'325'750 Voreinschnitt Wanneboden : 12'800'000 Rohbau Wanneboden : 17'600'000 Baumeisterarbeiten : 843'608'750 Elektromechanik : 69'288'209 Total KV : 912'896'959	912'900'000	100%
	Verträge	Baumeisterarbeiten : 1'078'127'659 Elektromechanik : 59'643'725 Total Verträge : 1'137'771'384	1'137'771'000	124%
	Nachträge	Baumeisterarbeiten : 38'559'236 Elektromechanik : 6'006'336	44'566'000	5%
	Total vertragliche Kosten	Verträge : 1'137'771'000 Nachträge : 44'566'000	1'182'337'000	129%
2008	Endkostenschätzung (inklusive Teuerung und MWST)	Baumeisterarbeiten : 934'838'000 Elektromechanik : 67'567'898	1'002'406'000	110%

## 9.5 Description des points forts et des points faibles du projet

### Premières idées du projet / Première estimation de coût

Sur la base du projet général de juillet 1986, le choix du tracé du tunnel d'Uetliberg a été décidé et approuvé par le Conseil d'Etat du canton de Zurich en 1987, en même temps que le projet de contournement de Birmensdorf. En 1988, le Conseil fédéral approuva ce projet général du tunnel d'Uetliberg pour un montant de 373 millions de francs.

### Phase de planification / Approbation du projet

Le projet initial approuvé par les autorités cantonales et fédérales a cependant été modifié. Au mois de juillet 1992, après des mises à jour et corrections du projet initial, un projet définitif est publié pour la mise à l'enquête publique. L'estimation officielle des coûts de ce nouveau projet, complètement différent du projet de 1986, s'élève à environ 915 millions de francs répartis de la manière suivante : 815 millions de francs pour la construction du tunnel et 100 millions pour les travaux qui concernent les équipements électromécaniques. L'approbation de ce nouveau projet correspond au tracé du projet actuel. Une des grandes modifications qui existe entre ces deux projets est l'élargissement de 2x2 voies à 2x3 voies.

Le bureau Amberg Engineering SA a été mandaté pour les études de projet, les soumissions, la direction générale et locale des travaux, l'élaboration de toute la documentation, les garanties, etc.

### Précision et base du devis

Le projet de détail du 15 avril 1999 concerne les travaux de construction du tunnel d'Uetliberg, les passages à ciel ouvert et les constructions des centrales de ventilation de Gänziloo, Reppischtal et du Wannenboden ainsi que les coûts pour le transport de matériel. Les coûts de construction budgétés s'élèvent à environ 913 millions de francs.

### Structure du projet

Dans la phase de planification et ceci jusqu'au projet définitif, les équipements électromécaniques étaient pris en compte dans la totalité du projet. Ensuite, le projet a été abordé selon une perspective sectorialisée. La direction des travaux publics de Zurich possède une division spécifique qui s'occupe exclusivement des équipements électromécaniques.

### Critères d'adjudication / Pondération des critères

Pour chaque mandat, des soumissions ont été faites. Ces soumissions ont toujours eu lieu sur la base de critères de « pertinence » qui sont essentiels à remplir et de critères spécifiques supplémentaires pour l'adjudication. La procédure a eu lieu en une seule phase.

### Contrats et adjudication des travaux

Les travaux ont été adjugés à plusieurs entreprises et consortiums pour un montant total de 1,140 milliard de francs. Le mandat principal a été attribué à l'ARGE Uetli pour un chiffre d'affaire de 420 millions de francs pour la construction du tunnel.

### Particularités du projet lors de l'exécution des travaux

#### *1. Recours de la part des entreprises soumissionnaires*

Avant de commencer la phase d'exécution des travaux, la direction des travaux publics de Zurich a dû faire face à des recours contre les adjudications. Ces recours ont provoqué un retard pour le premier coup de pioche.

#### *2. Prolongation de la durée contractuelle*

Quelques problèmes de respect des délais ont été rencontrés lors de la phase de percement. Le temps nécessaire pour le système spécifique de percement (avancement à l'explosif ainsi qu'un système combinant un petit tunnelier et une machine à attaque ponctuelle) a été plus long que prévu. Le percement de la galerie pilote, puis son agrandissement au diamètre définitif a dépassé la durée contractuelle. En conséquence, le SPC de Zurich a dû revoir les délais avec l'entreprise et a signé un avenant pour couvrir les coûts supplémentaires.

### Gestion administrative et financière du projet

Des rapports trimestriels ont été rédigés à l'intention des organes politiques et de l'OFROU. Tout au long du projet, des séances régulières étaient organisées.

La pratique habituelle de gestion de projet du SPC de Zurich est relativement similaire aux directives OFROU sur la gestion de projet dans les routes nationales.

### Modifications de projet

Entre le projet général et le projet définitif, il y a eu un grand changement de projet : il s'agit de l'élargissement de 2x2 voies à 2x3 voies (deux voies de circulation et une bande de sécurité qui peut aussi être mise en exploitation lorsque la circulation devient trop dense. La signalisation a d'ailleurs été prévue à cet égard). Ce changement de projet a été exécuté sur demande du canton à l'OFROU en raison du nombre important d'usagers attendus sur ce tronçon.

### Causes de l'évolution des coûts

La principale cause de l'évolution des coûts une fois le projet approuvé se situe au niveau de l'adjudication des travaux. En revanche, il est à noter que le coût final estimé est inférieur aux coûts contractuels, indiquant que des économies ont été faites durant la phase de construction.

### Controlling des coûts

Le SPC de Zurich se distingue par un bon système de suivi des coûts des projets de construction et de controlling des coûts. C'est un système général qui a été mis en place pour tous les projets que le SPC Zurich assume.

### Equipements électromécaniques

L'ensemble des travaux d'électromécaniques ont fait l'objet d'appels d'offres officiels et publics. Une division spécifique de la direction des travaux publics de Zurich s'est occupée du domaine des équipements électromécaniques pour le tunnel d'Uetliberg. La direction générale et locale des travaux a été gérée par une entreprise d'ingénieurs mandatée.

### Adaptation des mesures de sécurité (Task-force)

L'intervention de la Task-force a conduit à différentes modifications pour la sécurisation des tunnels comme l'aération (nouvelle directive OFROU), le traitement des fumées et les éléments de signalisation. Il y a également eu des influences notables sur la construction. En effet, les centrales de ventilation ont dû être agrandies et une dalle intermédiaire a été ajoutée.

### Calcul du renchérissement

Pour les contrats jusqu'à 5 millions de francs et dont la durée des travaux s'entend sur moins de deux ans, l'indice des coûts de production (ICP) a été appliqué ; pour le reste, la méthode de l'indice spécifique d'ouvrage (MIS) a été utilisée. Selon les personnes interrogées sur ce projet, deux grandes augmentations concernant le renchérissement ont eu lieu pendant la période de construction. Elles touchaient les salaires et les indemnités ainsi que l'acier. De plus, le renchérissement qui est inclus dans l'estimation des coûts finaux n'est pas isolable. Mais le CDF n'a pas reçu de documentation à ce sujet.