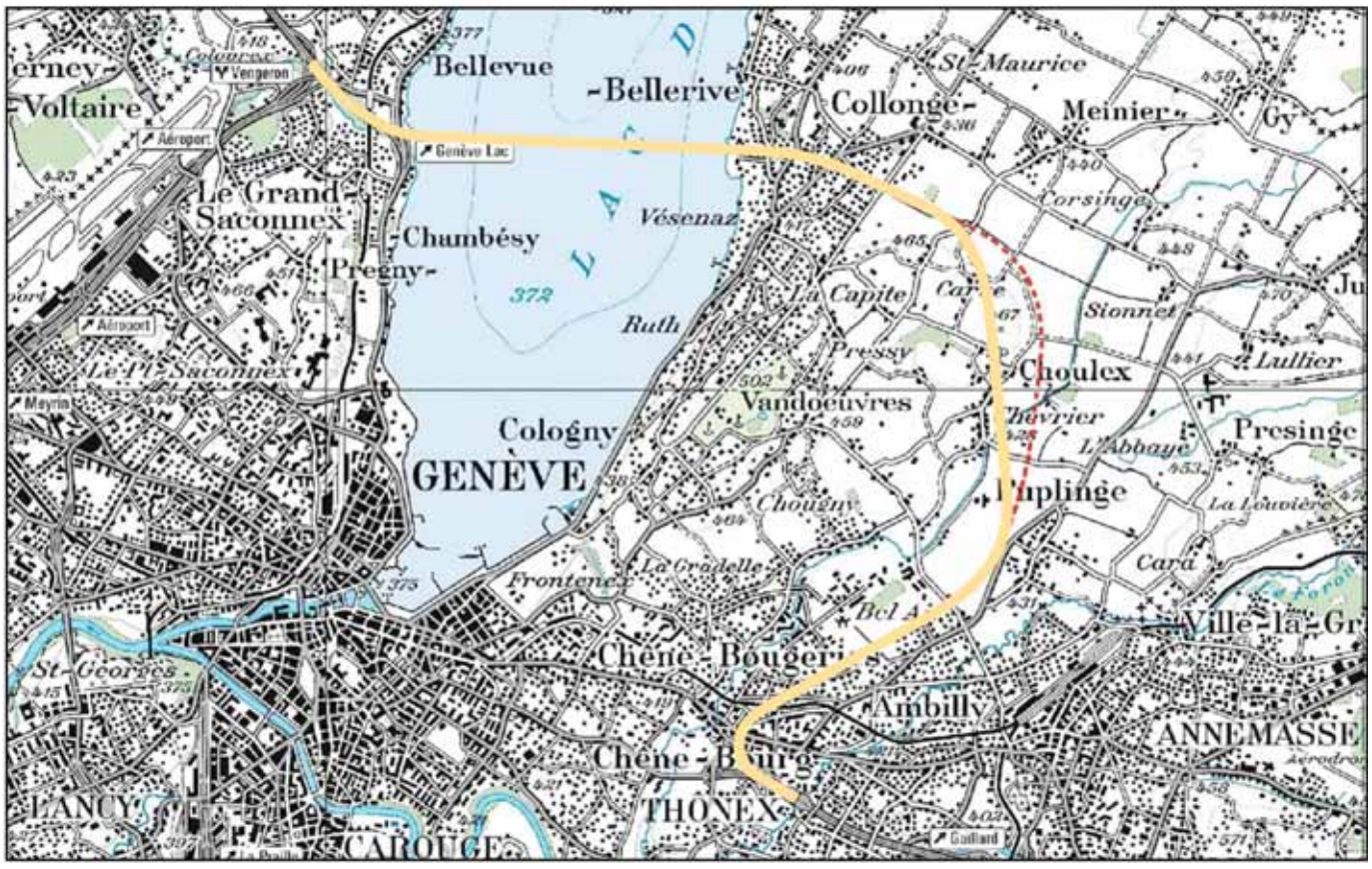
REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département des constructions et des technologies de l'information
Office du génie civil

TRAVERSEE DU LAC

CONTOURNEMENT EST DE GENEVE



RAPPORT DE SYNTHESE

DES ETUDES DE FAISABILILTE

Mars 2011

Version 22 28 mars 2011

DCTI
Office du génie-civil
Traversée du lac

Rue David-Dufour 5
Case postale 22
1211 Genève 8

Tél. 022.546.63.08
info.genie-civil@etat.ge.ch
www.ge.ch/dcti

Table des matières :

1. **PREAMBULE** 3
2. **DOCUMENTS ET ELEMENTS DE BASE DU PROJET** 4
3. **CONTRAINTES DU PROJET** 7
4. **ETUDES REALISEES** 8
5. **ETUDE PRELIMINAIRE DE CIRCULATION ET DE TRAFIC** 9
6. **ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA TRAVERSEE DU LAC ENTRE LE VENGERON ET LA POINTE-A-LA-BISE** 18
7. **ETUDE GENERALE POUR UN CHOIX PRELIMINAIRE DE TRACE** 28
8. **ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA RIVE GAUCHE DU LAC** 30
9. **ELEMENTS ET DIRECTIVES TECHNIQUES DU TRACÉ, PROFIL EN LONG, JONCTIONS ET COORDINATION DE L'ENSEMBLE** 37
10. **TUNNEL DE THÔNEX** 54
11. **TUNNEL DE CHOULEX** 69
12. **TRANCHÉE DE LA PLAINE DE LA SEYMAZ (VARIANTE DE TRACÉ)** 78
13. **TUNNEL DE COLLONGE** 86
14. **TRAVERSEE DU LAC - Variante PONT** 96
15. **TRAVERSEE DU LAC - Variante TUNNEL et TUNNEL DE COLLONGE** 110
16. **ACCROCHAGES DU TUNNEL OU DU PONT SUR LES RIVES DU LAC** 125
17. **ECHANGEUR ET JONCTION DU VENGERON** 129
18. **ETUDE URBANISME-MOBILITE-PAYSAGE** 135
19. **ETUDE DE MODELISATION DES DEPLACEMENTS** 150
20. **SENSIBILITE ENVIRONNEMENTALE** 163
21. **PROGRAMME GENERAL DE REALISATION** 177
22. **ESTIMATIF GENERAL DU COUT DE REALISATION** 178
23. **FINANCEMENT DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES; MODE TRADITIONNEL OU PAR PPP** 182
24. **REMARQUES ET CONCLUSIONS** 188
25. **ETUDE D'OPPORTUNITE ET DE VARIANTES MENEE PAR L'OFROU** 190
26. **PROGRAMME DES PROCEDURES CANTONALES ET FEDERALES POUR LES ROUTES NATIONALES** 194
27. **ANNEXE 1: LOI 10015** 195
28. **ANNEXE 2: ARRETE FEDERAL "GOULETS D'ETRANGLEMENT" SUR LES ROUTES NATIONALES** 197

Le présent rapport est la synthèse et la conclusion de l'étude d'avant-projet pour la construction d'une traversée lacustre à Genève, demandée par le Grand Conseil au Conseil d'Etat, qui ont mis à sa disposition un crédit d'étude de 3 500 000 F selon la loi 10015 du 25 janvier 2008.
Les parties techniques et les chapitres concernant les domaines spécifiques comme le trafic, la géotechnique, l'urbanisme, etc., sont également une synthèse des études réalisées par les mandataires spécialisés.

1. PREAMBULE

L'avant-projet est basé sur deux éléments qui ont fixé les obligations et les limites de l'étude, soit :

1.1. Loi 10015

La loi 10015 "Ouvrant un crédit d'étude de 3 500 000 F pour la réalisation d'une traversée lacustre de Genève" a été publiée le lundi 4 février 2008 dans la FAO.
Voir **"Annexe 1" Loi 10015**.

Elle précise dans son Art. 1 que "*le crédit de 3 500 000 F est ouvert au Conseil d'Etat en vue de financer l'étude d'un avant-projet pour la construction d'une traversée lacustre à Genève entre le Vengeron (rive droite) et les environs de la Belotte (rive gauche), avec raccordement direct au réseau routier et/ou autoroutier suisse et français*".

A son Art. 5, alinéa 2, il est précisé que " *Ce crédit doit être engagé dans un délai de trois ans afin de pouvoir disposer de tous les éléments techniques, administratifs et financiers pour finaliser le tracé, le mode de réalisation, le financement de l'ouvrage, et les mesures d'accompagnement".*

Selon son art. 6, la loi demande " *A l'entrée en vigueur de la présente loi, le Conseil d'Etat inscrit immédiatement la construction de cette traversée au catalogue des infrastructures routières qu'il soumet au Conseil Fédéral dans le cadre du projet d'agglomération, en vue d'obtenir un cofinancement de la Confédération dans le cadre de la première vague de contributions liées au fonds d'infrastructures fédéral pour le trafic d'agglomération, ou l'inscription au projet du réseau des routes nationales.*

1.2. Programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales

Le 1er janvier 2008, le Conseil Fédéral entérinait la loi sur le fonds d'infrastructure LFInfr. Cette loi régit l'allocation de 20,8 milliards de francs pendant 20 ans, à partir du Financement spécial de la circulation routière, pour faire face aux impératifs de mobilité d'une manière efficiente et compatible avec l'environnement.
Sur ce fonds, 5,5 milliards de francs sont réservés à l'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales, dont le programme devait être soumis à l'Assemblée Fédérale par le Conseil Fédéral, au plus tard le 31 décembre 2009.
En décembre 2008, le Conseil Fédéral a donc mis en consultation, le projet d'arrêté fédéral concernant ce programme d'élimination des goulets d'étranglement et l'allocation des moyens financiers nécessaires.
Ce projet d'arrêté a identifié un certain nombre de tronçons de routes nationales qui répondent aux conditions de suppression des goulets d'étranglement par l'élargissement des voies de circulation existantes de plus de 2km., mais fait également mention de projets de nouvelles liaisons, dans le cas où celles-ci seraient préférables à un élargissement de tronçon.
Ainsi, le projet de "Traversée du lac Léman" à Genève est inscrit dans les mesures qui traitent des nouveaux éléments de réseau.
Toutefois, la décision d'affecter ce projet au réseau des routes nationales est subordonnée aux résultats de l'étude cantonale définie par la loi 10015.
Le 11 novembre 2009, le Conseil Fédéral adressait un message aux Chambres fédérales, sous le numéro 09.084, relatif au programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et à l'allocation des moyens financiers nécessaires.
L'arrêté a été voté et accepté en juin 2010 par le Conseil des Etats et en septembre 2010 par le Conseil National.
Voir **"Annexe 2" Projet d'arrêté fédéral**.

2. DOCUMENTS ET ELEMENTS DE BASE DU PROJET

2.1. La loi 10015

2.1.1. Historique

La loi 10015 est le résultat et l'aboutissement d'un long processus de traitement de diverses pétitions et résolutions du Grand Conseil ainsi que du rapport du Conseil d'Etat du 22 juin 2007 sur celles-ci (P 1540-B, R 498-B, R 513-A et R 529-A).

Le dit rapport du Conseil d'Etat se basait sur une étude de la direction générale de la mobilité (DGM), de décembre 2006, ayant pour titre "Contournement est de Genève".

2.1.2. Documents

Pour mémoire, la liste des documents pris en compte et dont il est fait mention ci-dessus est la suivante :

- Rapports de la commission des travaux chargée d'étudier le PL 10015-A, présentés lors de la séance du Grand Conseil du 25 janvier 2008.
- Rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil, déposé le 22 juin 2007 en réponse à la :
  - Pétition P 1540-B pour une réalisation rapide de la traversée de la rade.
  - Résolution R 498-B pour la réalisation de la traversée sous la rade.
  - Résolution R 513-A pour une inscription rapide d'une traversée sous-lacustre au catalogue du premier programme de financement du Fonds d'infrastructure pour le trafic d'agglomération.
  - Résolution R 529-A pour l'inscription d'une traversée du lac dans le projet d'agglomération franco-valdo-genevois.

Ces documents peuvent être consultés à l'adresse internet suivante:
http://www.ge.ch/grandconseil/moteurPdf.asp?typeObj=PL&numObj=10015
ou sur le site du Grand Conseil:
http://www.ge.ch/grandconseil/index.asp
sous la rubrique de recherche "Projet de loi, numéro 10015".

2.2. Concordance avec le projet d'agglomération

La loi 10015, demande l'inscription du projet de la traversée du lac au catalogue des infrastructures routières soumises au Conseil Fédéral dans le cadre du projet d'agglomération.

Les aspects urbanisme, mobilité et paysage de l'étude de la traversée du lac et du contournement est de Genève, ont donc été réalisés en collaboration avec la direction générale de l'aménagement (DGAT) du DCTI, chargée d'élaborer le projet d'agglomération.

2.3. Arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement

2.3.1. Historique

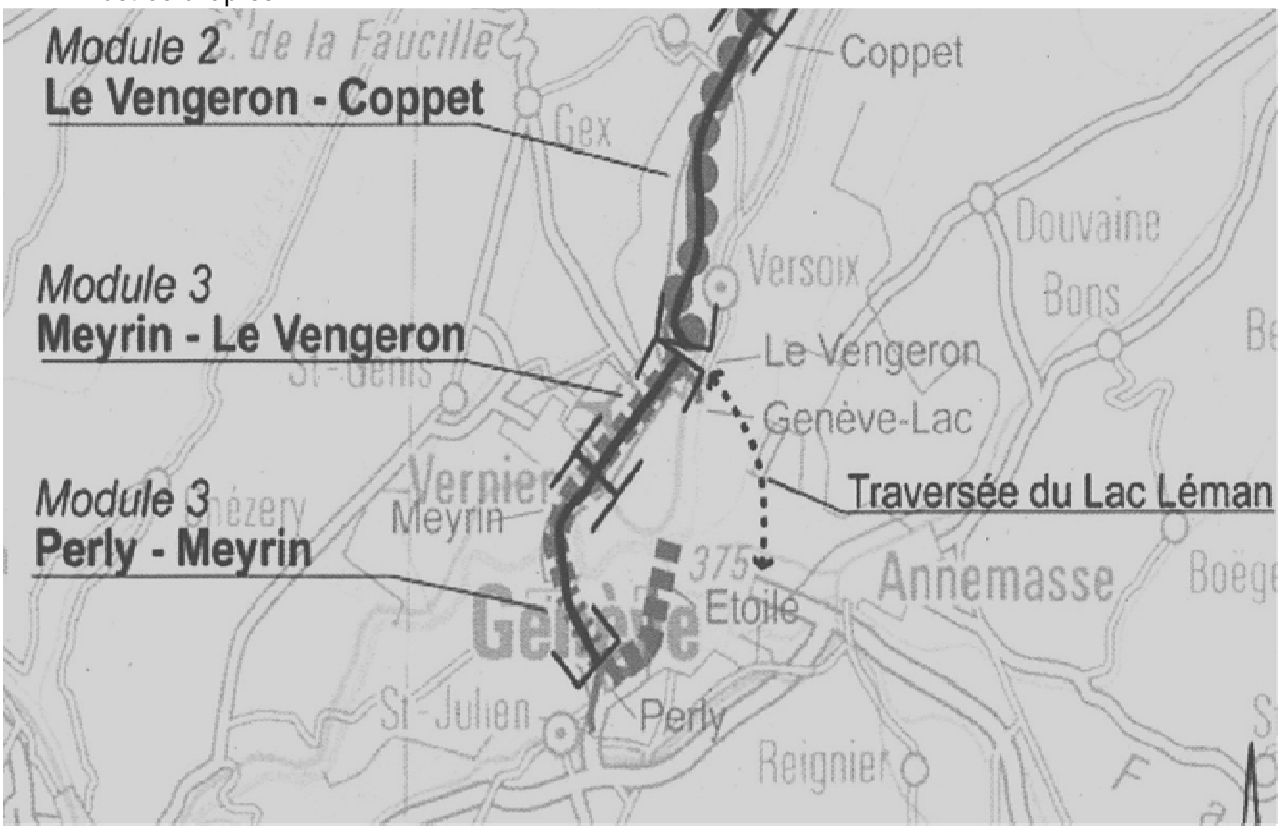
Le projet d'arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement a été mis en consultation le 19 décembre 2008, avec délai de réponse au 17 avril 2009.

Le Conseil d'Etat à répondu à la consultation, par courrier daté du 1er avril 2009.
L'arrêté a été voté et accepté en juin 2010 par le Conseil des Etats et en septembre 2010 par le Conseil National.

2.3.2. Eléments du projet d'arrêté fédéral sur le programme d'élimination des goulets d'étranglement

Le rapport destiné à la consultation qui accompagnait le projet d'arrêté peut être résumé succinctement comme suit:

- Un financement de 5.5 milliards de francs est prévu dans le fonds d'infrastructure (LFInfr), mais ce sont 15 milliards de francs qui seraient nécessaires pour l'ensemble des projets présentés. Cette situation impose l'élaboration d'une priorisation des projets selon leur efficacité et leur degré d'avancement.
- Les projets sont donc classés selon une procédure à plusieurs étapes et répartis en 4 modules:
  - Le module 1, comprend 4 projets urgents et bien avancés (1,58 milliards de francs) dont le goulet d'étranglement de Crissier.
  - Les modules 2 et 3 comprennent des projets jugés bons, qui devront être approfondis et soumis à nouvel examen d'ici le prochain message prévu dans 4 ans. En font partie en ce qui concerne Genève, le tronçon entre le Vengeron et Coppet (175 millions) dans le module 2 et dans le module 3, les tronçons Perly–Meyrin et Meyrin–Le Vengeron pour 1,16 milliards de francs.
    Les projets des modules 2 et 3 étant permutables dans le prochain programme qui sera établi dans 4 ans, selon leur degré d'urgence et d'avancement.
  - Les projets du module 4, dont le tronçon Etoile–Perly fait partie, sont définitivement écartés.
- En l'état actuel des connaissances des projets proposés, seuls les projets des modules 1 et 2 pourront être réalisés à l'aide des 5,5 milliards de francs.
- Toutefois, des compléments de réseau seront requis là où l'addition de voies supplémentaires ne permettrait pas d'atteindre les objectifs, mais ces compléments nécessiteront une adaptation de l'arrêté fédéral sur le réseau des routes nationales (RS 725.113.11) et un financement via le financement spécial sur la circulation routière (SFSV).
- L'art. 1 de l'arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement prévoit, en plus du financement des projets susceptibles d'être réalisés dans le cadre de la 1ère période du programme, la mise à disposition des moyens financiers nécessaires à la planification et à l'étude des projets des modules 2 et 3.
- La traversée du lac est mentionnée parmi les nouveaux éléments de réseau susceptibles d'éliminer le goulet d'étranglement que représente le contournement autoroutier de Genève, avec toutefois l'indication « Attendre le résultat de l'étude cantonale » pour pouvoir se prononcer définitivement sur sa nécessité ou son rejet.
  Ce document peut être consulté à l'adresse suivante: http://www.admin.ch/ch/f/ff/2009/7591.pdf
- Pour information, dans son Annexe 2 sous paragraphe A2-1, le rapport destiné à la consultation de l'arrêté fédéral propose des mesures par région, dont celles se rapportant à la région de Genève, illustrée ci-après.



Dans sa réponse à la consultation, par courrier daté du 1er avril 2009, le Conseil d'Etat a précisé les points suivants:

- Le Conseil d'Etat approuve les grandes lignes du projet, mais s'inquiète de l'absence de vue d'ensemble sur les améliorations prévues ou à prévoir aux jonctions autoroutières, pourtant essentielles au fonctionnement des axes routiers, ainsi que des conséquences sur le réseau routier local des élargissements des routes nationales.
- Le Conseil d'Etat considère que la création d'un contournement est de Genève traversant le lac Léman apparaît comme une solution plus appropriée que l'élargissement des tronçons Meyrin-Le Vengeron et Perly-Meyrin prévu dans le module 3, dont la faisabilité n'est à son avis pas garantie et l'opportunité pas démontrée.
- Le canton de Genève demande au Conseil fédéral d'intégrer d'ores et déjà, dans le présent arrêté, toutes les dispositions nécessaires pour garantir que le complément de réseau qu'est la traversée du lac Léman, dans la mesure où l'étude d'opportunité se révélerait concluante, sera proposé dans le prochain message relatif au programme d'élimination des goulets d'étranglement prévu dans 4 ans.

L'ensemble des éléments exposés ci-dessus impose donc, compte tenu de l'imbrication de cet arrêté et du projet genevois de traversée lacustre, de tenir compte du projet fédéral dans l'élaboration du projet cantonal.

3. CONTRAINTES DU PROJET

Les nombreuses contraintes imposées au projet ont guidé tout le processus d'élaboration du tracé choisi, des divers choix techniques pour la position des jonctions, des accrochages aux rives du lac, des techniques de construction, etc.

3.1. Contraintes légales et législatives

Ces contraintes, incontournables, sont les suivantes:

- Les termes et demandes de la loi 10015, de même que la position du Conseil d'Etat exposée dans le rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil du 22 juin 2007, ayant servi de base de discussion en vue du vote de la loi 10015.
- Les conditions fixées dans le projet d'arrêté fédéral pour l'élimination des goulets d'étranglement sur les routes nationales.
- L'impossibilité d'étudier une autoroute sur le territoire français, y compris la question de son financement, le réseau des routes nationales étant de stricte et unique compétence de l'OFROU et les contacts avec un état tiers étant de la seule compétence de la Confédération.
- La coordination du projet de la traversée du lac avec le projet d'agglomération.
- La demande à la Confédération pour l'inscription du projet au réseau des routes nationales.

3.2. Contraintes techniques

- Le projet de la traversée du lac et contournement est de Genève étant prévu de type autoroutier, il sera donc en définitive de la compétence de l'OFROU, ce qui impose d'appliquer les normes et directives fédérales en matière de conception autoroutière.
- Le projet "cantonal" sera donc versé au dossier de l'étude d'opportunité et de variantes de l'OFROU, en tant que variante à évaluer.
- Les exigences actuelles pour une infrastructure d'une telle importance conduisent à rechercher un tracé qui soit le plus rationnel, le plus discret et le plus respectueux de l'environnement.
- L'aspect financier n'a donc pas été prioritaire dans cette étude de faisabilité.

4. ETUDES REALISEES

L'élaboration d'un avant-projet, en vue d'une réalisation de la traversée du lac et d'un contournement est de Genève, a nécessité toute une série d'études dans divers domaines qui ont été exécutées dans un ordre logique du point de vue décisionnel.
Chaque étape, représentée par des études sectorielles, a permis d'avancer dans l'élaboration d'abord du concept, puis du projet lui-même.
Dans leur ordre chronologique, les études suivantes ont donc été réalisées:

1) Une étude préliminaire de circulation et de trafic dans le but de définir quel serait le meilleur tracé depuis Le Vengeron, pour rejoindre en rive gauche comme le demande la loi, le réseau routier ou/et autoroutier suisse et français et répondre le mieux possible à la problématique du goulet d'étranglement que représente le contournement ouest de Genève. Cette étude est basée sur un horizon de planification à 2030.
2) L'étude des conditions topographiques, géologiques et géotechniques, sur le tracé fixé pour la traversée du lac entre le Vengeron (rive droite) et les environs de la Belotte (rive gauche).
   Les études géologiques et géotechniques ont été réalisées sur la base de :
   - Recensement des données existantes (très peu nombreuses sur ce tracé)
   - Investigations par la méthode géophysique de réflexion sismique à haute résolution
   - Sondages carottés au fond du lac à partir d'un ponton
   - Essais en laboratoire
   - Analyse des résultats, élaboration d'un rapport.
3) Elaboration d'un premier tracé possible, qui réponde à toutes les contraintes fixées.
4) Réalisation, en fonction du tracé ci-dessus défini, d'une étude géotechnique sur la rive gauche du lac (entre lac et Arve), à partir de:
   - Recensement des données existantes
   - Sondages complémentaires au droit du tracé et aux profondeurs adaptées au projet
   - Analyse des résultats, élaboration d'un rapport.
5) Etudes techniques de faisabilité constructive, par tronçons et en fonction du type d'ouvrage à réaliser (jonctions, pont, tunnels, tranchées couvertes ou ouvertes, etc.) et de techniques de construction envisageables.
6) Première étude d'urbanisme pour évaluer et estimer les effets d'une traversée lacustre sur la rive gauche du lac.
7) Analyses et études des effets d'une traversée lacustre et d'un contournement est de Genève concernant les aspects environnementaux pour l'ensemble du tracé.
   Détermination des points sensibles et de leur degré de sensibilité et élaboration de propositions pour les études d'impacts.
8) Etude d'urbanisme-mobilité-paysage.
   Elaboration de scénarios de développement pour la rive gauche du lac tenant compte des structures paysagères, d'urbanisation et des réseaux de transport. Evaluation générale des effets du complément de ring autoroutier autour de Genève dans une perspective élargie des effets sur le développement de l'agglomération franco-valdo-genevoise à l'horizon 2030.
   L'étude de ce volet "urbanisme" a aussi été réalisée dans le but d'obtenir une vision cohérente du développement de l'agglomération en harmonie avec le projet d'agglomération 2 actuellement à l'étude. Elle doit aussi permettre de définir les mesures d'accompagnement liées au projet.
9) Parallèlement à cette étude d'urbanisme-mobilité-paysage et pour y incorporer les informations nécessaires, une étude de modélisation des déplacements à l'horizon 2030 a été réalisée avec la DGM et son outil de modélisation (modèle multimodal transfrontalier MMT).
10) Coordination générale des tracés en plan et profil en long, ainsi que pour les jonctions et les accrochages aux rives du lac.
11) Elaboration d'un estimatif général des coûts de réalisation sur la base d'un regroupement des coûts d'ouvrages partiels étudiés par les mandataires spécialisés.
12) Coordination et élaboration d'un programme général de construction basé sur les données des études partielles et par tronçons. Un programme a été établi pour chaque variante constructive.
13) Etude économique d'une solution de réalisation et financement par PPP (Partenariat Public-Privé).

5. ETUDE PRELIMINAIRE DE CIRCULATION ET DE TRAFIC

Cette étude a porté essentiellement sur l'évolution du trafic et l'apport d'une traversée du lac pour le réseau d'agglomération à l'horizon 2030.
Quatre variantes de tracés ont été étudiées et comparées entre elles ainsi qu'avec une situation sans traversée du lac, le résumé de l'étude étant donné ci-après:

5.1. Variantes étudiées

En plus d'une variante sans traversée du lac (autoroute de contournement élargie à 2x3 voies), quatre variantes et trois sous-variantes de tracés ont été examinées dans le cadre de cette étude.

La **variante 0** est donc la référence de base pour l'étude, soit sans élargissement, soit avec 2x3 voies.

La **variante 1** boucle le contournement autoroutier de Genève par le nord et l'est entre l'échangeur du Vengeron et la douane de Thônex-Vallard.

La **variante 2** relie de manière plus directe la vallée de l'Arve et l'agglomération annemassienne à la rive droite et à l'Aéroport.

Les **variantes 3, 3a, 3b et 3c** offrent un tracé direct entre le Vengeron et Thônex-Vallard, avec pour la variante 3a un seul échangeur au bord du lac à Bellefontaine, pour la variante 3b, un seul échangeur à Frontenex et pour la variante 3c les deux échangeurs.

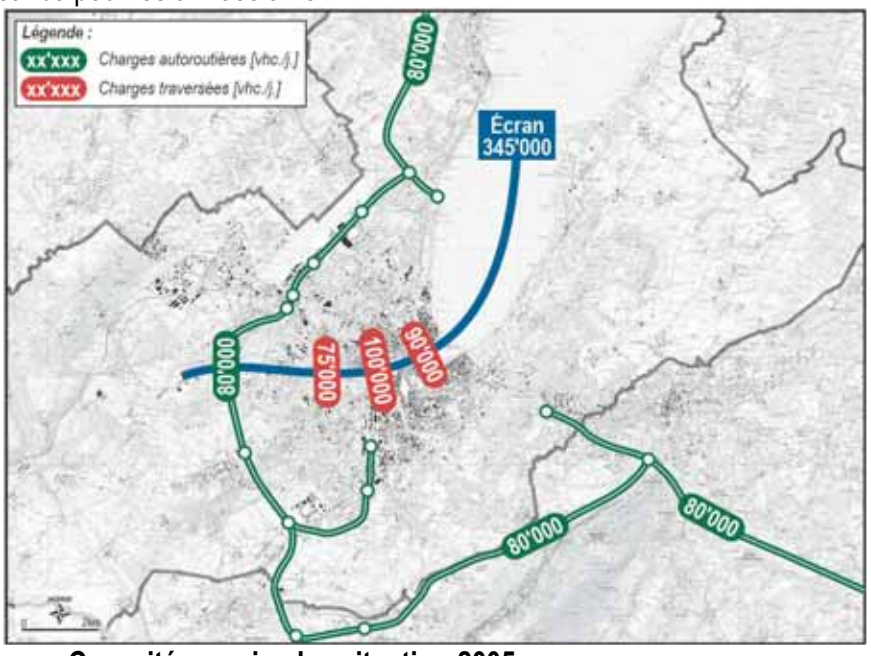
La **variante 4** est orientée en direction du Chablais. La traversée du lac est située légèrement plus au sud, avec un accrochage sur les quais au bas de la rampe de Vésenaz.

5.2. Premières analyses

Sur la base des matrices des déplacements individuels du projet d'agglomération, une évaluation des potentiels de chaque variante et sous-variante a permis de réaliser une première sélection des variantes les plus pertinentes, en fonction des critères suivants :

1. Charges de trafic à l'horizon 2030
2. Report de trafic des ponts centraux
3. Complémentarité avec l'autoroute de contournement

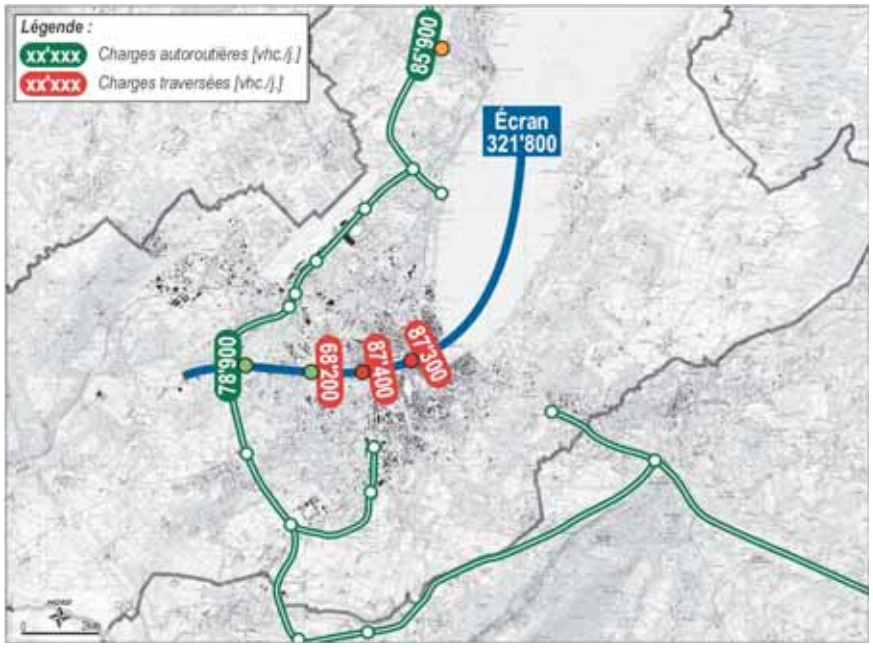
Tout d'abord, les capacités théoriques maximales des ponts du Rhône ont été calculées afin d'estimer les réserves de croissance pour les années à venir.



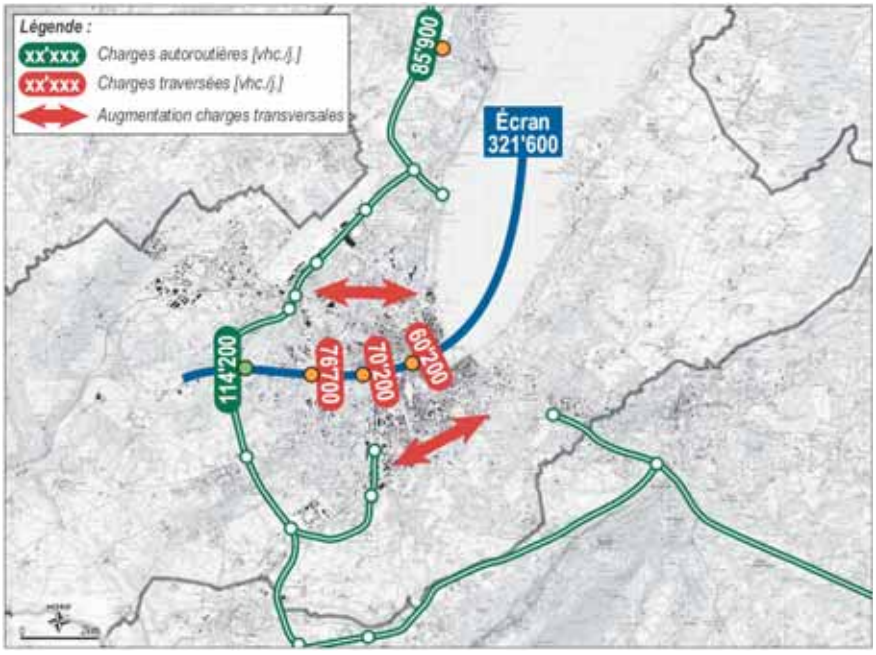
Capacités maximales situation 2005

Il a ainsi été estimé que, dans des conditions normales de mobilité, environ 345'000 véhicules peuvent passer chaque jour d'une rive à l'autre en empruntant les ponts du Rhône situés entre le lac et l'autoroute de contournement.
Une première simulation de trafic à l'horizon 2030, limitant à seulement +10% la croissance des déplacements individuels d'une rive à l'autre entre 2005 et 2030, a identifié les principaux problèmes à venir, notamment sur les ponts du Mont-Blanc, de l'île et de la Coulouvrenière dont les capacités seront nécessairement réduites par le développement du réseau de transports collectifs et de la mobilité douce.
Sur les ponts extérieurs, les charges de trafic en 2030 atteindront également les limites de capacités des ouvrages, ne laissant aucune réserve pour soulager les ponts centraux.

Un élargissement à 2 x 3 voies de l'autoroute de contournement a ensuite été testé pour estimer son potentiel de report de trafic à partir des ponts aval. Cette solution a été jugée peu réaliste au regard des surcharges de trafic qu'elle engendrerait sur les voiries annexes dont les gabarits seraient totalement insuffisants et amèneraient à une congestion globale.



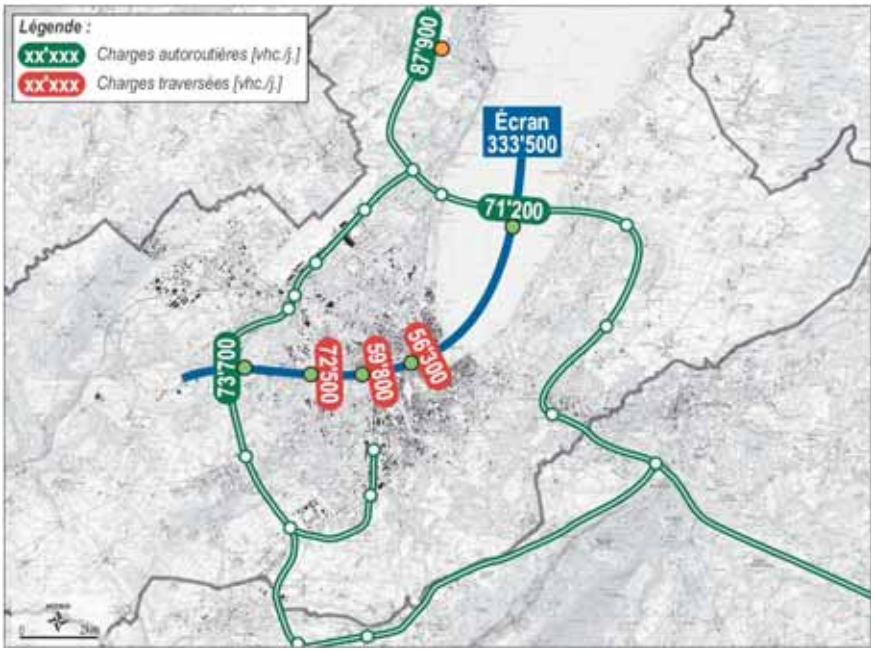
Charges 2030 et problèmes de capacité



Autoroute A1 élargie

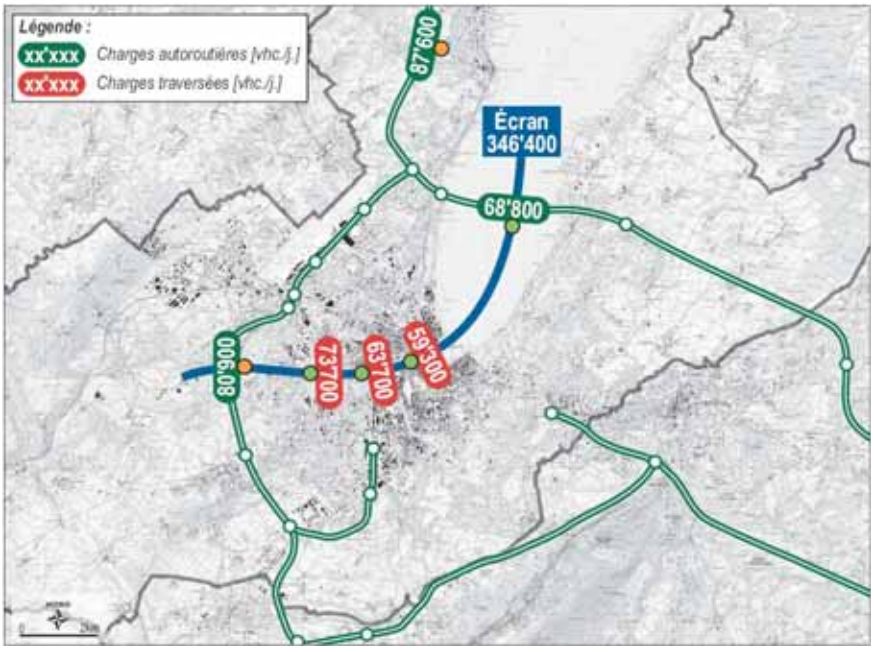
Dès lors, les quatre variantes de tracés ont été évaluées par rapport à leur potentiel de soulagement des problèmes de capacité des ponts centraux (et de leurs accès).

La variante 1 offrant d'emblée les meilleures possibilités d'équilibrage des charges de trafic et de report de circulation du centre vers l'extérieur de l'agglomération, elle a été retenue pour la suite de l'étude.



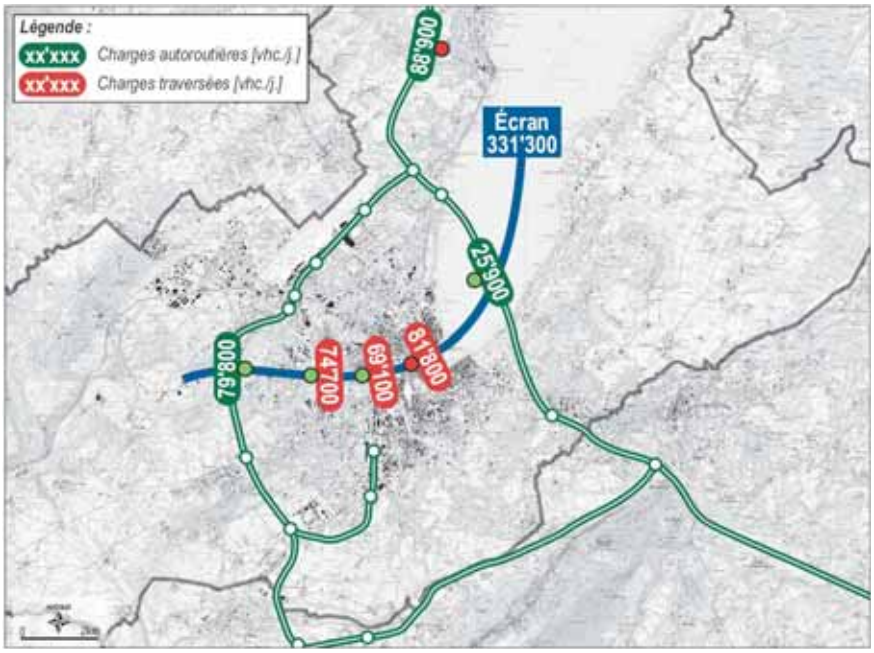
Variante 1 : Vengeron – Pallanterie – Thônex

La variante 2 offre également de bons potentiels de report, mais présente l'inconvénient majeur de favoriser les doubles traversées entre la rive gauche du lac (de Vésenaz à Thonon) et les zones industrielles de la Praille et de Plan-les-Ouates, ceci en saturant le secteur de l'Aéroport et l'autoroute en service. Partant de cette constatation, cette variante a été écartée.



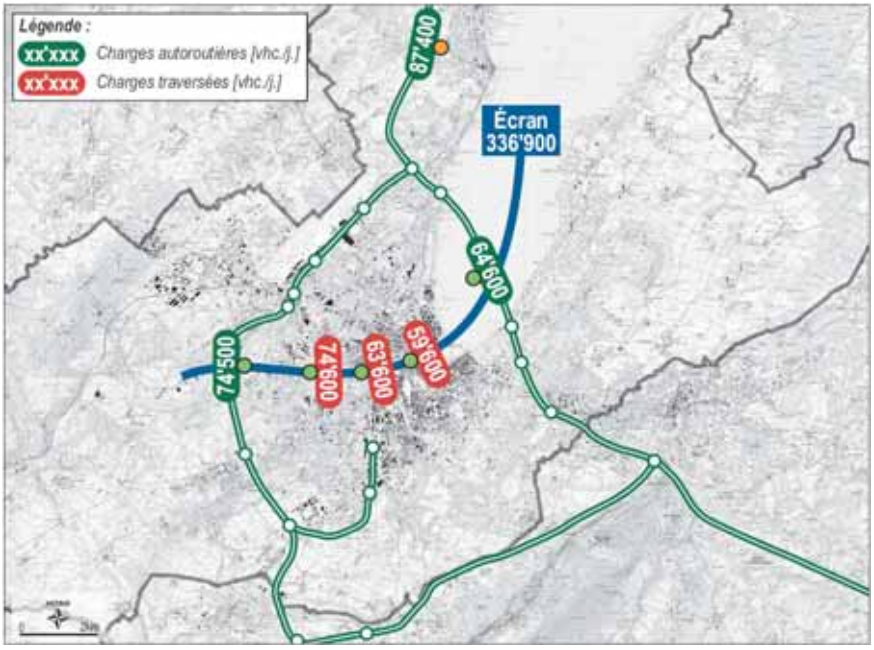
Variante 2 : Vengeron – Pallanterie – Annemasse

La variante 3 sans aucune jonction entre le Vengeron et l'autoroute Blanche, ne présente aucun intérêt et a été immédiatement écartée, tout comme sa sous-variante 3b avec un seul échangeur à Frontenex.



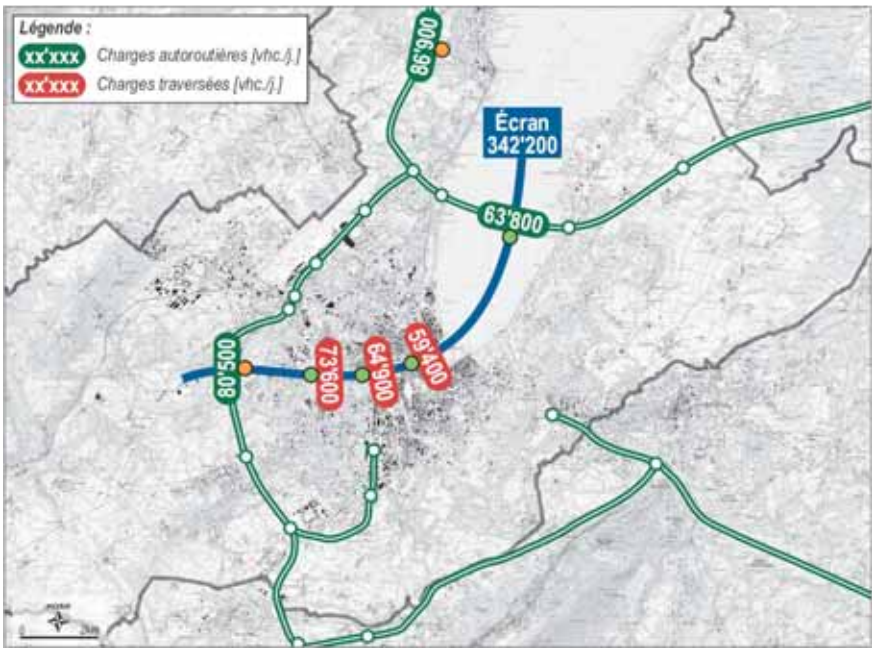
Variante 3 : Vengeron – Thônex

Par contre, les sous-variantes 3a et 3c avec respectivement un échangeur au bord du lac ou les deux échangeurs (lac et plateau de Frontenex), sont proches de la variante 1 en termes de trafic et de potentiel de report des autres ponts. Ces deux sous-variantes ont été retenues pour la suite de l'étude de trafic.



Variante 3c : Vengeron – Bellefontaine – Frontenex – Thônex

Finalement, la variante 4 a été écartée pour les mêmes motifs que ceux relatifs à la variante 2, à savoir sa trop forte attractivité pour les doubles traversées générant des problèmes de capacité sur le secteur de l'Aéroport et l'autoroute de contournement.



Variante 4 : Vengeron – Belotte - Veigy

La conclusion de ces premières analyses est la suivante :

En reprenant les hypothèses d'évolution de la mobilité utilisés dans le cadre du projet d'agglomération, les affectations des déplacements en automobile ont permis de :

- Identifier les problèmes de saturation des réseaux routiers et autoroutiers des scénarios cités dans le projet d'agglomération
- Mettre en évidence la saturation de l'autoroute A1 dans le secteur Coppet-Vengeron, quel que soit le scénario envisagé
- Montrer le manque de potentiel de délestage des ponts centraux dans l'éventualité d'un élargissement de l'autoroute A1 entre Meyrin et Perly
- Démontrer l'utilité d'une traversée, quel que soit le scénario envisagé
- Écarter dans un premier temps les variantes 3 et 3b
- Écarter dans un second temps les variantes 2 et 4
- Retenir les variantes 1, 3a et 3c en raison de leur potentiel

5.3. Analyses par type de trafic

Afin d'analyser plus finement la répartition des trafics futurs sur l'autoroute de contournement et sur les trois variantes de tracés retenues, ainsi que leur effet réseau, les flux ont été divisés en trois catégories :

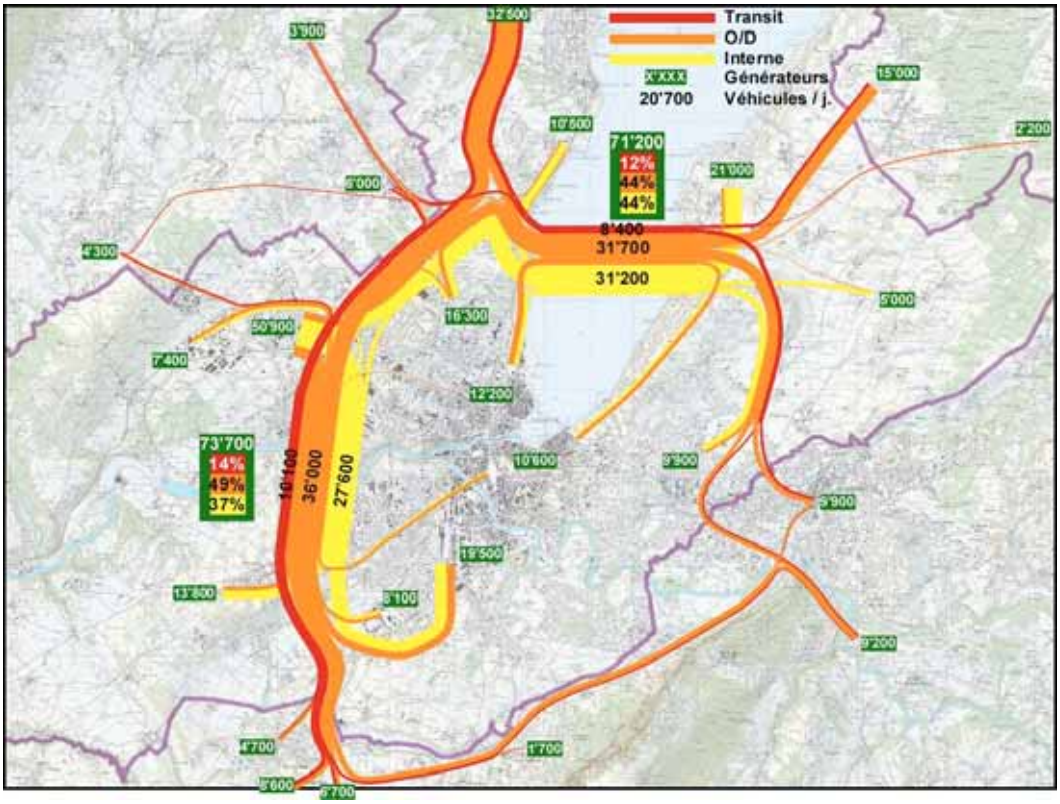
1. Le **trafic interne,** qui concerne tous les déplacements internes au canton de Genève.
2. Le **trafic O/D** qui englobe tous les déplacements à l'origine ou à destination du canton.
3. Le **trafic de transit**, qui concerne tous les déplacements traversant le canton.

Une première affectation de ces flux a été faite sur l'autoroute de contournement dans la situation 2005, soit:

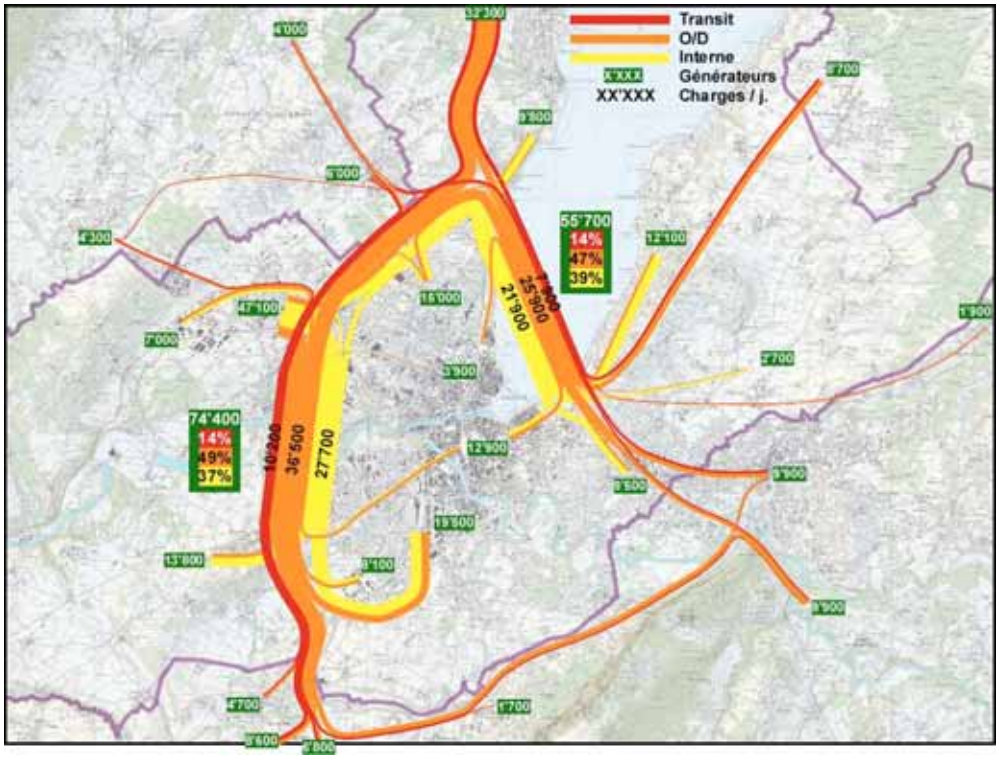
Trafic interne	**20'700 vhc / jour**	**32 %**
Trafic O/D	**33'800 vhc / jour**	**52 %**
Trafic de transit	**10'900 vhc / jour**	**17 %**

Ainsi, plus de la moitié du trafic actuel de l'autoroute de contournement concerne des déplacements ayant pour origine ou destination l'extérieur du canton. Cette part passe à plus de deux-tiers lorsqu'on y ajoute le trafic de transit.

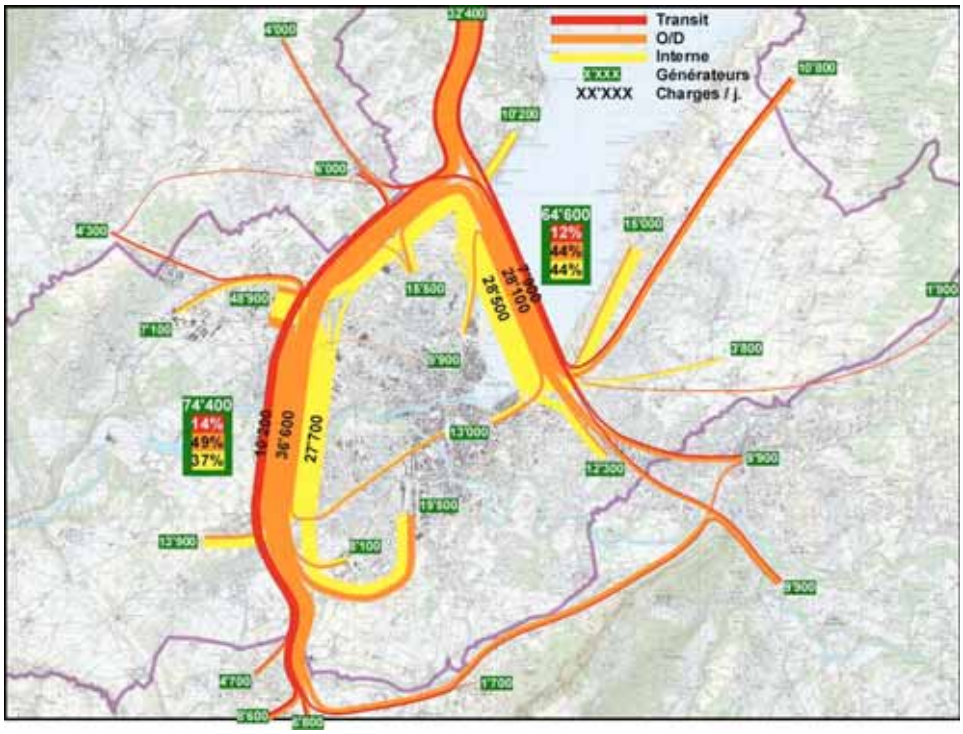
La variante 1 permet d'équilibrer les flux entre les deux branches autoroutières, qui restent tournées vers l'extérieur du canton, tout en assurant leur fonction de délestage du trafic du centre-ville. En cas de perturbation sur l'un ou l'autre des axes autoroutiers, le trafic de transit peut se reporter sur l'autre, tandis que le trafic interne va se reporter sur d'autres modes ou sur d'autres itinéraires.



La variante 3a est moins attractive que la variante 1 et davantage orientée vers l'extérieur du canton, mais ne permet pas d'atteindre les objectifs de report des ponts centraux. Le fonctionnement en cas de perturbations est similaire à celui de la variante 1.



La variante 3c est plus attractive grâce à sa jonction supplémentaire et se rapproche de la variante 1 en termes de structure de trafic. Elle réagit de manière similaire aux perturbations du réseau.



Cette deuxième série d'analyses a permis de mettre en avant les points suivants :

- **Globalement, la future traversée du lac assure les mêmes fonctions que l'autoroute de contournement actuelle.**
- Le trafic interne au canton représente moins de la moitié du trafic total sur les deux axes autoroutiers, dans toutes les variantes.
- Le trafic O/D, c'est-à-dire les déplacements ayant pour origine ou destination l'extérieur du canton, est partout dominant.
- Le trafic de transit à travers le canton représente entre 12% et 14% du total.
- **La présence de deux tronçons autoroutiers permet une souplesse d'utilisation bien supérieure à un simple élargissement de l'autoroute actuelle.**
- **La nouvelle traversée offre un « itinéraire bis » judicieux à l'A1 en cas d'événements extraordinaires ou de travaux de gros entretien, et inversement.**
- Le système autoroutier réagit bien à la fermeture d'un des deux axes autoroutiers, quelle que soit la variante.
- Les charges futures au droit de l'Aéroport ne sont pas éloignées des capacités actuelles de l'A1 et de ses contre routes.

Ces résultats sont globalement positifs et montrent, si besoin était, le caractère essentiellement transfrontalier du bassin franco-valdo-genevois.

6. ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA TRAVERSEE DU LAC ENTRE LE VENGERON ET LA POINTE-A-LA-BISE

L'axe approximatif du tronçon "traversée du lac" étant fixé dans la loi 10015, des investigations nécessaires à une connaissance des terrains sous-lacustres à cet emplacement ont été réalisées.

Un mandat a été attribué pour l'établissement d'un rapport complet et détaillé ainsi que d'un profil en long relatif aux conditions géologiques et géotechniques de cette zone.

A cet effet, il a été nécessaire d'effectuer des acquisitions de données sismiques, des forages dans le fond du lac et des analyses en laboratoire des terrains rencontrés. Tous ces travaux sont résumés ci-après.

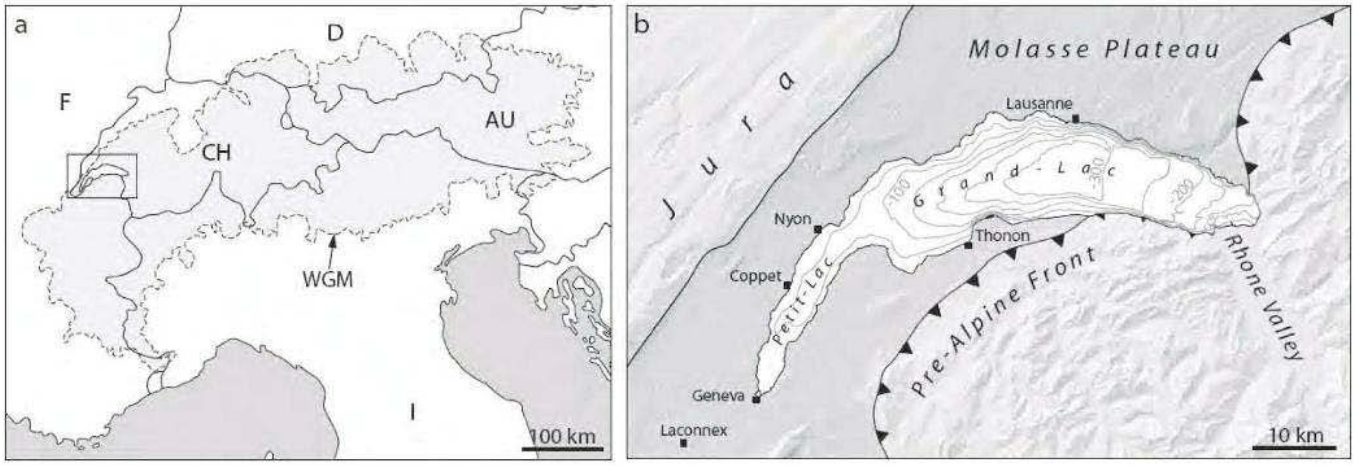
6.1. Démarche

L'axe de la traversée du lac tel qu'imposé par la loi 10015 et repris dans la variante 1 de l'étude de trafic est implanté dans un secteur du Petit lac situé entre le Vengeron et la Pointe-à-la-Bise, dans une zone peu ou pas investiguée d'un point de vue géotechnique, géologique et hydrogéologique.
Tenant compte de ce contexte, les études de reconnaissances ont été menées au stade de la faisabilité, par un bureau spécialisé en géotechnique et par l'Institut F.-A. Forel de l'Université de Genève afin de :

- Réaliser la synthèse des informations et études disponibles dans la zone.
- Effectuer une campagne d'acquisition de données par sismique réflexion haute-résolution calée sur les sondages carottés.
- Exécuter des sondages carottés, ainsi que des essais in situ et en laboratoire pour obtenir une première appréciation des paramètres spécifiques du site.
- Etablir un modèle géotechnique général dans la zone de la traversée du lac applicable au développement de variantes en pont ou en tunnel.

6.2. Contexte géomorphologique général

Le lac Léman est situé à l'ouest du Plateau suisse dans le bassin molassique, entre les chaînes montagneuses des Préalpes et du Jura. Le « Petit-Lac » qui forme la partie occidentale du Léman est long de 23 km et marque une profondeur maximale de 76 m, à la hauteur approximativement de Nyon, contre 45 m environ au droit du futur projet. Ce bassin est un lac de type « fjord » allongé et profond qui résulte de l'action combinée de la glace et de l'eau dans une vallée glaciaire.
Durant la dernière glaciation, le glacier du Rhône remplissait entièrement la vallée du Rhône en amont du Léman et couvrait la région de Genève avec plus de 800 m d'épaisseur de glace. Durant les périodes d'avancées glaciaires, la vallée formée dans la roche encaissante servait de réseau sous-glaciaire pour l'évacuation d'eau de fonte. Lors du retrait glaciaire, lorsque le glacier du Rhône était plus mince, la glace empruntait principalement cette vallée dans des conditions similaires à celles que l'on peut observer actuellement dans les environnements de fjords. Aujourd'hui, la vallée du Petit-Lac est remplie d'une épaisse séquence de sédiments glaciaires, glacio-lacustres et lacustres, principalement déposés lors du dernier cycle glaciaire, car les dépôts plus anciens ont été presque entièrement érodés.

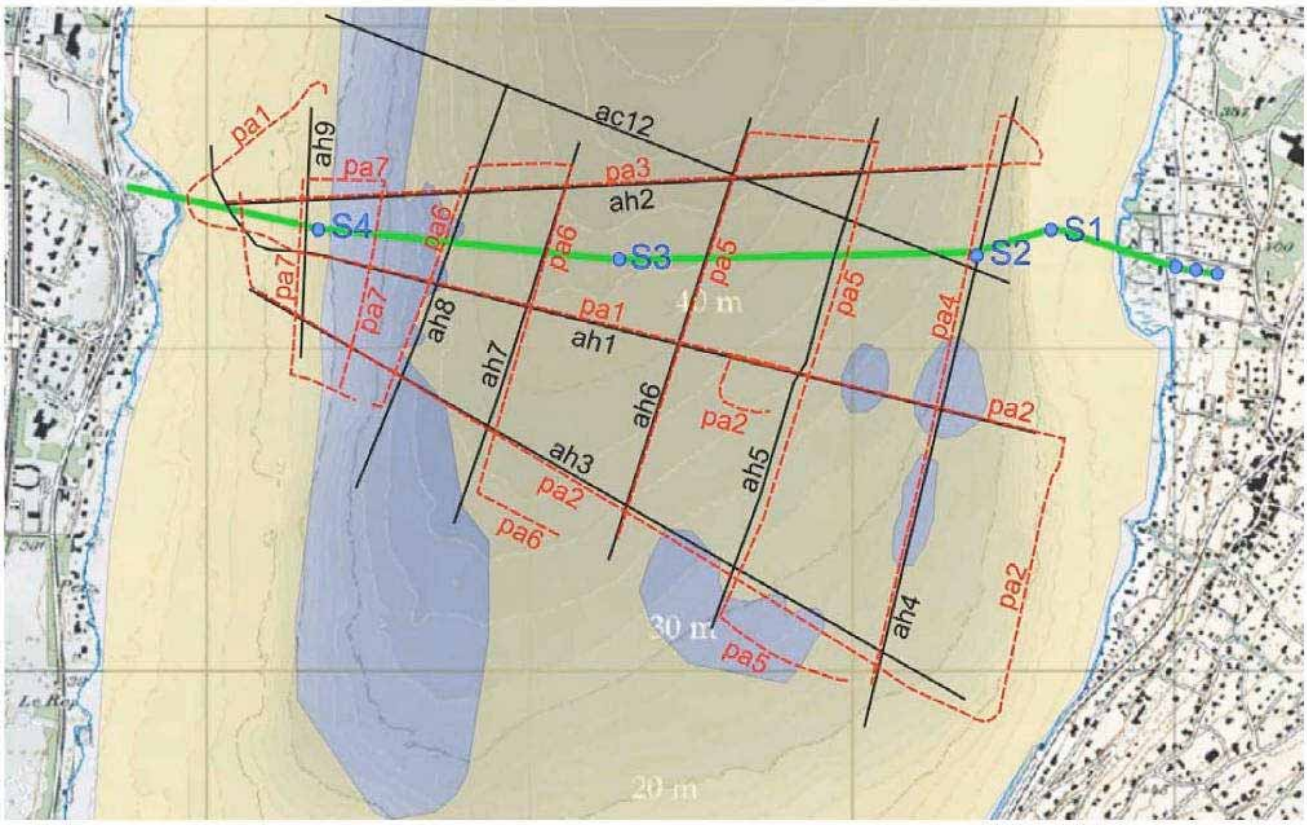


Extension glaciaire maximale et situation géologique du Léman

6.3. Investigations

Les investigations effectuées en 2009 dans le cadre des études préliminaires de la traversée du lac ont consisté à :

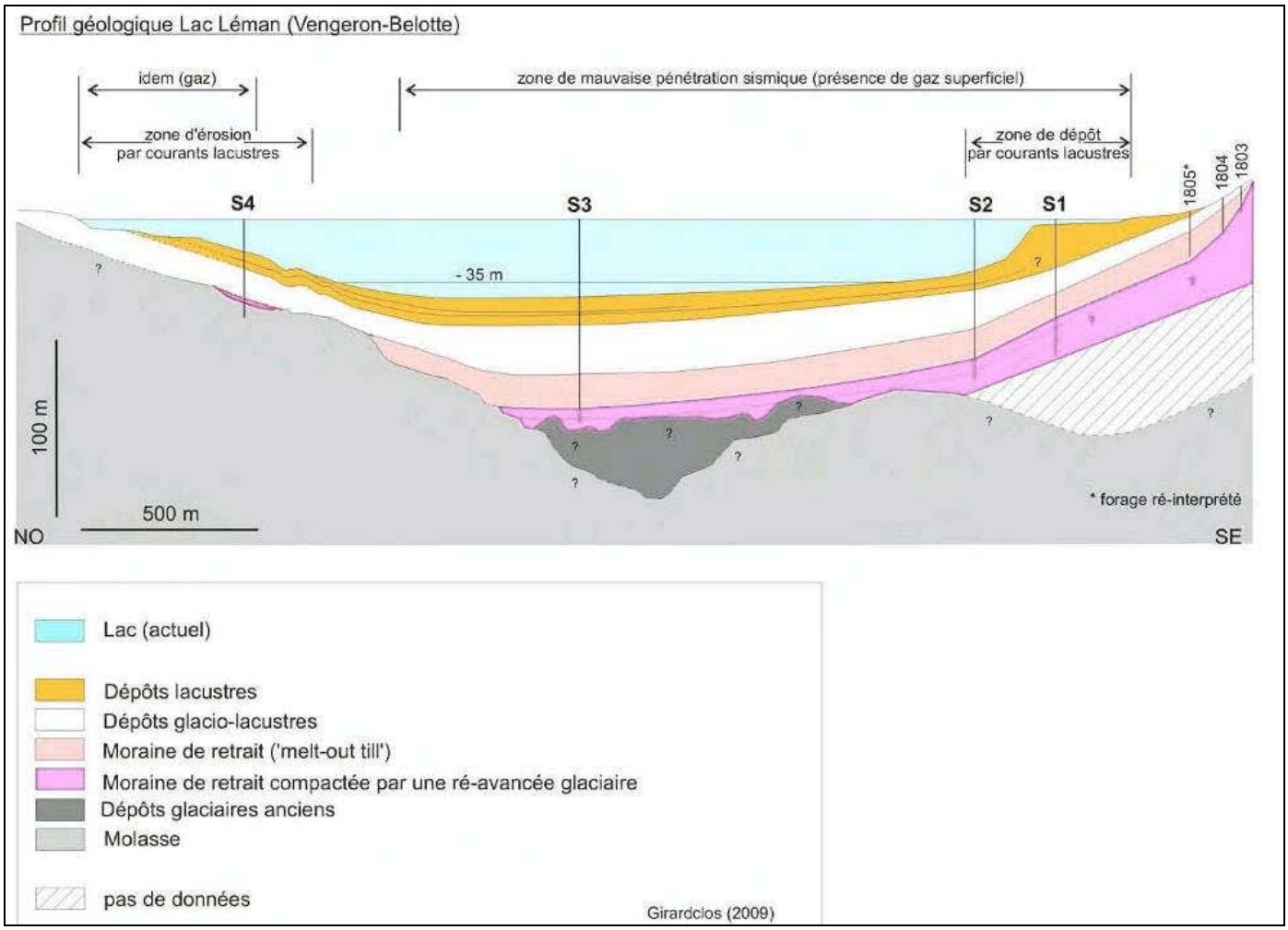
- Pointer les conditions géologiques: exécution de 4 sondages carottés (S1 à S4), d'une longueur de 53 à 114 m sous le niveau du lac, destinés à effectuer des essais en cours de perforation, à prélever des échantillons pour effectuer des essais en laboratoire et à effectuer un levé géologique du site. La position des sondages est donnée sur la figure ci-dessous.
- Généraliser les conditions à la zone concernée par le projet : exécution de 36.7 km de ligne d'acquisition sismique selon une grille d'éventail calée autour des sondages carottés, afin de préciser le modèle géomorphologique général.



Localisation des investigations géologiques et géotechniques

6.4. Profil géomorphologique au droit de la traversée du lac

Sur la base des résultats des études menées, il a été possible de dessiner la structure sismo-stratigraphique et géologique du Petit-Lac et le profil transversal Vengeron–Belotte. Le profil géomorphologique est donné dans la figure ci-après.

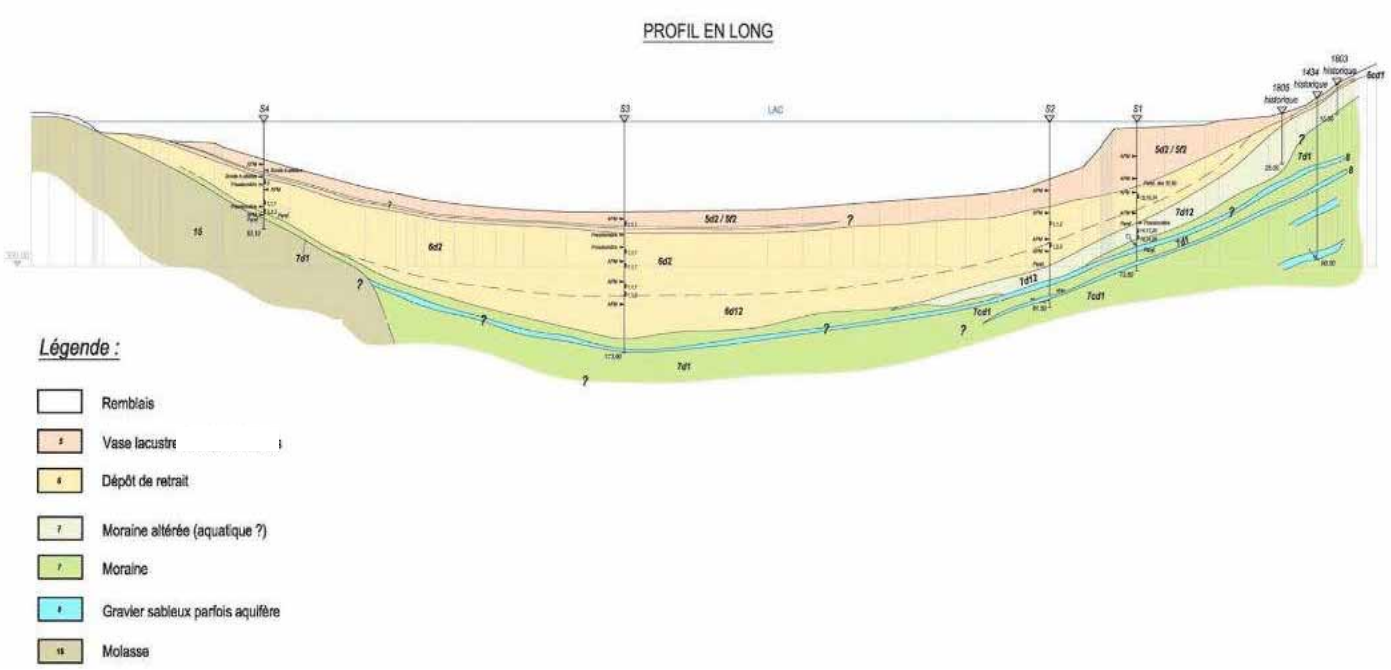


Profil géomorphologique général

Ce profil indique une asymétrie géologique entre la partie nord-ouest et sud-est du bassin lacustre. En effet, la limite nord-ouest actuelle du bassin correspond, par la remontée de la molasse, à une ancienne bordure du bassin glaciaire alors que la partie sud-est, de la Côte, est située au-dessus du sillon glaciaire principal. Cette géométrie a pour conséquence un remplissage glaciaire épais au centre du lac et dans la zone de la Pointe-à-la-Bise et de la Belotte, alors que son remplissage est faible dans la zone du Vengeron.
La topographie et l'épaisseur de la moraine de retrait compactée indiquent que le glacier du Rhône a ré-avancé, reposant directement sur la molasse, du côté ouest, en érodant une partie des formations en place dans la partie profonde du bassin glaciaire.
La dissymétrie d'épaisseur de la moraine de retrait, peu compactée, montre que le glacier a également fondu de façon dissymétrique sur l'axe est–ouest. Il a d'abord fondu à sa base, dans la partie centrale et est du bassin, alors qu'il était encore présent au contact de la molasse à l'ouest. Par la suite, le glacier a définitivement quitté le Vengeron en laissant devant son front un lac pro-glaciaire (dépôts glacio-lacustres).
Dans la dernière partie du remplissage sédimentaire (dépôts lacustres), on observe une nouvelle dissymétrie : dans la partie nord-ouest du bassin, cette formation est mince, localement absente, indiquant une érosion ou non-déposition, alors que dans la partie nord-est, à proximité de la Pointe-à-la-Bise, elle s'épaissit jusqu'à former une séquence plus épaisse qu'au centre du bassin lacustre. Cette géométrie est expliquée par l'action de courants sous-lacustres qui érodent la rive ouest et déposent des sédiments vers la rive est jusqu'à au moins 35 m de profondeur.

6.5. Schématisation géotechnique

Un profil en long tenant compte des investigations géotechniques au moyen de sondages carottés, essais in situ et en laboratoire a été établi afin de permettre la prise en compte des contraintes géomécaniques (paramètres) dans le cadre du développement de variantes de projet.



Dans le détail, la schématisation peut être décrite comme suit, de la surface vers la profondeur :

- **Vases lacustres**: Présentes dans tous les sondages, ces vases contiennent de la matière organique ainsi que de la craie et sont de consistance très molle voire inconsistantes. Issues d'un réchauffement climatique global, elles sont influencées par les variations du niveau du lac et les courants lacustres. Il s'agit de limons ou argile maigre à l'état liquide en place, avec des teneurs en eau très élevées jusque vers 10 à 20 m de profondeur depuis le fond du lac. Leur épaisseur est d'environ 10 m dans tous les sondages sauf au droit du S1, qui présente une épaisseur de près de 30 m! Ces vases ne sauraient constituer un sol d'appui convenable étant localement inconsistantes et présentent donc des propriétés qui sortent des limites d'application usuelles des méthodes géomécaniques et/ou des lois de mécanique des sols. Ces formations devront donc impérativement être traitées, traversées ou évacuées dans le cadre de la mise en œuvre d'un ouvrage de génie civil, qu'il s'agisse d'un enjambement de la traversée du lac ou d'une traversée sous-lacustre.
- **Dépôts de retrait morainique**: présents dans tous les sondages. Ces dépôts auraient été formés juste après le retrait définitif du glacier, lorsque celui-ci était encore géographiquement proche. Les dépôts inférieurs sont de consistance moyennement ferme. Au-dessus, ces dépôts sont de consistance molle. Sur terre, ces formations de retraits sont généralement fermes. Il s'agit généralement d'argile maigre ou de limon argileux, localement avec quelques graviers ou intercalations de varves de sables fins, de consistance progressivement très molle à molle, moyenne puis ferme. Leur épaisseur varie d'environ 16 m en périphérie du lac à 55 m au centre.
- **Moraine altérée** : Ces matériaux ont été altérés par des circulations d'eau et/ou une décompaction du sédiment après le retrait du glacier par exemple. Il s'agit de limon argileux, sableux avec des graviers, généralement moyennement ferme.
- **Moraine** : Encore plus en profondeur, les sols deviennent plus sableux et l'on retrouve des sables limono-argileux avec des graviers de consistance très ferme à ferme, voire durs.
- **Molasse** : Cette formation a été interceptée uniquement au droit du sondage S4. Il s'agit d'une alternance de grès, grès marneux et marno-grès, en moyenne assez dur à dur, très peu fracturé. La roche n'a été interceptée qu'au droit du sondage S4, vers 30 m de profondeur sous le fond du lac.

6.6. Hydrogéologie

Dans les sols sous le fond du lac, de l'eau souterraine a été rencontrée dans un horizon de dépôts très graveleux et caillouteux (dépôt d'Esker) à 58.45 m de profondeur au droit du sondage S1. Cette eau est en charge, son niveau dépassant le niveau du lac d'environ 1 m selon les observations faites lors du forage. Il est vraisemblable que les niveaux de sédiments grossiers contiennent de l'eau qui peut également être en charge et peuvent être fortement minéralisées.
En rive gauche, des eaux souterraines avec plus de 7.0 m de charge ont été rencontrées dans des veines sableuses contenues dans la moraine vers 414.00 msm sur le versant ouest de la colline de Cologny. De même, selon les informations du guichet cartographique du canton de Genève, on note la présence, sur les rives du côté de Collonge-Bellerive, d'une nappe superficielle logée dans les terrains situés en bordure du lac. Cette nappe est vraisemblablement constituée par des niveaux sableux et graveleux intercalés dans les sédiments lacustres.
En rive droite par contre, les conditions semblent moins perturbées avec la présence de sols meubles saturés par le lac, recouvrant la molasse au sein de laquelle les pressions interstitielles peuvent varier fortement en fonction de la nature de la matrice rocheuse et de la fracturation.
Ainsi, il apparaît que les conditions hydrogéologiques le long du tracé sont susceptibles d'être extrêmement variables puisqu'on note des pressions quasiment nulles localement (dans les argiles limoneuses de la moraine par exemple ou de la molasse) ou supérieures au niveau du lac dans les dépôts graveleux à proximité de La Pointe-à-la-Bise.

6.7. Observations

Il a également été relevé lors des investigations, la présence de déchets noyés (munitions), de tubes de services publics noyés (fibres optiques par exemple), de crépines de pompages, etc. qu'il conviendra d'intégrer dans le développement du projet.

6.8. Recommandations

6.8.1. Franchissement sous-lacustre

Les investigations ont mis en évidence un contexte géotechnique médiocre sur une grande épaisseur, de même que des conditions hydrogéologiques extrêmement variables entre la rive gauche (présence d'horizons aquifères en charge, prisonniers de la moraine en profondeur) et la rive droite (présence de la molasse à relativement faible profondeur).

En relation avec ce contexte, pour des variantes de franchissement en tunnel, il convient, en fonction de la profondeur, de tenir compte des indications suivantes :

6.8.1.1. Tunnel en molasse

Il est reconnu, dans les milieux spécialisés que la roche molassique offre des conditions relativement optimales pour l'exécution de travaux souterrains, du fait qu'elle offre généralement une résistance mécanique suffisante pour assurer de bonnes conditions de stabilité, mais pas excessive du point de vue de la dureté d'excavation. Ce substratum rocheux n'a toutefois été intercepté qu'en rive droite, à proximité du Vengeron, dans une zone où sa présence à relativement faible profondeur est quasi assurée. Ailleurs, les investigations géophysiques et analyses effectuées par l'Institut F.-A. Forel ont permis d'établir la position du toit de la molasse sur l'ensemble du tracé. Un profil géomorphologique probable est du reste donné à la page 20.
Cette interprétation semble indiquer que le toit de la molasse se situe au plus profond à 150 m sous le niveau du lac, au centre du lac. Cette indication est toutefois interprétative et ne saurait suffire au développement de variantes, la position du toit de la molasse étant beaucoup trop incertaine. Par ailleurs, en rive gauche aucune remontée de toit molassique n'est mise en évidence au droit des zones d'accrochage raisonnablement imaginables.
Vu ce qui précède, **la réalisation d'un franchissement au moyen d'un tunnel implanté intégralement en molasse s'exclut d'elle-même**.

6.8.1.2. Tunnel foré ou excavé en terrains meubles

La variante "tunnel intégralement en molasse" étant quasi-impossible, les options de franchissement par un tunnel en terrains meubles demeurent a priori envisageables d'un point de vue géologique et géotechnique, pour autant que toutes les mesures nécessaires à la maîtrise des risques, notamment ceux d'origine hydrogéologiques, soient techniquement et économiquement réalisables. On sera notamment attentif aux éléments suivants :

- Maintenir le tunnel dans des terrains fermes à durs (molassiques ou morainiques) apparaît déjà difficile. En effet, le tunnel devrait se situer à plus de 100 m de profondeur, et nécessiterait l'utilisation d'une méthode adaptable à la variabilité des terrains (éperon molassique en rive droite, puis moraine). De plus, on se trouverait confronté à la présence d'horizons aquifères en forte charge (prétraitement a priori indispensable) et de blocs. Cette variante, indépendamment des problèmes liés à la profondeur et aux pentes qu'imposerait la stratigraphie au profil en long, semble donc bien compromise.
- Un tunnel exécuté intégralement hors sols vaseux dans les matériaux de retrait apparaît alors, d'un point de vue géométrique, plus pensable moyennant la mise en œuvre d'un tunnelier à pression de boue, pour autant qu'il puisse maîtriser des pressions hydrostatiques pouvant atteindre ou dépasser 9 à 10 bars. Les projeteurs sont en outre rendus attentifs au fait que, dans ces formations, on ne peut exclure la présence de blocs isolés probablement épars, mais pouvant atteindre de grandes dimensions, ou de conditions hydrogéologiques non seulement d'origine hydrostatique, mais aussi susceptibles d'être affectées par des surcharges en relation avec une alimentation via les veines graveleuses intramorainiques présentes dans les sols sous-jacents. Rappelons aussi que les formations qui seraient rencontrées par le tunnelier sont très médiocres, molles à très molles, mais susceptibles d'être localement fermes, comme le sondage S1 le met en évidence, notamment en rive gauche. L'exécution d'un tunnel foré à pression de boue nécessiterait aussi la mobilisation d'une installation importante et la réalisation de 2 fouilles aux extrémités pour permettre l'installation, respectivement le repli du tunnelier. La mention de 2 fouilles tient au fait qu'il n'est a priori pas envisageable à notre connaissance de poursuivre le forage du tunnel en rive gauche, avec le même dispositif que celui qui est nécessaire au franchissement du Petit-Lac. Les puits d'accès se situeraient ainsi aux 2 extrémités du tronçon souterrain, soit au large du Vengeron et à la Pointe à la Bise. Il conviendrait aussi, dans le cadre d'une étude plus approfondie de cette variante, d'examiner la possibilité d'utiliser le puits d'accès alors situé en rive droite dans la zone du Vengeron pour réaliser une rampe circulaire (voire hélicoïdale) d'accès au tunnel, ce qui permettrait "d'enfoncer" le profil en long en rive droite et d'éviter une pente trop importante dudit profil en long.
  Cette solution ne semble toutefois pas du tout adaptée aux contraintes techniques à respecter pour une route nationale.

Un autre problème technique primordial pour les tronçons en tunnel, compte tenu de la qualité très médiocre des formations de retrait et des vases surmontant celles-ci, relève de la poussée d'Archimède. En effet, la structure du soutènement (dans l'hypothèse où il aurait été possible de le mettre en place) n'est peut être pas suffisamment lourde pour s'opposer à la poussée résultante et les sols de couverture pas suffisamment résistants pour empêcher le soulèvement ou une remontée des ouvrages. Le cas échéant et à défaut de pouvoir les ancrer en profondeur de façon permanente, il faudrait alors se tourner vers des recharges de substitution ou vers un prétraitement systématique du sol (jetting), ce qui apparaît pratiquement impossible en milieu lacustre, techniquement, économiquement ou environnementalement. Une telle impossibilité condamnerait alors toutes variantes en tunnel foré dans les terrains glaciolacustres.

En dernier lieu et dans tous les cas, l'étude d'une variante en souterrain et de sa faisabilité devrait se faire en collaboration avec des entreprises suffisamment qualifiées et expérimentées dans le domaine des travaux spéciaux, souterrains et maritimes ou lacustres de grande ampleur.

6.8.1.3. Tunnel immergé

Du fait des difficultés à réaliser un tunnel foré, il demeure la possibilité d'exécuter un tunnel immergé consistant à mettre en œuvre des éléments constituant le futur tunnel préfabriqué à sec (moyennant l'étude spécifique des joints, l'étanchéité parfaite et la maîtrise des bétons étanches), transport par flottation, puis positionnement définitif et assemblage par immersion.

La difficulté de cette méthode, d'un point de vue géotechnique, réside dans la maîtrise des conditions de stabilité générale de l'ensemble aux stades provisoire et définitif en relation avec des sols très médiocres au niveau des appuis de la future structure. En considérant une hauteur moyenne de purge de l'ordre de 10 m à partir du niveau du fond du lac, on peut faire l'hypothèse que les appuis seront établis sur des matériaux de retrait glaciaire aux propriétés géomécaniques médiocres à mauvaises, à l'exception de l'extrémité en rive gauche, qui risque de poser de sérieux problèmes si l'appui direct sur les formations de retrait doit être recherché à 30 m sous le niveau du fond.
Dans le cadre de l'équilibre global du système (Archimède), on peut a priori compter avec un niveau de pression d'eau correspondant à l'état hydrostatique régi par le niveau du lac. On tiendra toutefois compte, dans le cas des situations de projet, d'une variation du niveau de pression sous l'ouvrage au stade provisoire, en relation avec des réseaux d'alimentation souterrains, via des veines grossières au sein des matériaux de retrait.

Concernant l'exécution de la fouille pour la mise en œuvre du tunnel immergé, celle-ci intéressera principalement les matériaux de type vases lacustres, dont on rappelle qu'ils sont quasiment inconsistants (à l'état liquide). De plus, il faut noter la présence de nombreux éléments noyés (déchets, munitions, etc.) ou services (fibres optiques par exemple) qu'il conviendra de gérer en phase de dragage.
La stabilité des talus sous-lacustres est complexe à apprécier compte tenu des caractéristiques géomécaniques et propriétés intrinsèques des vases lacustres qui sont à la limite des lois d'application des formules usuelles de mécanique des sols. L'expérience a montré que la tenue peut s'avérer extrêmement variable, les matériaux pouvant tenir avec des pentes incertaines, importantes localement, mais susceptibles aussi de se "vautrer" totalement et de ne tolérer qu'une pente de 1/4 au droit d'autres zones inconsistantes.
La mise en œuvre, par battage ou fonçage, d'un blindage simplement fiché, à l'avancement de l'exécution du tunnel, depuis la surface apparaît par ailleurs complexe, compte tenu notamment des hauteurs d'eau.

En alternative, il faut encore mentionner, la possibilité, très théorique, de prévoir des dragages moins profonds et d'établir les ouvrages sur des pieux battus au préalable jusque dans les formations de retrait ou morainiques depuis le plan d'eau. Bien sûr, de nombreux problèmes d'exécution et de bienfacture resteraient à maîtriser (pieux inclinés pour reprise des actions horizontales, accès, réglages et liaisons des têtes à la structure, etc. …), et la faisabilité d'une telle option reste encore à démontrer.
Des essais complémentaires ont été exécutés en étroite collaboration avec le mandataire qui a étudié le tunnel immergé, afin de préciser les paramètres de fluage à long terme pour garantir l'assise et la tenue de l'ouvrage. Ces essais ont mis en évidence des risques de fluage des sols sous charge constante, juste sous les sols vasards.

6.8.1.4. Tunnel flottant

Une variante en tunnel flottant apparaît possible d'un point de vue géotechnique, moyennant la mise en œuvre d'ancrages noyés ou battus depuis la surface. Cette variante est toutefois susceptible d'être remise en question en raison des contraintes et sollicitations hydrauliques et de l'impact sur les écoulements et sur les transports de sédiments.
A noter qu'un tel type d'ouvrage n'a encore jamais été réalisé et présenterait des difficultés techniques de réalisation et de maintenance extrêmement élevées.

6.8.2. Fondations d'ouvrages d'art

En relation avec le contexte géotechnique identifié nous pouvons recommander et formuler les indications suivantes :

- En rive droite, le substratum rocheux pourrait être atteint moyennant la mise en œuvre de fondations profondes appuyées ou scellées dans la molasse.
- En rive gauche par contre, il faut compter avec la présence d'une épaisseur significative (environ 30 m) de dépôts vasards surmontant des matériaux de retrait, puis des matériaux morainiques. Dans cette zone, des appuis pour le transfert des charges d'un éventuel ouvrage d'art pourraient être trouvés à partir de 40 à 50 m de profondeur, dans des matériaux morainiques cette fois-ci. Signalons la présence de veines aquifères en charge (au-dessus du niveau du lac) qui pourraient perturber la mise en œuvre des dispositifs d'appui.

- Dans la zone centrale, soit sur une longueur de 1'800 à 2'000 m environ, on ne pourra compter avec la présence d'un véritable substratum qu'à partir d'une profondeur de 80 à 100 m environ sous le niveau actuel du lac. En conséquence, si un appui est souhaité ou cherché dans cette zone, il nécessiterait des moyens importants (fondations profondes, batardeaux et puits, îles artificielles, etc.) pour permettre d'assurer le transfert des charges, la stabilité du système et des déformations acceptables à long terme.

Des variantes de noyage de fondations préfabriquées sont également envisageables moyennant un traitement préalable des matériaux de retrait par traitement du sol ou battage préalable de pieux prenant appui jusque dans les matériaux morainiques ou sur la frange moyenne des matériaux de retrait, la mobilisation d'un terme de pointe sous l'ensemble de la fondation apparaissant comme indispensable.
Un ouvrage spécifique d'accrochage devra être étudié et mis en œuvre en rive gauche pour assurer la liaison avec la suite du tracé, a priori en tunnel, en direction de l'est.
L'accroche en rive droite, s'il est réalisé à ciel ouvert, pourrait l'être en remblais, pour autant que d'autres contraintes n'excluent pas cette variante. Si le remblai s'avère possible, il conviendra alors d'en étudier spécifiquement la stabilité générale et d'envisager de recourir à des éléments de confortement de type palplanches par exemple ou la purge éventuelle des matériaux de type vase lacustre avant mise en œuvre du remblai.

6.8.3. Fouilles dans les zones d'accrochage

En relation avec les variantes de franchissement, qu'il s'agisse d'un pont ou d'un tunnel en rive gauche, et dans le cadre de la variante tunnel en rive droite, il y a lieu d'étudier plus particulièrement la mise en œuvre des fouilles pour l'accrochage aux ouvrages de liaison, qu'il s'agisse d'un tunnel en rive gauche sous la commune de Cologny ou d'un tronçon à ciel ouvert, semi-enterré en rive droite selon les indications perçues.
Les dimensions des fouilles sont susceptibles d'être dictées par le mode de réalisation du franchissement dans le cas de la mise en œuvre d'un tunnel foré.
Dans tous les cas, il faudra compter avec :

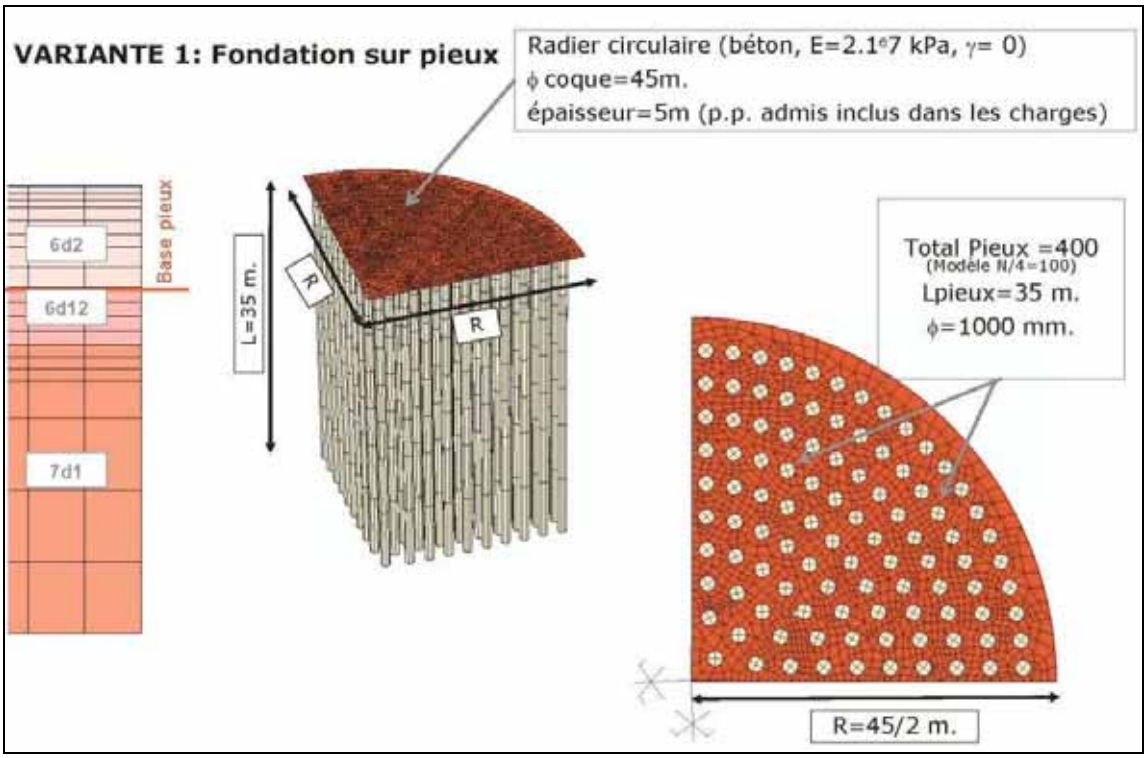
- Des fouilles susceptibles d'atteindre ou dépasser une centaine de mètres de diamètre, autostables, d'une profondeur d'une dizaine de mètres sous le fond lacustre en rive droite, contre 25 environ en rive gauche pour assurer l'assise de la future structure dans des sols présentant une certaine consistance.
- Un dispositif de soutènement qui devra a priori être simplement fiché et constitué de batardeaux (écrans de palplanches, de parois moulées ou caissons, d'une hauteur pouvant atteindre 30 à 40 m).

Différents types de géométrie sont envisageables comme des fouilles circulaires ou fouilles linéaires, déplacées à l'avancement en étudiant soigneusement à chaque étape les problèmes de stabilité de fond de fouille qui seront très probablement déterminantes en relation avec les hauteurs en jeu, ainsi qu'avec la difficulté d'assurer la fermeture du "bouchon étanche" au niveau du fond de fouille et la présence, en rive gauche, de veines aquifères en charge. Un traitement ou prétraitement des sols sous le futur fond de fouille doit à ce titre être envisagé dans les zones d'accroche. Suivant les conditions locales et les types d'ouvrage, des fouilles restant immergées sont également envisageables.

6.8.4. Etudes spécifiques des fondations d'un pont haubané

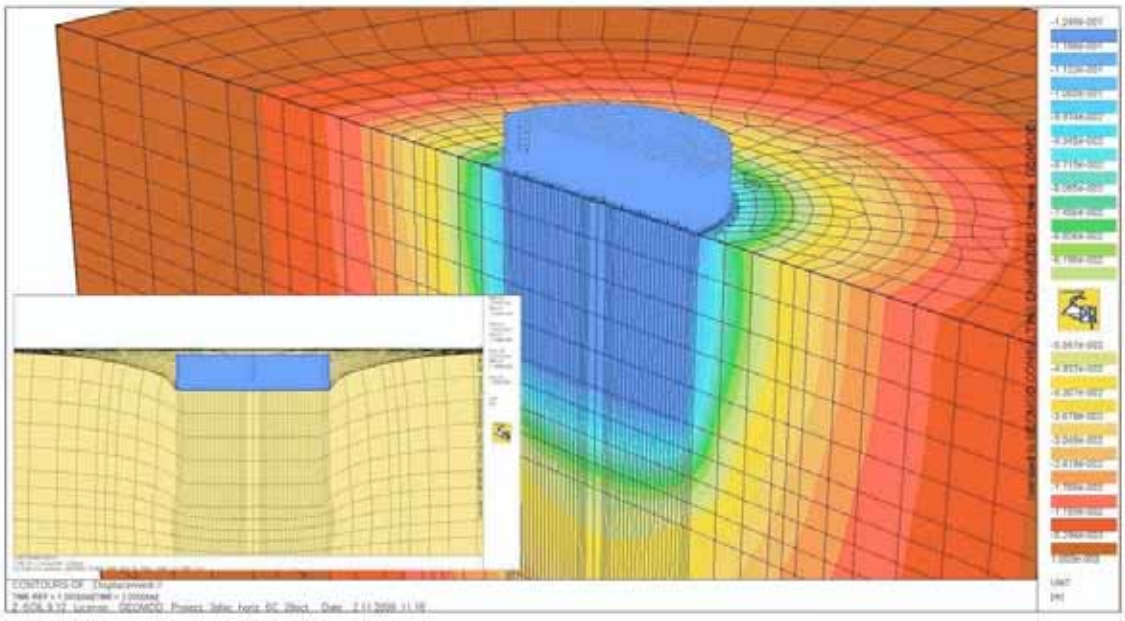
En complément aux études géotechniques de base, une étude spécifique de la capacité portante des matériaux de retrait a été conduite, en appui au spécialiste étudiant le pont, afin d'optimiser les fondations éventuelles d'un ouvrage de ce type.
Différentes variantes ont été étudiées comme le havage, la consolidation, le battage de pieux, le traitement du sol par injections de coulis de ciment.
Relevons que pour le traitement du sol (par injection de ciment ou jetting), outre les difficultés liées à sa mise en œuvre (précision de l'exécution en milieu lacustre à des profondeurs de plus 100m) et les risques environnementaux (dispersion de coulis dans le lac), la solution présente le désavantage (de son intérêt !) de densifier le sol et donc d'accroître la charge au niveau de l'appui risquant de provoquer des tassements généralisés. Ce dispositif n'est donc probablement pas judicieux d'un point de vue technico-économique.

Les variantes sur inclusions ont permis d'analyser au moyen de logiciels de calcul modélisant le sol, l'eau et les inclusions (éléments finis) en 3 dimensions, le comportement d'une pile chargée verticalement et horizontalement.
L'objectif du modèle était d'apprécier l'effet d'inclusions battues vibrées ou foncées, dans les matériaux glaciolacustres présents sous les sols vasards, sur une épaisseur raisonnable, afin de constituer un massif de sol amélioré destiné à assurer la stabilité d'une fondation traditionnelle. Le modèle considéré (1/4 de fondation) est illustré sur la figure ci-dessous.



Modèle de calcul des inclusions (pieux métalliques) sous la fondation

Ce modèle a permis d'apprécier les déformations et tassements, ainsi que la stabilité du système sous l'effet de chargement. Le logiciel de calcul permet d'appréhender et d'illustrer les résultats sous forme graphique selon le document présenté ci-dessous.


Résultats (déformations) du massif de sol amélioré par les inclusions

En conclusion, l'étude a permis d'optimiser et d'appréhender le comportement de l'ouvrage en fonction du nombre d'inclusions mises en place.

Différentes réflexions ont été menées, en collaboration étroite avec les projeteurs, concernant la zone d'accroche en rive gauche, à proximité du tunnel sous Cologny. Après analyse de variantes, il est apparu que le recours à des éléments battus ou foncés depuis la surface s'imposait pour enjamber la forte épaisseur des dépôts vasards, localement inconsistants. Des investigations complémentaires dans cette zone particulièrement sensible apparaissent de fait nécessaires.

6.9. Investigations et prestations futures

Dans tous les cas, quelle que soit la variante retenue, d'un point de vue géologique et géotechnique, des investigations complémentaires sont nécessaires. Elles devraient consister en :

- Des essais en vraie grandeur de mise en œuvre et de vérification de la capacité portante d'inclusions rigides métalliques qui, dans tous les cas (qu'il s'agisse d'un tunnel ou d'un pont) apparaissent a priori nécessaires compte tenu de la forte épaisseur de matériaux médiocres, vasards dans la zone de la Pointe-à-la-Bise ou sous-consolidés dans la partie centrale du lac sur lesquels devraient reposer les ouvrages projetés.
- Parallèlement, une fois le type d'ouvrage retenu, une campagne d'investigations géotechniques complémentaires comprenant des essais ciblés en vue d'appréhender et de lever tous les risques pour la future construction (portance, poinçonnement, stabilité, liquéfaction, etc.) devra être menée.
- La zone d'accrochage au tunnel sous Cologny, dans la zone de la Pointe-à-la-Bise devra être soigneusement étudiée, qu'il s'agisse d'un franchissement en pont ou en tunnel. Ce secteur apparaît comme critique d'un point de vue géotechnique et hydrogéologique.

7. ETUDE GENERALE POUR UN CHOIX PRELIMINAIRE DE TRACE

Les premières études ont été réalisées avec pour mission d'étudier en priorité un projet de tracé succinct selon la variante 1 de l'étude de circulation.

En effet:

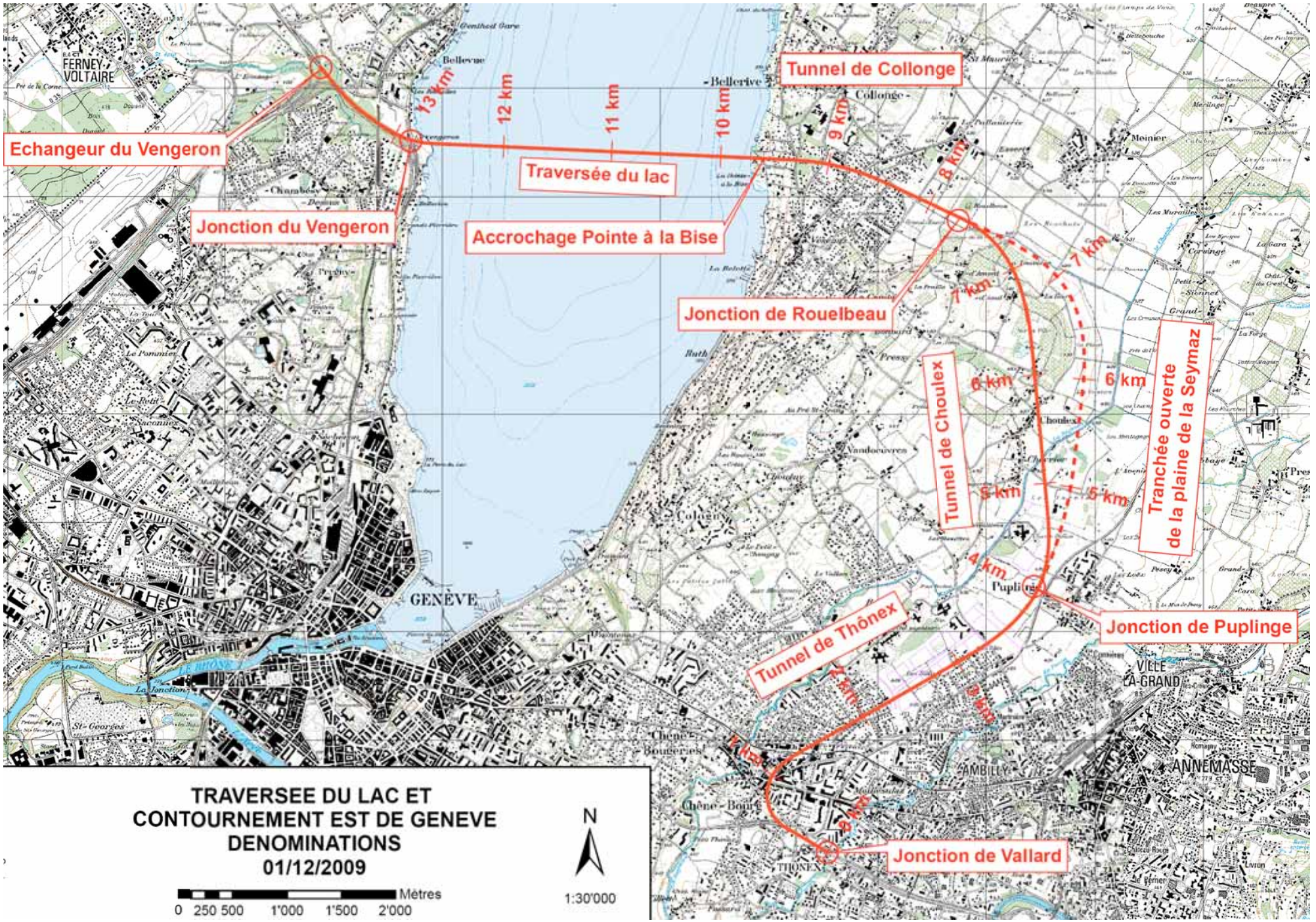
- La variante 1 répond, non seulement à la loi 10015, mais également à la volonté du Conseil d'Etat exprimée lors des débats sur le projet de loi.
- La variante 1 est entièrement sur sol suisse, les compétences cantonales ne permettant pas d'envisager des discussions avec les autorités françaises.
- La variante 1 va de le sens de l'OFROU, qui doit aussi envisager une alternative à l'élargissement de l'autoroute actuelle.
- La variante 1 répond totalement aux conclusions l'étude de circulation.
- Le point d'arrivée de la traversée du lac a été fixé à la Pointe à la Bise, car la faible profondeur du lac à cet endroit est mieux adaptée à un ouvrage immergé de transition entre le lac et la rive en cas de pont, puis un tunnel pour rejoindre la jonction "Pallanterie".
- La connexion sur la route de Thonon, dans la région de la Pallanterie, sera située au nord de la traversée de Vésenaz.
- Les premiers tracés dans la campagne rive gauche ont été choisis selon le critères de moindre présence de constructions, tout en tenant compte des parcelles propriétés de l'Etat.
- Sur certains tronçons, il a été obligatoire de prévoir dès le début des études, une solution souterraine en tunnel notamment pour les traversées sous Vésenaz et sous Chêne-Bourg.
- Une deuxième jonction pour la rive gauche est réalisable dans la région de Puplinge.
- Il a également été recherché un tracé ne nécessitant qu'une seule traversée de la Seymaz.
- Le raccordement à la Route Blanche à Sous-Moulin ou à la douane de Thônex-Vallard doit être étudié plus en détails car délicat.

Après analyse des contraintes, compte tenu des points de vue cantonal et fédéral, des éléments listés ci-dessus et d'une rapide analyse de la situation géographique, topographique et environnementale, le tracé indiqué ci-après a été retenu en vue de poursuivre l'étude de faisabilité.

A signaler que la traversée de la plaine de la Seymaz a été étudiée sur deux tracés différents, l'un en tranchées couvertes ou ouvertes dans la plaine et un en tunnel sous la colline de Choulex, étant présumé que la solution en tranchées ne sera probablement pas envisageable dans cette plaine agricole, paysagère et marécageuse, où de nombreux travaux de renaturation ont été récemment réalisés. De plus, elle offre des zones humides et des sites classés et dignes de protection.

En ce qui concerne la traversée du lac proprement dit, les deux solutions, en pont ou en tunnel, ont été étudiées.

La solution en tunnel foré n'a pas été étudiée, compte tenu de la situation géologique et topographique (voir rapport géotechnique). Ce mode de construction imposerait de plus, de descendre dans des couches de terrains adaptés à ce genre de forage, ce qui imposerait des pentes de chaussées dépassant largement les valeurs autorisées par les norme.
De plus, la très grande disparité de la qualité des terrains rencontrés, rendrait la tâche difficile et aléatoire.
Le tunnel étudié est donc un tunnel immergé sur le fond du lac.


Echangeur du Vengeron
Jonction du Vengeron
Traversée du lac
Accrochage Pointe à la Bise
Tunnel de Collonge
Jonction de Rouelbeau
Tunnel de Choulex
Tranchée ouverte de la plaine de la Seymaz
Jonction de Puplinge
Tunnel de Thônex
Jonction de Vallard
13 km
12 km
11 km
10 km
9 km
8 km
7 km
6 km
5 km
4 km
FERNEY-VOLTAIRE
GENÈVE
VILLE-LA-GRAND
ANNEMASSE
AMBILLY
THÔNEX
Bellevue
Bellerive
Collonge
Meinier
Choulex
Puplinge
Cologny
Vandoeuvres
Chêne-Bougeries
Chêne-Bourg
Le Pommier
Le Petit-Saconnex
St-Georges
La Jonction
TRAVERSEE DU LAC ET
CONTOURNEMENT EST DE GENEVE
DENOMINATIONS
01/12/2009
Mètres
0 250 500 1'000 1'500 2'000
N
1:30'000

8. ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA RIVE GAUCHE DU LAC

Dans le contexte de l'étude de faisabilité du raccordement autoroutier entre la douane de Thônex-Vallard et le Vengeron, le présent chapitre résume les contraintes géotechniques, hydrologiques et de surface à considérer pour le tracé correspondant au contournement est de Genève (variante 1).

La base en est l'étude complète, le rapport 5954-8 (numéros de pièce TL-02.0-337 à TL-02.0.341) daté du 21 octobre 2010, incluant les données existantes (sondages notamment) recensés par le service cantonal de géologie, sols et déchets (GESDEC), ainsi que 12 nouveaux sondages carottés réalisés pour compléter une information lacunaire.

Pour le projet définitif l'information devra être encore complétée par d'autres investigations, géotechniques notamment.

Le résultat de l'étude est synthétisé par le profil en long présenté au paragraphe 8.5.

8.1. TRACE

Le tracé traverse, depuis Chêne-Bourg, une partie de la plaine de la Seymaz entre Thônex et Puplinge pour ensuite se diriger vers le nord en passant sous la partie nord du village de Choulex, dans le coteau du même nom et rejoindre le secteur de Rouelbeau, situé à la limite du plateau de Meinier et des hauts de Collonge-Bellerive, à proximité du chemin de la Capite. Depuis ce point, le tracé plonge vers la Pointe à la Bise et traverse le lac pour rejoindre le Vengeron.

La présente étude se limite à la partie terrestre du tracé en rive gauche qui totalise 9.7 km environ.

8.2. CADRE GENERAL : CONTRAINTES DE SURFACE, GEOLOGIQUES, GEOTECHNIQUES ET HYDROLOGIQUES

8.2.1. Vallard - Gare de Chêne-Bourg (Chemin de la Mousse)

Points kilométriques de 0 à 1,500 (Forage F7)

Depuis Vallard, le tracé quitte la route Blanche et la plaine du Foron pour s'enfiler dans les pentes conduisant au cœur de Chêne-Bourg, secteur urbain caractérisé par une forte densité de constructions.

Vers le km 1,300, le tracé croise celui du futur CEVA.

Pour ce tronçon, les terrains concernés par le projet sont de qualité médiocre : dépôts fins non consolidés (sauf localement une frange superficielle par dessiccation) limono-argileux du retrait würmien (6d2, 6e2) reposant sur une moraine limono-argileuse pauvre en cailloux (« argile à cailloux ») semi à non consolidée (7d12, 7d2). Cette dernière repose ensuite en profondeur sur des formations rissiennes ou sur le substratum rocheux de la molasse.

En surface, comblant des zones déprimées du limon argileux de retrait, on trouve localement des sables et des graviers de retrait würmien (6a, 6b) dans lesquels s'écoule la nappe superficielle de Puplinge avec des épaisseurs métriques à laminaires. Cette nappe sature les terrains sous-jacents.

Remblais, dépôts de ruissellement et terre végétale coiffent le tout.

Le forage F7 (objet d'un cahier spécial non joint au présent document) est caractéristique du secteur et donne une description détaillée de la stratigraphie.

8.2.2. Gare de Chêne-Bourg - Puplinge (route de Mon-Idée)

Points kilométriques de 1,500 à 3,300 (Forages F8 et F9)

Sur ce tronçon, le terrain s'élève entre les km 1,700 et 2,200 et atteint la plaine de la Seymaz vers le km 3,100. Du km 1,500 au km 2,300, le tracé traverse un quartier de villas. Il passe ensuite dans une zone appelée à se développer (Communaux d'Ambilly), au large de la clinique de Belle-Idée et de l'hôpital de

gériatrie. Vers la route de Mon-Idée, il débouche sur la plaine de la Seymaz, dont l'altitude se situe une vingtaine de mètres plus haut que la plaine du Foron.

Entre les km 2,300 et 3,570, le tracé se situe sous les parcelles réservées au projet MICA. Dans le cadre de ce dernier, il faudra tenir compte de la réalisation de sondes géothermiques à grande profondeur (plus de 100 m) qui entreront en conflit avec le projet étudié. Précisons que le puits géothermique existant de Thônex, équipé jusqu'à une profondeur de 1700 m environ, se situe à 50 mètres de l'axe du tracé et n'interfère donc en principe pas avec le projet.

Les terrains concernés par le projet de la traversée du lac sont dans l'ensemble constitués d'une moraine limono-argileuse, localement pauvre en cailloux (« argile à cailloux »), consolidée au sommet, puits globalement semi-consolidée (7d12). Une importante veine non consolidée (7d2) recoupe toutefois le haut de la couche semi-consolidée. La moraine repose ensuite en profondeur sur le substratum rocheux de la molasse, éventuellement le riss.

Relevons également la présence au sein de la moraine de veines intraformationnelles sableuses (8b) et saturées en eaux sous pression ou encore limono-argileuses semi-consolidée pauvres en cailloux et mal stratifiées (8d12). Ces veines peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (veine de sable saturée d'eau sous pression de plus de 8 m dans le forage F8) et se rencontrer de façon aléatoire un peu partout dans le massif.

Précisons que les sables sont fluents à l'excavation sous l'eau.

En surface, le retrait würmien a disparu et seuls subsistent les remblais et dépôts de ruissellement. C'est uniquement avec l'arrivée dans la plaine de la Seymaz, vers le km 3,000 que les formations de retrait refont leur apparition. On retrouve également la nappe de Puplinge saturant le retrait graveleux.

Les forages F8 et F9, (objet d'un cahier spécial non joint au présent document) sont caractéristiques du secteur et donnent une description détaillée de la stratigraphie.

Le forage F10, caractérise la stratigraphie à l'entrée de la plaine de la Seymaz.

8.2.3. Puplinge (route de Mon-Idée)- La Seymaz

Points kilométriques de 3,300 à 5,240 (Forages F10 à F12)

Ce secteur est caractérisé par la présence de la nappe de Puplinge saturant les graviers de retrait comblant la plaine de la Seymaz. Sous ces graviers, on rencontre des dépôts de retrait würmien fins, non-consolidés (6d2/6e2), sauf localement au sommet par dessiccation. Ils reposent sur une moraine semi-consolidée (7d12), probablement consolidée (7d1) en profondeur et limoneuse au contact de la molasse (7c1) qu'elle recouvre.

Précisons que des veines intraformationnelles pourraient également se trouver dans le massif morainique, bien que non identifiées pour ce tronçon, dans les forages.

En surface, les graviers sont localement surmontés par des dépôts palustres (tourbes, craies, limons à végétaux) très médiocres.

A noter que le tracé traverse une zone inondable, de danger résiduel, de la Seymaz.

Pour le reste, ce secteur de plaine est assez libre de contraintes de surface.

Relevons toutefois la présence de la décharge du bois Burgnard, inscrite au cadastre des sites pollués (n° 275.2003.669) située à 80 m du tracé vers le km 5,200. Il s'agit d'une ancienne décharge sauvage, d'environ 150 par 20 m contenant 8000 m^3 de déchets divers.

8.2.4. La Seymaz (Choulex) - Meinier (Rouelbeau)

Points kilométriques de 5,240 à 7,300 (Forages F13 et F14)

Après le franchissement de la Seymaz, le tracé traverse le coteau de Choulex pour rejoindre le plateau du bassin versant du ruisseau du Rouelbeau.

Le coteau de Choulex est constitué par une dorsale molassique (molasse grise à gypse) que recouvre une moraine argileuse à limono-argileuse consolidée (7d1, 7e1). Le tout est recouvert par des limons argileux de retrait généralement consolidés (6d1, 6e1), qui s'apparentent souvent à un plaquage mince sur la moraine.

Précisons que seules les extrémités du coteau ont été reconnues par sondages et que l'épaisseur des couches quaternaires au sommet n'est pas précisément connue.

Le tracé prévu traverse le coteau en tunnel dans la molasse. D'une manière générale, celle-ci est constituée d'une alternance de marnes feuilletées, marnes plaquetées et marnes gréseuses contenant de très fréquentes veines ou paillettes de gypse et d'anhydrite, recoupées par quelques niveaux de gypse ou de grès marneux, gris à gris sombre, très fortement microfissurées à fissurées, tendres à dures avec de nombreux niveaux très tendres désagrégés au forage.

Usuellement, la molasse grise contient du gypse blanchâtre ($CaSo_4,2H_2o$) dont la masse volumique est de 2,30 t/m^3, alors que celle de l'anhydrite ($CaSo_4$), de même apparence, a une masse volumique beaucoup plus élevée (>2,85 t/m^3). Ce sont précisément les mesures de masse volumique, réalisées en laboratoire, qui ont permis de mettre en évidence la présence de ce minéral.

Un échantillon (n° 29) a été remis à l'institut de géologie de l'Université de Genève pour confirmation.

Le principal problème lié à l'anhydrite est sa capacité de gonflement à l'origine de bien des désordres dans les tunnels, mais ceux-ci peuvent être maîtrisés par des techniques adaptées en conséquence.

Le pendage des couches de molasse est de l'ordre de 15°. Sa direction n'est pas repérable en forage. Elle est vraisemblablement vers le sud, sud-est.

La désagrégation très rapide des carottes de molasse au forage, sans qu'un phénomène de gonflement n'ait eu le temps de s'amorcer, donne à penser qu'il existe des contraintes horizontales « in situ » dépassant très largement celles engendrées par la couverture (k_0 >> 1).

D'une façon générale, on retiendra que la molasse est fortement tectonisée, ce qui s'explique par l'histoire géologique de la région.

Il est à noter que la carte géologique d'Annemasse signale une faille décrochante en provenance du Voiron, d'orientation SE-NO et qui passe grosso-modo sous les villages de Presinge et de Choulex. Elle recoupe le tracé dans le secteur du km 6,300.

Ce phénomène, lié à la fracturation, a considérablement gêné l'échantillonnage dans la molasse lors de la campagne de forage, ce qui explique le nombre peu élevé d'essais mécaniques effectués dans cette couche.

Rappelons que la molasse grise à gypse est agressive pour les bétons.

A la base du coteau, aussi bien du côté plaine de la Seymaz que de Meinier, on assiste à un abaissement du toit du substratum rocheux et ainsi à un épaississement de la couche de moraine consolidée.

Relevons encore que du gaz (méthane) peut être rencontré dans la molasse. On peut considérer cette molasse de classe 1 selon le feuillet technique de la SUVA : « Mesures de prévention contre les risques d'incendies et d'explosion lors des travaux souterrains dans les couches rocheuses dégageant du gaz naturel ».

8.2.5. Meinier (Rouelbeau) - Route de Thonon

Points kilométriques de 7,300 à 8,680 (Forages F15 et F16)

Le tracé termine d'abord la traversée du plateau de Meinier pour rejoindre ensuite la route de la Capite (km 8,120), au-delà de laquelle on trouve un secteur à forte densité de constructions, essentiellement des quartiers de villas. Vers la route de Thonon, on se situe, dans les pentes descendant vers le lac, en bordure du plateau molassique.

Le secteur est marqué par une moraine würmienne limono-argileuse de bonne qualité souvent située immédiatement sous les terrains de couverture et reposant sur la molasse vers 20 à 30 m de profondeur.

Dans le secteur de Rouelbeau (chemin du Rouelbeau, km 7,590), une poche de graviers attribuée à l'Alluvion Ancienne contient une nappe en charge, d'extension inconnue mais a priori limitée.

La décharge au chemin des Combes sur la commune de Meinier, inscrite au cadastre des sites pollués (n° 264.2003.480), se situe à 50 m du tracé vers le km 7,450. Il s'agit d'une ancienne décharge sauvage, contenant des déchets divers, d'étendue réduite (environ 25 x 25 m) et de 2,5 m d'épaisseur moyenne.

8.2.6. Route de Thonon - Lac (Pointe-à-la-Bise)

Points kilométriques de 8,680 à 9,900 (Forages F17 et F18)

Le tracé continue sous le quartier à forte densité de construction précédemment évoqué, puis rejoint le lac en coupant les pentes qui le bordent.

Le secteur est marqué par le plongement assez brusque de la molasse, l'apparition d'une épaisse couche de riss et la dégradation progressive de la qualité des terrains surmontant les deux dernières formations. En se rapprochant du lac, la moraine très compacte devient assez brusquement semi-consolidée, puis non consolidée. Des plaquages de retrait würmien non consolidés refont leur apparition.

Dans les pentes, on rencontre fréquemment des poches de limons sableux intraformationnels, saturés en eau et fluents. Une nappe temporaire, dite de la Capite, s'écoule au sein de ces couches plus perméables situées généralement immédiatement sous les terrains de couverture mais pouvant également être pincées dans la moraine imperméable.

Au bord du lac, le tracé traverse une zone protégée sensible. La qualité du sol se péjore très brusquement à l'arrivée sur la rive, dépôts lacustres et limons de qualité médiocre recouvrant la moraine sur une grande épaisseur.

8.3. CHOIX DU PROFIL EN LONG : CONTRAINTES ET POINTS PARTICULIERS

8.3.1. En surface

Les zones à forte densité d'habitations se concentrent aux extrémités du tracé, soit Vallard - Mon-Idée (km 0,800 à 3,600), avec franchissement du projet CEVA ainsi que de la zone de développement MICA, soit route de la Capite - Pointe à la Bise (8,100 à 9,600). Dans ces secteurs, un passage en tunnel est prévu avec un minimum d'intervention en surface.

Entre Puplinge et Meinier, l'obstacle que constitue le coteau de Choulex est franchi grâce à un tunnel également.

Ces contraintes de surface dictent pour l'essentiel le choix des ouvrages le long du tracé. Rappelons que le passage sous le coteau de Choulex permet d'éviter en bonne partie la plaine de la Seymaz et évite ainsi d'affecter un cours d'eau récemment revitalisé. En outre la plaine de la Seymaz est localement constituée en surface de terrains très médiocres (dépôts palustres, tourbes, craies et limons).

8.3.2. Contraintes géologiques

Entre Vallard et Puplinge (route de Mon-Idée), les terrains sont dans l'ensemble médiocres (argileux, pauvres en cailloux, semi à non consolidés, souvent saturés, veines de sable fluents à l'excavation sous l'eau) et nécessitent des techniques de creuse adaptées. L'avancement des tunnels doit être envisagé avec un bouclier à front pressurisé (boue, pression de terre, …). Le profil circulaire paraît donc impératif.

La plaine de la Seymaz vers Puplinge, au droit de la jonction de Mon-Idée et jusqu'à la base du coteau de Choulex, est recouverte par des sables et graviers de retrait aquifères puis des terrains fins non consolidés, compressibles. Dans ces terrains de mauvaise qualité, le choix d'une tranchée ouverte (plutôt qu'une fouille en talus) réalisée à l'abri d'un blindage vertical étanche permet de minimiser l'emprise de la fouille et de passer dans des terrains saturés. Elle contribue également à diminuer l'impact visuel et sonore.

La traversée sous le coteau de Choulex se fera essentiellement en roche. Rappelons, qu'il s'agit de molasse grise à gypse, fortement tectonisée, agressive pour les bétons et pouvant contenir du gaz. L'abattage de la molasse au tunnelier peut être envisagé. La zone d'entrée côté Choulex se situe toutefois encore dans des terrains quaternaires médiocres, une tranchée couverte est prévue.

A partir de la base du coteau de Choulex, côté Meinier et jusqu'à la Pointe à la Bise, la qualité de la moraine permet d'envisager des tunnels réalisés traditionnellement avec un front ouvert. A priori, un profil en fer à cheval paraît adéquat.

Relevons que les formations rissiennes seront rencontrées en radier et en piédroit à la hauteur de la route d'Hermance.

8.3.3. Contraintes hydrologiques

Le tracé traverse la Seymaz à la hauteur de l'entrée de Choulex (km 5,240 environ) dans une zone de danger résiduel d'inondation.

A cet endroit, une tranchée couverte est prévue. Au stade chantier il conviendra de gérer et dévier les eaux de la Seymaz. Au stade final le projet n'aura plus d'impact sur le cours d'eau.

8.3.4. Contraintes hydrogéologiques

Hormis la zone du lac, secteur Ao de protection des eaux, aucun secteur de protection des eaux n'est traversé. Le tracé recoupe toutefois la nappe de Puplinge et dans les zones concernées (km 0,200 à 0,400 et dès km 3,700 à 4,800 environ) des mesures adéquates devront être prises pour éviter l'effet de barrage du projet à cette dernière.

8.3.5. Sites pollués

Les deux sites pollués les plus proches (n° 275.2003.669 et 264.2003.480) se situent respectivement à 80 et 50 m du tracé. A priori, seul le site le plus proche (n° 264.2003.480) pourrait être concerné par les travaux du fait des emprises de chantier.

Selon les données à notre disposition, il s'agit d'une ancienne décharge sauvage contenant des déchets divers (restes de lits, de bidons, etc…) et concerne un volume d'environ 1500 m^3. Son épaisseur devrait rester inférieure à 3,0 m.

8.4. COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

De Vallard jusqu'à La Pointe-à-la-Bise, le projet traverse des formations essentiellement morainiques mais de qualités différentes, médiocre à Vallard excellente vers Vésenaz. Sous la colline de Choulex, le tracé se situe dans la molasse grise à gypse, fortement tectonisée, sur environ 2 km.

Les tunnels nécessaires aux extrémités pour éviter les zones fortement bâties peuvent être envisagés en méthodes traditionnelles, à front ouvert côté lac alors que, côté Vallard, un tunnelier à front pressurisé est préconisé. Un tracé profond avec au moins deux diamètres de couverture est recommandé, ceci pour limiter les risques de désordres en surface et éviter les constructions actuelles et futures, notamment le CEVA et MICA.

Sous le coteau de Choulex, les tunnels traverseront la molasse grise à gypse dans laquelle on peut envisager une méthode d'excavation à front ouvert, mais qui nécessitera la mise en œuvre de bétons spéciaux (risques d'eaux séléniteuses).

La jonction de Puplinge se situe dans la plaine de la Seymaz qui est ici recouverte par des sables et des graviers de retrait, dans laquelle circule la nappe de Puplinge, puis des dépôts limono-argileux non consolidés.

Dans ces conditions, une tranchée ouverte est préconisée, réalisée à l'abri d'un blindage vertical étayé étanche, fiché sous le fond de fouille.

Le passage dans la nappe de Puplinge nécessitera des mesures adéquates pour éviter l'effet de barrage qu'engendre un blindage étanche.

Pour la réalisation de la jonction de Rouelbeau, située essentiellement dans une moraine de bonne qualité, une tranchée ouverte est également préconisée en raison de la présence d'une nappe en charge pouvant provoquer une rupture de fond.

A proximité de cette jonction, l'emprise du tracé se trouvera éventuellement confrontée à la présence d'une ancienne petite décharge sauvage dont le degré de pollution est mal connu.

La campagne de sondages a permis d'établir un profil géologique et géotechnique nettement plus détaillé que lors des études préliminaires basées sur les forages existants souvent trop courts ou mal placés. Au stade du projet d'exécution, il conviendra toutefois de prévoir une importante campagne de sondages de reconnaissance, confirmant ou complétant les informations récoltées.

8.5. PROFIL EN LONG GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE SUR LE TRACE PROPOSE

Le profil en long géologique de la page suivante résume les informations de:

- Géométrie
- Géologie
- Hydrogéologie
- Techniques constructives recommandées
- Appréciation des risques
- Points particuliers
- Risques de présence de gaz dans les sols (méthane)
- Classes de sol pour les calculs sismiques

Légende du profil en long concernant la classification des sols genevois

PRINCIPE DE NUMEROTATION

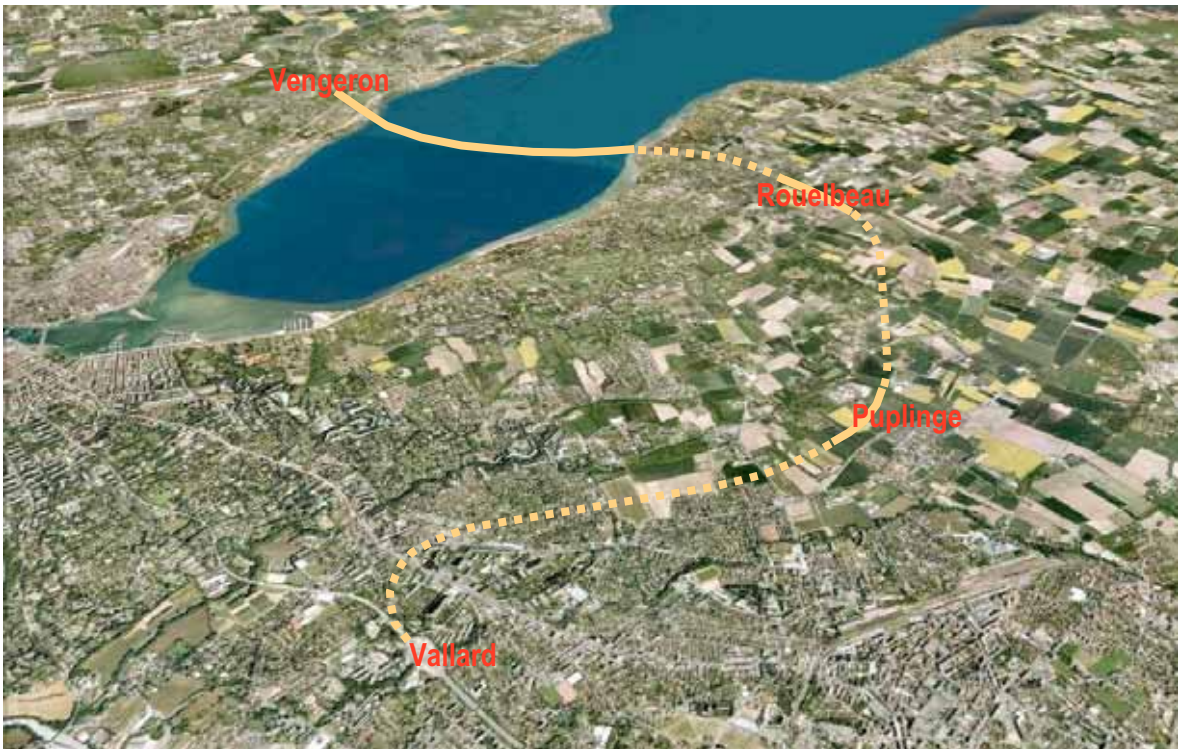
Npx,y	N	N° de la formation		
	p	Phases :	a	graveleuse
			b	sableuse
			c	limoneuse
			d	limono-argileuse
			e	argileuse
			f	crayeuse
	x	compacité et consistance : 1-2	1	élevée dure à très dure
			moyenne	ferme
			2	faible tendre à molle
	y	phase	3	altérée

		Terrains récents
1		Terrains de couverture, sols actuels (remblais)
2		Remblais
		Terrains holocènes
3		Eboulis, formations de pente, colluvions, limon de ruissellement
4		Alluvions de terrasses
5		Dépôts ou vases lacustres, tourbe, craie lacustre
		Terrains glaciaires würmiens
6		Formations supraglaciaires de retrait
7		Moraine à cailloux et blocaux alpins
8		Dépôts intramorainiques ou intraformationnels
9		Caillioutis morainiques profonds ou "Alluvion ancienne"
		Terrains attribués à l'interglaciaire Riss-Würm
10		Interglacaire
		Terrains glaciaires attribués au Riss
11		Formations de retrait
12		Moraine à cailloux et blocaux alpins
13		Dépôts intramorainiques ou intraformationnels
		Substratum rocheux molassique
14		Complexe de la molasse grise du Chattien supérieur
14/3		Terres molassiques
14-3		Molasse altérée

9. ELEMENTS ET DIRECTIVES TECHNIQUES DU TRACÉ, PROFIL EN LONG, JONCTIONS ET COORDINATION DE L'ENSEMBLE

9.1. Description générale du projet

Le tracé retenu et étudié est celui de la variante 1 du rapport "Chap. 5 ETUDE PRELIMINAIRE DE CIRCULATION ET DE TRAFIC"



L'origine du projet, km 0,000 a été fixée à la frontière franco-suisse de la jonction de Vallard

L'aménagement se termine au raccordement sur l'autoroute A1 au Vengeron (km 14,200)

La longueur totale de l'aménagement varie selon les variantes de tracés de 14.18 à 14.50 kilomètres.

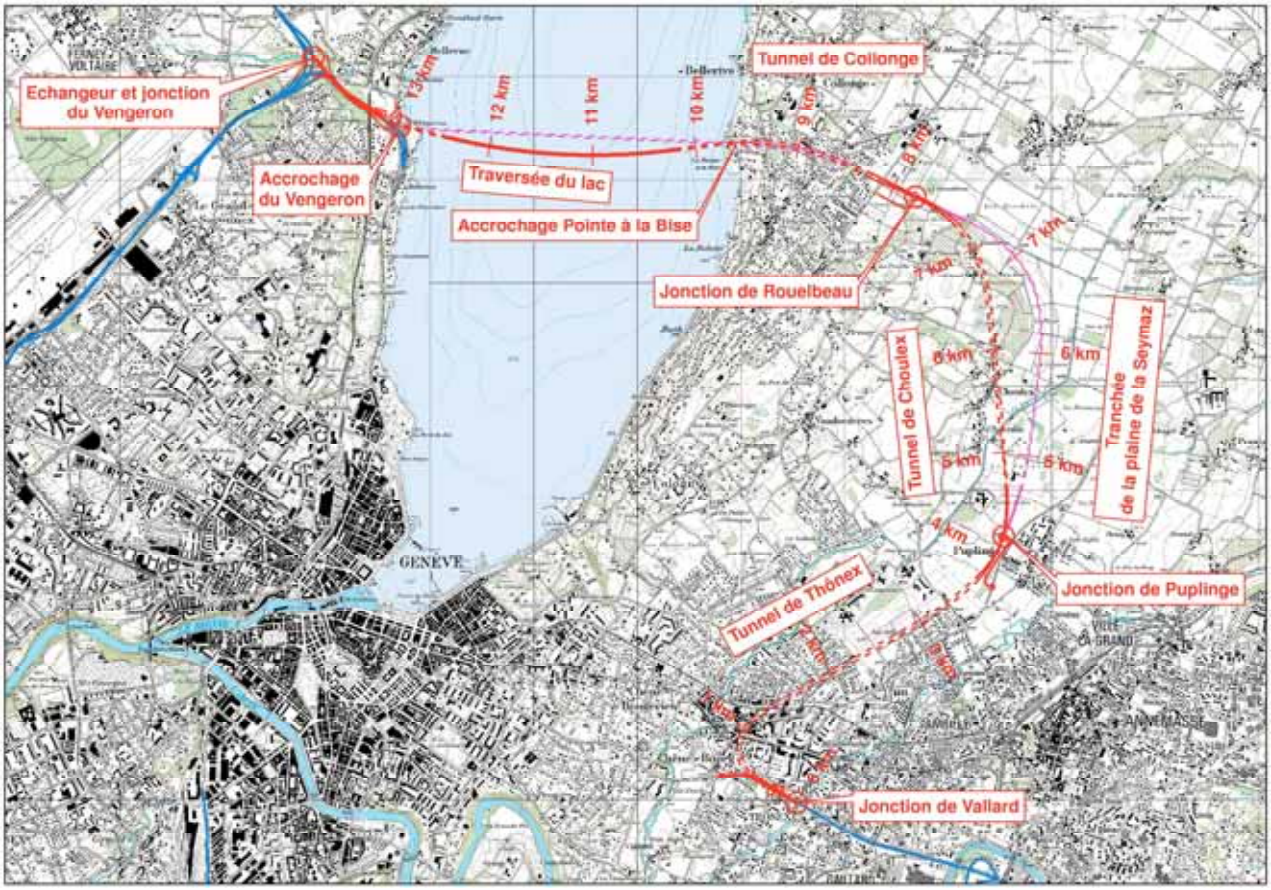
9.1.1. Tracés étudiés

Trois tracés ont été étudiés. Les variantes concernent d'une part la liaison entre les jonctions de Puplinge et de Rouelbeau, l'une par le tunnel de Choulex et l'autre par la tranchée couverte de la Plaine de la Seymaz et d'autre part la traversée du lac par un pont haubané ou par un tunnel immergé.

Les noms des tronçons ainsi que leurs caractéristiques sont précisés sur la figure ci-après. Cette classification est reprise dans la numérotation des plans, des programmes des travaux et de l'estimation générale.

Numérotation des tronçons :

Jonction de Vallard TL-10
Tunnel de Thônex TL-11
Jonction de Puplinge TL-12
Tunnel de Choulex TL-13.0
Tranchée de la plaine de la Seymaz TL-13.1
Jonction de Rouelbeau TL-14.0
Tunnel de Collonge + tunnel immergé TL-16.0
Tunnel de Collonge TL-16.1
Pont haubané TL-17
Echangeur et jonction du Vengeron TL-18



Situation générale des tronçons

Les caractéristiques de ces aménagements figurent dans les tableaux ci-dessous.
Les points de référence (PR) correspondent aux points métriques (en mètre).

Tableau 1 : Tracé de base (tunnel de Choulex + pont haubané)

Tronçon		PR	PR	Longueur	
10.0	Jonction de Vallard	0.0	400.0	400.0	
11.0	Tunnel de Thônex	400.0	3'700.0	3'300.0	Tunnel foré 2x2 voies
12.0	Jonction de Puplinge	3'700.0	4'620.0	920.0	
13.0	Tunnel de Choulex	4'620.0	7'350.0	2'730.0	Tunnel foré 2x2 voies
14.0	Jonction de Rouelbeau	7'350.0	8'084.0	734.0	
16.1	Tunnel de Collonge	8'084.0	9'730.0	1'646.0	Tunnel foré 2x2 voies
17.0	Pont haubanné	9'730.0	12'720.0	2'990.0	Pont haubanné, 7 travées
18.0	Jonction, échangeur du Vengeron	12'720.0	14'200.0	1'480.0	
	Longueur totale			**14'200.0**	

Tableau 2 : Variante de tracé 1 (tunnel de Choulex + tunnel de Collonge + tunnel immergé)

Tronçon		PR	PR	Longueur	
10.0	Jonction de Vallard	0.0	400.0	400.0	
11.0	Tunnel de Thônex	400.0	3'700.0	3'300.0	Tunnel foré 2x2 voies
12.0	Jonction de Puplinge	3'700.0	4'620.0	920.0	
13.0	Tunnel de Choulex	4'620.0	7'350.0	2'730.0	Tunnel foré 2x2 voies
14.0	Jonction de Rouelbeau	7'350.0	8'084.0	734.0	
16.0	Tunnel de Collonge	8'084.0	9'730.0	1'646.0	Tunnel foré 2x2 voies
16.0	Tunnel immergé	9'730.0	12'810.0	3'080.0	Tunnel immergé 2x2 voies
18.0	Jonction, échangeur du Vengeron	12'810.0	14'180.0	1'370.0	
	Longueur totale			**14'180.0**	

Tableau 3 : Variante de tracé (tranchée de la Plaine de la Seymaz + pont haubané)

Tronçon		PR	PR	Longueur	
10.0	Jonction de Vallard	0.0	400.0	400.0	
11.0	Tunnel de Thônex	400.0	3'700.0	3'300.0	Tunnel 2x2 voies
12.0	Jonction de Puplinge	3'700.0	4'650.0	950.0	
13.0	Tranchée de la Plaine de la Seymaz	4'650.0	7'600.0	2'950.0	Tranchée couverte
14.0	Jonction de Rouelbeau	7'600.0	8'630.0	1'030.0	
16.1	Tunnel de Collonge	8'630.0	10'070.0	1'440.0	Tunnel 2x2 voies
16.0	Pont haubanné	10'070.0	13'020.0	2'950.0	Pont haubanné, 7 travées
18.0	Jonction, échangeur du Vengeron	13'020.0	14'500.0	1'480.0	
	Longueur totale			**14'500.0**	

9.2. Bases de calcul des éléments routiers

- Normes VSS
- Directives de l'Office fédéral des routes

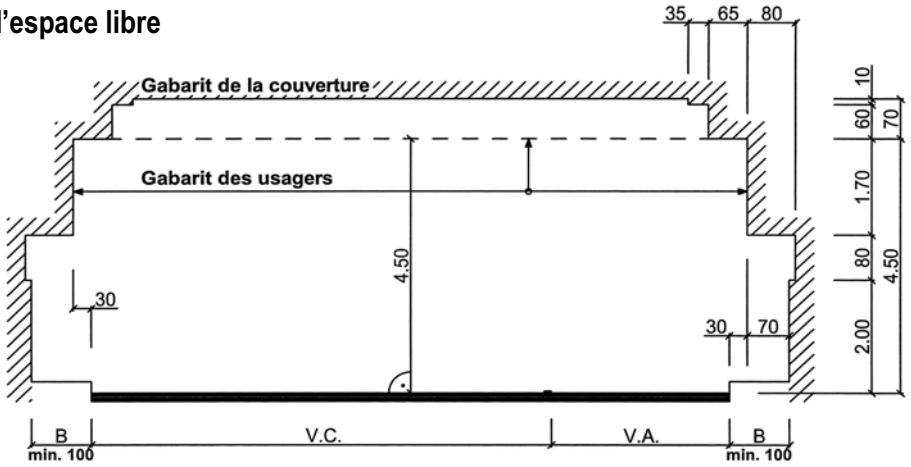
L'étude de circulation pourrait conduire à un redimensionnement de certaines voies de circulation.

9.2.1. Gabarits routiers

Les gabarits autoroutiers minimums des tronçons à ciel ouvert, en tunnel, en tranchée ouverte et sur les ouvrages d'art sont définis dans la norme VSS 640200 et la directive de l'OFROU (Edition 1.01.2002).

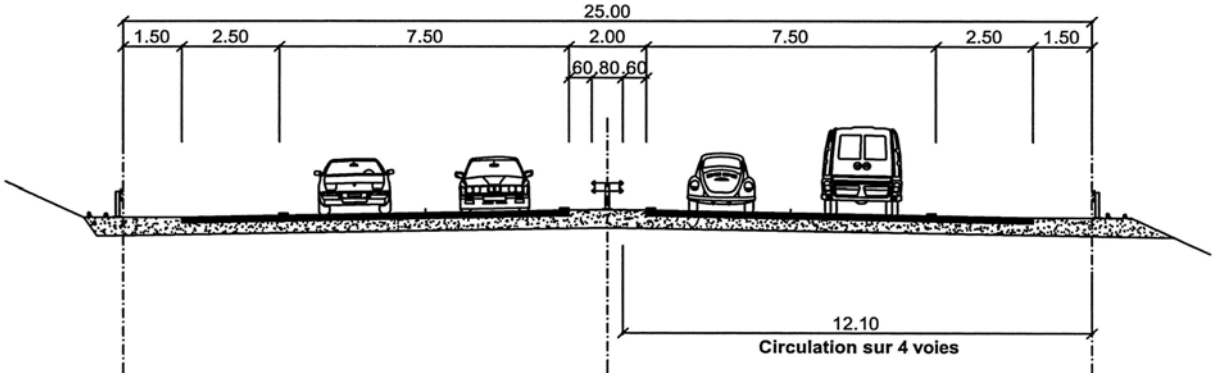
Pour cette étude les profils minimum suivants ont été pris en compte :

Gabarits d'espace libre

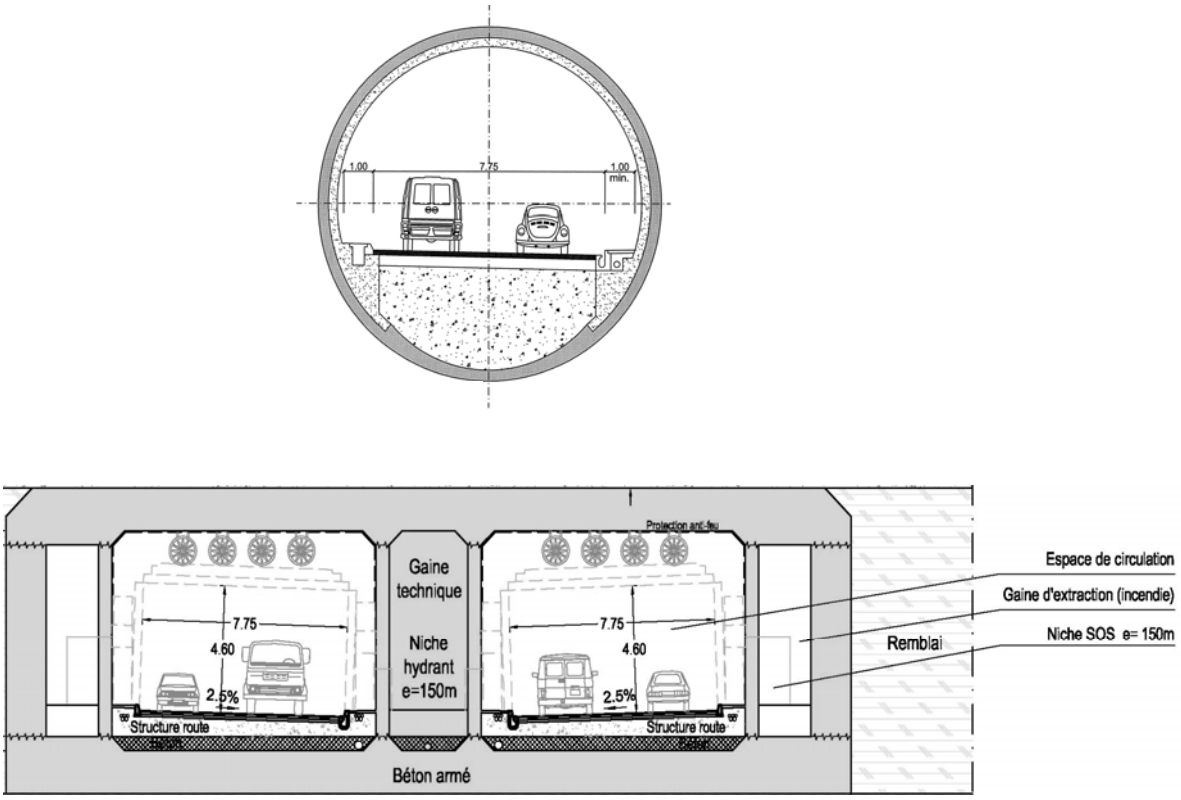


Tronçons à ciel ouvert :

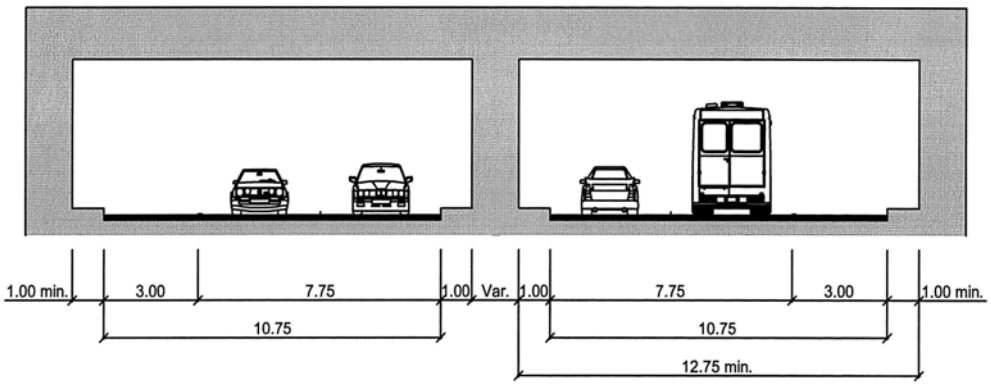
Route nationale à 4 voies - Profil réduit



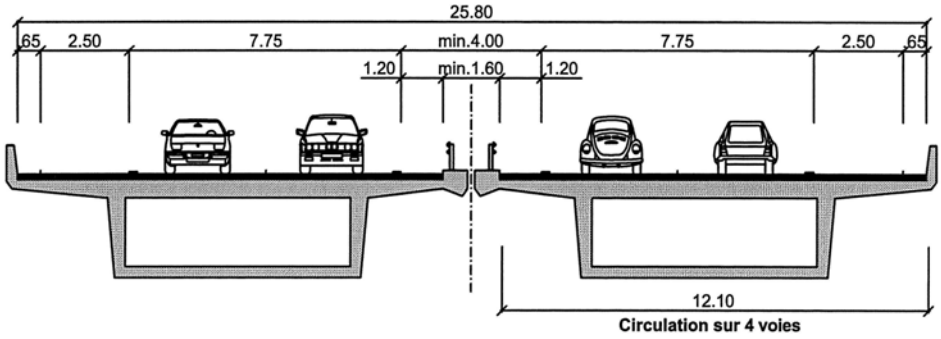
Tunnel foré et tunnel immergé



Tranchée couverte



Pont à 4 voies – Profil réduit



9.2.2. Vitesse

Les éléments géométriques du tracé ont été déterminés pour une vitesse de projet de 100 km/h.

La vitesse de base du projet est 80 km/h, selon la norme VSS 640080b chap. B.

Type de route	Vitesse de base V_A [km/h] Situation par rapport à la zone bâtie	
	en zone	hors zone
Routes à grand débit (RGD)	**60 - 100**	**80 - 120**
Routes principales (RP)	40 - 60	60 - 80
Routes de liaison (RL)	40 - 60	50 - 80

La **vitesse de base** permet de définir :

- Les valeurs minimales des rayons en situation. ($\mathbf{R_{min}}$).
- Les valeurs maximales des pentes ($\mathbf{i_{max}}$).
- Les distances minimales de visibilité. ($\mathbf{D_{v\ min}}$).
- Les longueurs minimales ($\mathbf{L_{min}}$) et maximales ($\mathbf{L_{max}}$) en alignement.

La **vitesse de projet** permet de définir :

- Les valeurs minimales des rayons en profil en long ($\mathbf{R_{v\ min}}$).
- Les valeurs minimales des clothoïdes ($\mathbf{A_{min}}$).
- Les distances de visibilités ($\mathbf{D_v}$).
- Les valeurs minimales des pentes ($\mathbf{i_{min}}$).
-

9.2.3. Dévers

Le projet comporte plusieurs dévers. En alignement la pente transversale est de 3%, en courbe, elle peut atteindre 7%. Dans les tunnels le dévers en courbe peut être diminué jusqu'à 4%.

Cette diminution sera prise en compte pour le calcul de la vitesse de projet.

9.3. Caractéristiques des tracés

9.3.1. Situation

La valeur des rayons minimum du tracé en situation dépend de la pente transversale de la route et de la vitesse de base. (VSS 640100a).

Elle permet une vitesse de projet de 100 km/h sauf dans le tunnel de Thônex où la distance de visibilité n'est pas respectée en raison du rayon du virage (350 m). La vitesse de projet est réduite à environ 80 km/h.

Les rayons sont raccordés aux alignements par des clothoïdes.

Toutes les données précises du tracé, soit, tronçons, valeurs géométriques, longueurs, dévers, etc. sont données dans le rapport complet de l'élaboration technique du tracé.

Ces indications sont données pour :
- Jonction de Vallard – Jonction de Puplinge
- Jonction de Puplinge - Vengeron
- Jonction échangeur du Vengeron

9.3.2. Profil en long

Les valeurs des éléments du profil en long sont définies dans la norme VSS 640110.

La vitesse de base donne les pentes maximales.

Vitesse de base (km/h)	40	60	80	100	120
Déclivité maximale	12%	10%	8%	6%	4%

La pente maximale du projet est de 6% (atterrissage du pont sur les rives droite et gauche). Sur le reste du tracé, la pente maximum est de 5%. Elle n'a pas d'influence sur la vitesse de projet des véhicules légers. En revanche, elle conduit, en fonction de la longueur du tronçon à une réduction de la vitesse des poids lourds (VSS 640138b).

Tunnel de Collonge

Longueur du tronçon : 932 m. pente : 4.5%.

La vitesse de projet des PL est réduite à **60 km/h.** (Voir tableau ci-dessous)

Echangeur du Vengeron

Longueur du tronçon : 316 m. pente : 6%.

La vitesse de projet des PL est réduite à **68 km/h.** (Voir tableau ci-dessous)

La vitesse minimum admise pour les PL est de **55 km/h.** sans nécessité de prévoir une voie addditionnelle.

Les valeurs minimum des rayons verticaux, convexes et concaves, sont définies par la vitesse de projet. Dans notre cas, ils sont toujours égaux ou supérieurs aux valeurs définies dans le tableau ci-dessous.

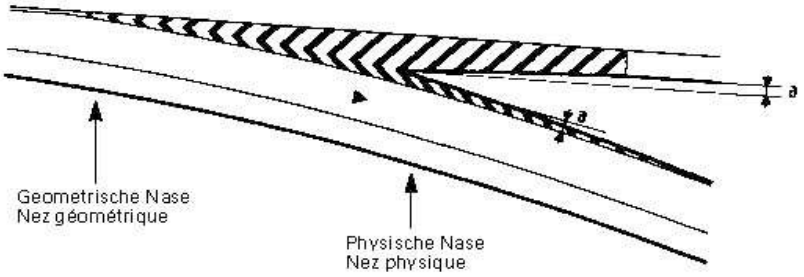
Vitesse de projet (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	≥110
Valeurs recommandées (m)								
Raccordement convexe	1500	2100	3000	4200	6000	8500	**12500**	20000
Raccordement concave	800	1200	1600	2500	3500	4500	**6000**	8000

9.3.3. Jonctions

Les caractéristiques des voies d'entrée et de sortie de l'autoroute sont définies dans la norme VSS 640261.

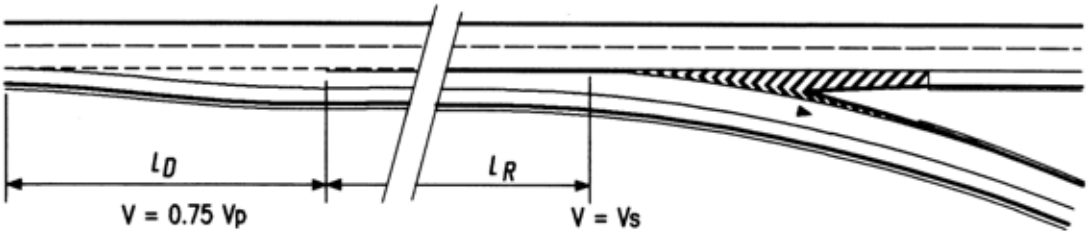
La largeur des voies d'insertion et de sortie ne doit pas être inférieure à 3.0 m et doit permettre d'atteindre la vitesse de $0.75*V_p$

La distance entre le nez physique et le nez géométrique sera comprise entre 50 à 100 m.



Voies de décélération

Elles se composent de deux tronçons successifs : zone de déboitement (L_D)
zone de ralentissement (L_R)



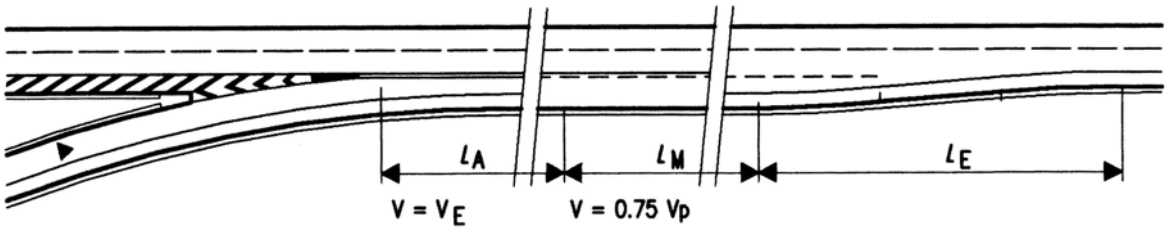
Vitesse de projet V_p	60	80	100	120
Zone de déboitement L_D (m)	40	60	75	90

La zone de ralentissement L_R se calcule selon la formule de la norme VSS, en fonction de la vitesse de projet (V_p), de la vitesse de sortie de la zone (V_s) de la déclivité de la chaussée i (%) et d'une décélération (a) comprise en 1.5 et 2.0 m/s^2.

V_p = 100 km/h	V_s= 40 km/h	i = 0.5 %	a = 2 m/s2	LD = 75 m	LR = 75**L = 150 m**
V_p = 80 km/h	V_s= 40 km/h	i = 0.5 %	a = 2 m/s2	LD = 60 m	LR = 38**L = 98 m**

Voies d'accélération

Elles sont constituées de trois zones : zone d'accélération (L_A)
zone de manœuvre (L_M)
zone d'insertion (L_E)



La zone d'accélération L_A se calcule selon la formule de la VSS, en fonction de la vitesse de projet (V_p), de la vitesse d'entrée (V_e), de la déclivité de la chaussée i (%), et d'une accélération (a) de 1.0 m/s^2.

Pour des vitesses de projet V_p > 80 km/h, **L = 300 m au maximum**

La zone de manœuvre (L_M) est égale à 150m. Cependant celle-ci peut être réduite à 50 m dans des zones de faible vitesse ($V_p \leq 80$ km/h).

La zone d'insertion (L_E) dépend de la vitesse de projet V_p.

- Pour V_p > 80 km/h ➔ L_E = 75m
- Pour $V_p \leq$ 80 km/h ➔ L_E = 50m

V_p = 100 km/h	V_s= 40 km/h	i= 0.5 %	a= 1 m/s2	L_E=75 m	L_M= 150 m	L_A= 147	**L = 300 m max**
V_p = 80 km/h	V_s= 40 km/h	i= 0.5 %	a= 1 m/s2	L_E=50 m	L_M= 150 m	L_A= 38	**L = 238 m**

Remarque : Pour l'ensemble du projet, les zones de déboitement L_D et d'insertion L_E sont toujours situées à l'extérieur des ouvrages enterrés. La réduction de la vitesse de projet conduirait à une diminution de la longueur des zones de ralentissement et d'accélération et par conséquent à une réduction de la longueur des tranchées ouvertes des jonctions.

9.4. Description des lots

Ce chapitre décrit les éléments de chaque tronçon qui ont influencé et déterminé la coordination des ouvrages, du tracé général, du profil en long ainsi que l'élaboration des jonctions.

9.4.1. Jonction de Vallard TL-10

La jonction de Vallard raccorde le réseau autoroutier suisse sur le réseau français (A411) à la plateforme douanière. La frontière franco-suisse est le km 0 du tracé.

Elle est située dans une zone fortement urbanisée et les surfaces disponibles du domaine public sont limitées. De plus un important réseau routier local converge vers ce secteur. Toutes ces liaisons ont été maintenues avec la route Blanche, l'avenue de Thônex et l'avenue Adrien-Jeandin.

Après le pont de l'avenue de Thônex, qui doit être reconstruit, l'autoroute plonge dans le tunnel. Les bretelles latérales à l'autoroute sont raccordées à la route Blanche par l'intermédiaire de passages dénivelés. Les usagers provenant du giratoire de l'avenue de Thônex peuvent rejoindre l'autoroute (direction Suisse) par une boucle prévue sous la plateforme douanière. L'accès direction France est assuré depuis le carrefour sur l'avenue de Thônex, au sud de l'autoroute.

Les usagers provenant de France ont la possibilité d'entrer sur l'autoroute ou de rejoindre le réseau local.

Solution retenue

Variante étudiée
Les usagers provenant du giratoire de l'avenue de Thônex peuvent rejoindre l'autoroute (direction Suisse) par une boucle située avant la plateforme douanière.

Une bretelle depuis l'intérieur du tunnel permet la liaison avec la route de Malagnou

9.4.2. Tunnel de Thônex TL-11 (Etude technique de faisabilité Chap. 10)

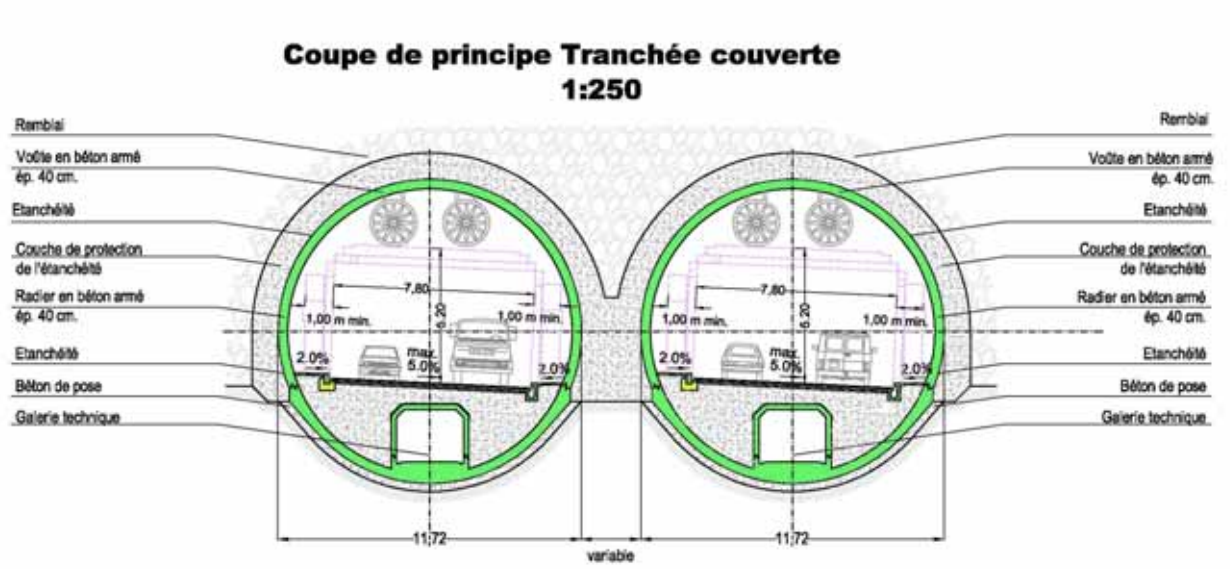
Le tunnel de Thônex a une longueur de 3'125 mètres. Il est précédé, côté Vallard, par une tranchée couverte de 205 m. de 5% de pente. Côté Puplinge la tranchée est de 40 m. avec une pente de 4.6%.

Il est constitué de deux tubes forés à l'aide d'un tunnelier de 12.35 m de diamètre extérieur. Les gabarits routiers respectent les directives de l'OFROU, chaque tube comprend 2 voies (7.75 m) et 2 banquettes de 1 m minimum.

Afin de respecter la distance de visibilité, la courbe de rayon 350 m. réduit la vitesse de projet à 80 km/h. Cette réduction n'est pas pénalisante compte tenu de la proximité de la douane de Vallard.

La pente longitudinale de 0.6 %.

Les deux centrales de ventilation sont disposées au-dessus de ces tranchées nord et sud.



9.4.3. Jonction de Puplinge TL-12

La jonction de Puplinge relie les tunnels de Thônex et de Choulex. Elle permet les accès et les sorties de l'autoroute par l'intermédiaire d'un giratoire sur la route de Jussy.

Elle est située à l'ouest de la route de Puplinge, en face du village et s'insère entre les routes de Jussy et de Mon-Idée.

Entre les portails des tunnels, l'ouvrage est constitué essentiellement d'une tranchée ouverte. Un giratoire au-dessus de l'autoroute distribue les véhicules dans les différentes directions. La liaison avec le réseau routier cantonal (giratoire de la route de Jussy) se fait par une bretelle partiellement enterrée.

La profondeur importante est due à la proximité des fronts d'attaque des tunnels de Thônex et de Choulex qui nécessite une couverture minimum sur calotte d'environ 7m et du rayon vertical minimum imposé par la norme VSS.

La vitesse de projet admise pour le calcul de la longueur d'insertion (déterminante) est de Vp=100 km/h. Une réduction de la vitesse à 80 km/h conduirait à une diminution de la longueur d'environ 50 m.

Cet ouvrage est situé dans une zone de danger résiduel d'inondation, des digues de 50 cm de hauteur sont prévues sur le pourtour de la tranchée. L'écoulement de la nappe de Puplinge en direction de la Seymaz est

assuré par une couche perméable sur les trois ouvrages qui enjambent l'autoroute. Ces ouvrages sont également destinés au passage des usagers et de la faune environnante.

Afin de limiter les emprises de terrain, il est prévu de réaliser des parois moulées verticales étanches étayées par des butons.

La jonction est implantée entièrement en zone agricole, elle est limitée :
- à l'est par les zones 4B et 4B protégée du village de Puplinge
- à l'ouest par la zone de développement de la Prison de Champ-Dollon
- au sud par la zone de développement 3 des Communaux d'Ambilly (MICA)

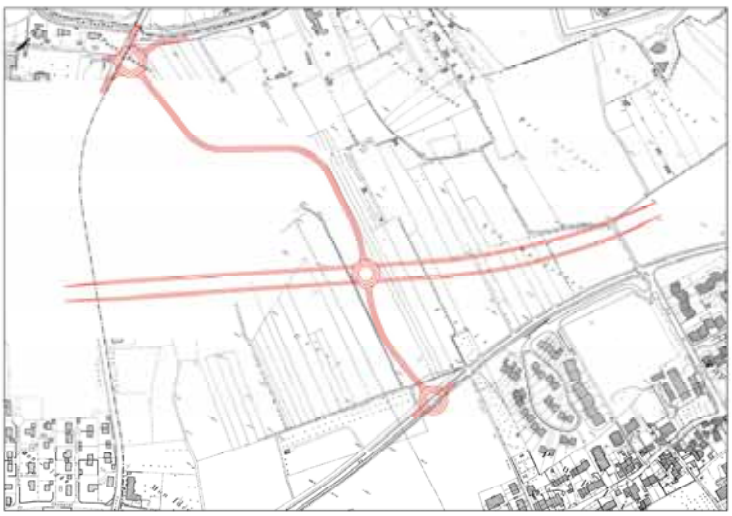
Tracé dans la zone MICA
Dans cette zone de développement, il est prévu d'installer des champs de sondes géothermiques d'une profondeur de 100 m environ. Ces futures installations ont déterminé la profondeur du tunnel de Vallard. De plus l'extension de la zone MICA au nord de la route de Mon-Idée a repoussé la jonction en face du village de Puplinge.

Solution retenue

Raccordement sur la route de Jussy au sud du village de Puplinge
Couverture partielle des voies d'accès.
Emprise de terrain réduite

Variante 1
Tracé en dehors de la zone MICA
Raccordement depuis la route de Mon Idée sur un giratoire donnant accès à l'autoroute.

Tranchée ouverte proche de l'Hôpital de Gériatrie



Variante 2
Raccordements sur les routes de Jussy et de Mon-Idée.
Importantes emprises en terrain agricole.

Variante 3
Raccordement sur la route de Jussy en face du village de Puplinge.
Diminution des emprises

Variante 4
Raccordement sur la route de Jussy au carrefour de la route des Brolliers.

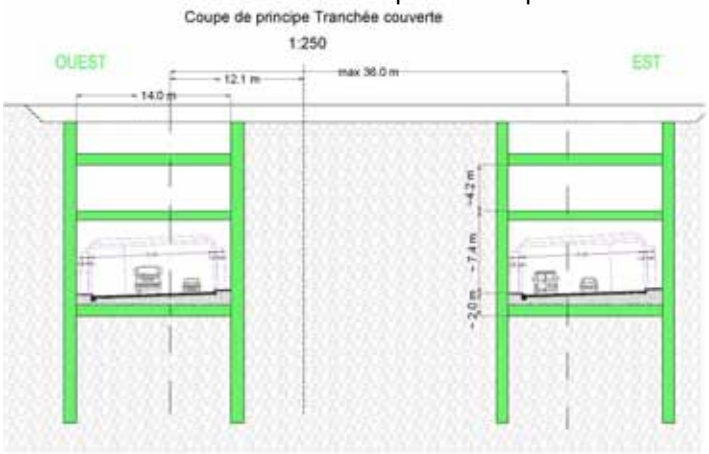
9.4.4. Tunnel de Choulex LT-13.0 (Etude technique de faisabilité Chap. 11)

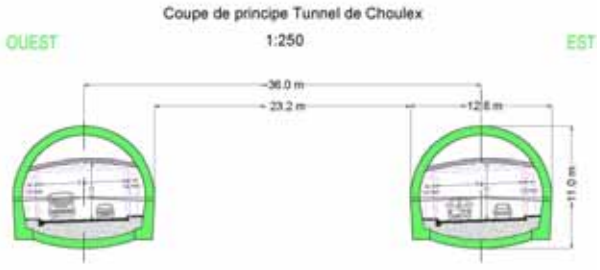
Le tunnel de Choulex a une longueur de 3'200 mètres. Il est constitué de deux tubes excavés pleine section à l'abri de voûtes parapluie. Les gabarits routiers respectent les directives de l'OFROU, 2 x 2 voies de 3.75 m et 2 banquettes de 1.0 m minimum.

Il est précédé, côté Puplinge, par une tranchée couverte de 730 m. de 0.7% de pente. Elle est constituée de trois parois moulées et de dalles bétonnées sur terre. Au franchissement de la Seymaz, le cours d'eau sera canalisé et l'ouvrage sera excavé à l'abri d'un système de voûte parapluie.

Au droit de la route de Meinier, la profondeur est suffisante pour envisager un travail en tunnel. Côté Rouelbeau la tranchée est de 40 m. avec une pente de 4.6%.

La centrale de ventilation est implantée au portail Rouelbeau.





9.4.5. Tranchée de la Plaine de la Seymaz TL-13.1 (Etude technique de faisabilité Chap. 12)

La tranchée couverte de la plaine de la Seymaz est une alternative au tunnel de Choulex. Elle est située dans la zone de la nappe de Puplinge.

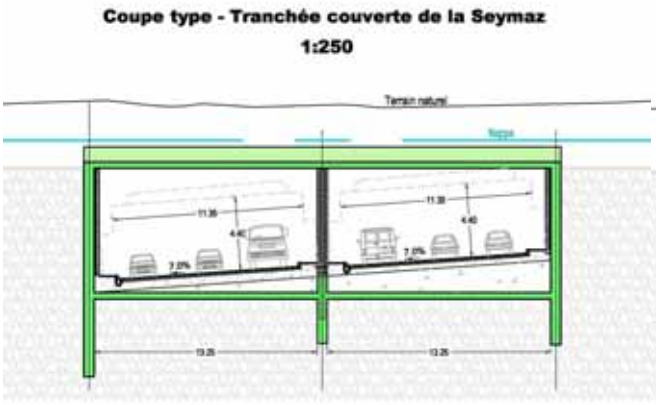
Le tranchée a une longueur de 2'950 mètres. Sa pente longitudinale varie 0.18 % à 3.56 %.

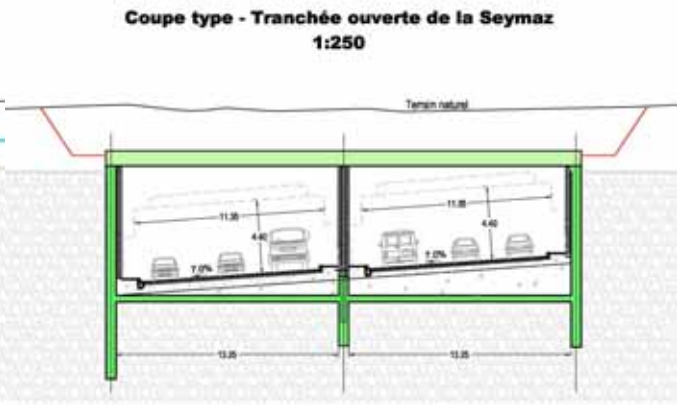
Elle comprend deux tronçons ouverts de 200 m chacun ce qui permet d'optimiser les installations de ventilation.

La section transversale comprend deux voies de circulation et une voie d'arrêt d'urgence dans chaque sens.

Chaque chaussée a ainsi une largeur de 10.75 m. Elle est bordée par deux banquettes de 1.0 m.

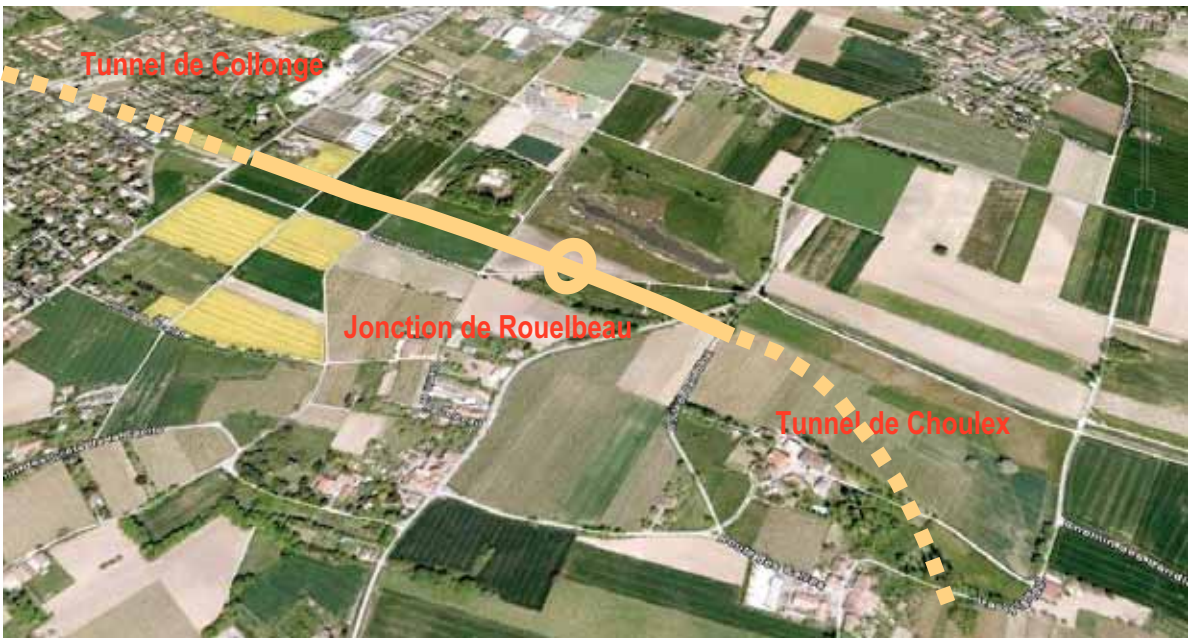
La structure porteuse est constituée de parois moulées, d'un radier et d'une dalle nervurée avec des sommiers précontraints. Le même principe de structure est appliqué pour les parties couvertes et non couvertes. Le profil en long permet l'écoulement de la nappe au-dessus de la dalle ce qui évite l'effet de barrage. Au PR 5'518 la tranchée passe sous la Seymaz.





La tranchée ouverte permet la ventilation naturelle de la tranchée.

9.4.6. Jonction de Rouelbeau TL-14.0



La jonction de Rouelbeau relie les tunnels de Choulex et de Collonge. Elle permet les accès et les sorties de l'autoroute depuis la route de la Capite.
Elle est située au sud du centre sportif de Collonge-Bellerive.

Entre les portails des tunnels, l'ouvrage est constitué essentiellement d'une tranchée ouverte. Un giratoire au-dessus de l'autoroute permet la distribution des véhicules dans les différentes directions. Afin de limiter les emprises en surface, la liaison avec le réseau routier cantonal (giratoire de la route de la Capite) se fait par une bretelle partiellement enterrée.

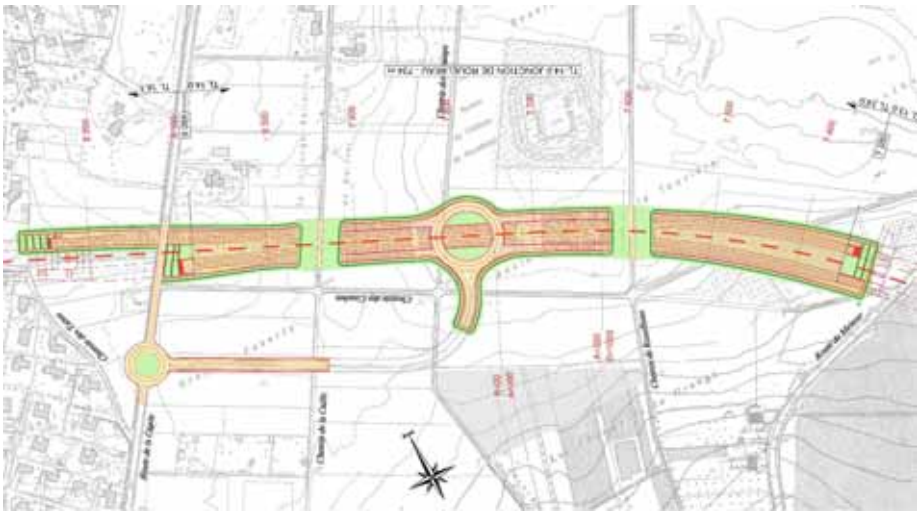
La profondeur importante provient de la proximité des fronts d'attaque des tunnels de Choulex et de Collonge qui nécessite une couverture minimum sur calotte d'environ 7m et du rayon vertical minimum imposé par la norme VSS.

La vitesse de projet admise pour le calcul de la longueur d'insertion (déterminante) est de Vp=100 km/h. Une réduction de la vitesse à 80 km/h conduirait à une diminution de la longueur d'environ 50 m.

Cet ouvrage est situé dans une zone de reproduction des batraciens et dans la zone agricole. Deux ouvrages de part et d'autre du giratoire enjambent l'autoroute. Ils sont destinés aux passages des usagers et de la faune environnante.

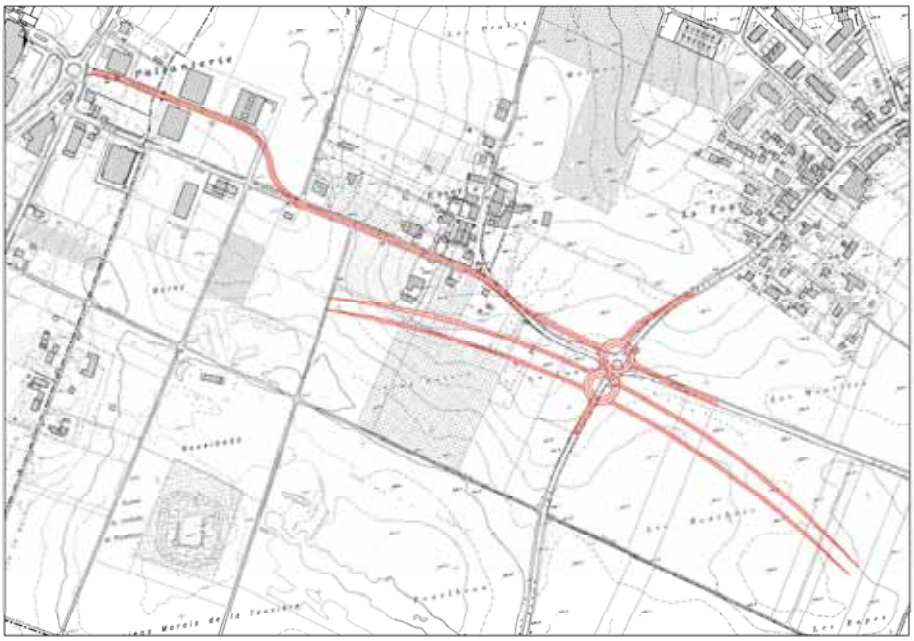
Afin de limiter les emprises de terrain, il est prévu de réaliser des parois moulées verticales étanches étayées par des buttons.

Cette jonction permet de collecter les véhicules provenant de la route de Thonon et de la route de Compois. Des aménagements routiers complémentaires devraient être envisagés pour faciliter le raccordement de la route d'Hermance. Le carrefour de la Pallanterie devra être adapté aux nouvelles conditions de circulation.



Solution retenue

Variante 1
Jonction à l'autoroute par un Giratoire sur la route de Compois entre le village de Meinier et le hameau d'Essert



Variante 2

9.4.7. Tunnel de Collonge + Tunnel sous le lac TL-16.0(Etude technique Chap. 15)

Le tronçon TL-16.0 est constitué de deux tunnels, l'un foré (tunnel de Collonge) et l'autre immergé sous le lac. Ils relient la jonction de Rouelbeau à l'échangeur du Vengeron.

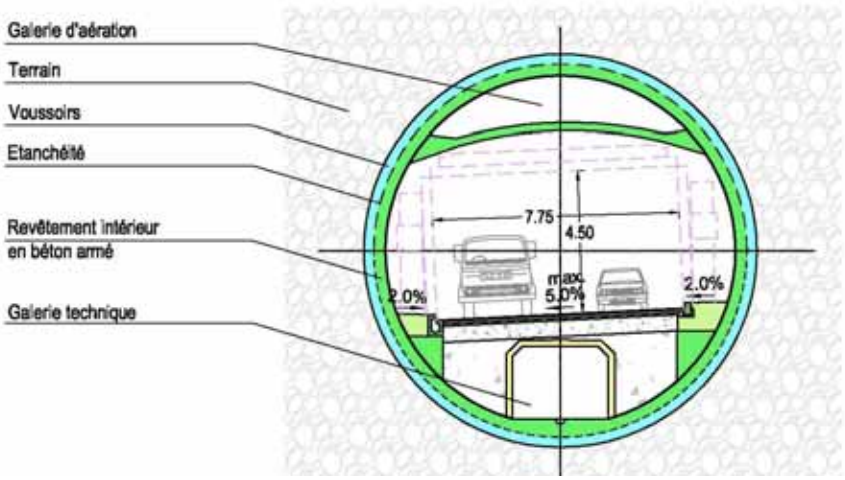
Le tunnel de Collonge a une longueur de 1'366 m. Il est constitué de deux tubes de 13.0 m de diamètre excavés pleine section à l'abri de voûtes parapluie. Les gabarits routiers respectent les directives de l'OFROU, soit : 2 voies (7.75 m) et 2 banquettes de 1.0 m minimum. La pente longitudinale est de 4.12%.

Il est précédé, côté Rouelbeau, par un portail de 146 m. sur lequel est implantée la centrale de ventilation pour l'ensemble du lot TL-16.0.

L'interface rive gauche entre le tunnel foré et le tunnel immergé est implanté sur le lac et sur la berge. La construction de cette tranchée de liaison se fait à l'intérieur d'un batardeau. Celui-ci permettra la mise en place du dernier élément du tunnel immergé.

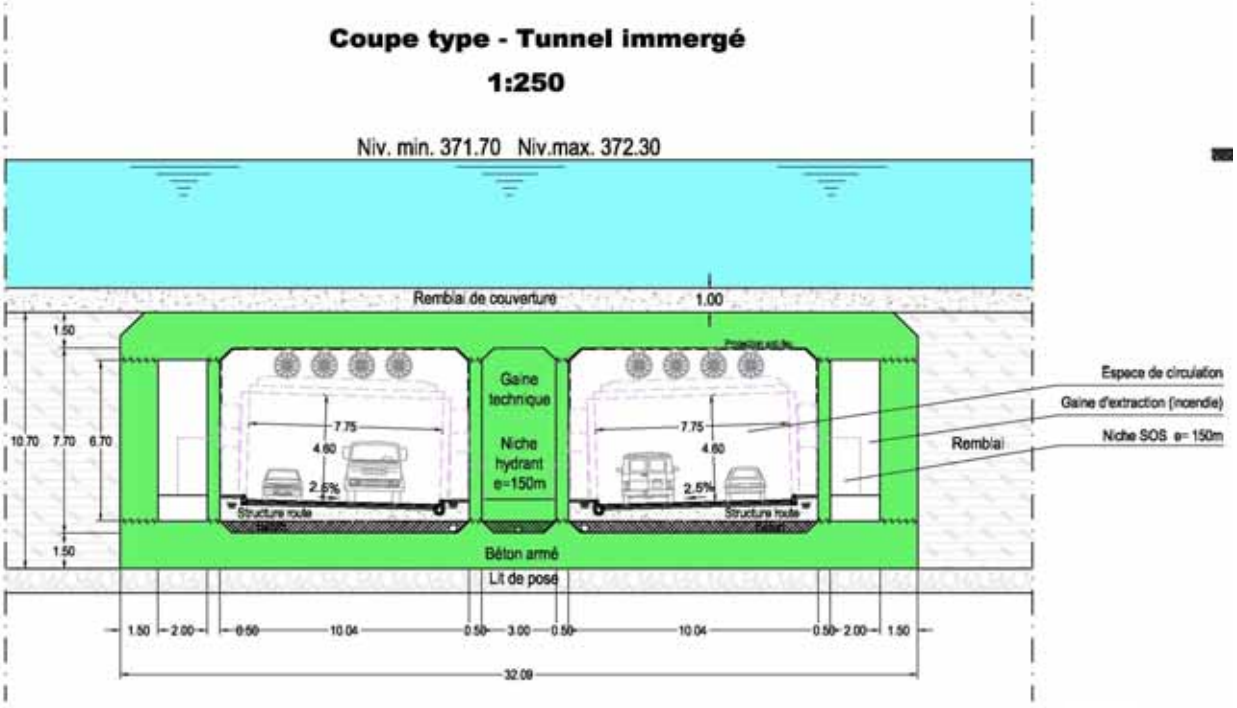
Coupe de principe Tunnel foré de Collonge

1:250



Le tunnel immergé a une longueur de 2'840 m en alignement. Posé sur le fond du lac il est constitué d'un cadre rectangulaire comprenant 4 parois médianes. La section hors tout est de 32.0 m x 10.7 m. Les gabarits routiers respectent les directives de l'OFROU, soit : 2 voies (7.75 m) et 2 banquettes de 1.0 m minimum. La pente longitudinale varie de 0.5 % à 4.12 %.

Les éléments de caissons sont préfabriqués dans une darse dont l'emplacement est à déterminer



L'accrochage rive droite entre le tunnel immergé et la tranchée couverte est implanté sur le lac et sur la berge. La construction, dans le lac, de cette tranchée de liaison se fait à l'intérieur d'un batardeau. Sur la rive le blindage de fouilles sera réalisé au moyen de parois berlinoises.

Le batardeau permettra la mise en place du premier élément du tunnel immergé.

9.4.8. Tunnel de Collonge TL-16.1 (Etude technique de faisabilité Chap. 13)

Le tunnel de Collonge relie la jonction de Rouelbeau au pont haubané en passant par La Pointe-à-la-Bise.

D'une longueur de 1361 m et d'une pente de 4.5 %, il est constitué de deux tubes à deux voies de circulation dont les gabarits respectent les directives de l'OFROU soit : largeur des voies 7.75 m + 2 banquettes de 1.0 m minimum. L'excavation des tubes sera sous la protection d'une voûte parapluie

Il est précédé côté Rouelbeau d'un portail de 165 m et côté Pointe à la Bise d'un portail de 120 m assurant la liaison avec la section en caissons noyés prévue avec les travaux du pont haubané.

Ces deux ouvrages sont réalisés en tranchée couverte.

Le portail Rouelbeau sera construit après un pré-terrassement, à l'abri de parois moulées. Une partie de l'excavation interviendra sous la dalle préalablement bétonnée sur le terrain.

Sa section rectangulaire respecte les gabarits de circulation définis sous 9.2.1

A la Pointe à la Bise, la création d'un batardeau isolera le chantier des eaux du lac et permettra la création d'une tête de pont au niveau de la rive. La tête de pont envisagée en bordure de la rive permettra, le cas échéant, d'évacuer les déblais par barge puis de procéder à un noyage des matériaux non réutilisables dans le lac (sous réserve de l'accord des autorités compétentes). Pour cette raison, il est prévu de réaliser en priorité le tube nord qui sera excavé depuis les deux extrémités afin de permettre le plus rapidement possible le transit des matériaux provenant des autres lots. Les programmes des travaux ont été établis dans ce sens.

Ce chantier est situé à l'emplacement de la zone de camping actuelle.

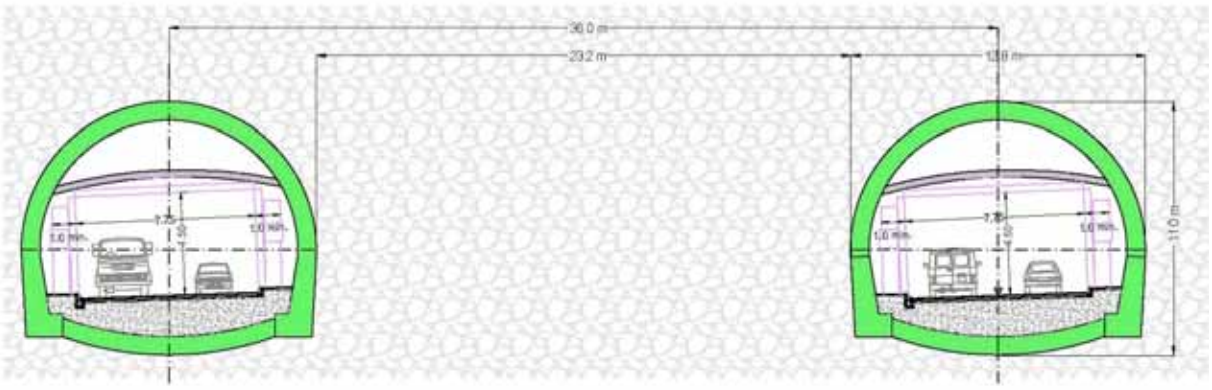
Le portail de Pointe à la Bise sera construit après un pré-terrassement à l'abri de parois moulées. Une partie de l'excavation interviendra sous les dalles préalablement bétonnées sur le terrain.

Sa section rectangulaire respecte les gabarits de circulation définis sous 9.2.1.

La centrale est prévue sur le portail Rouelbeau.

Coupe de principe Tunnel de Collonge

SUD **1:250** NORD



9.4.9. Pont haubané TL-17 (Etude technique de faisabilité Chap. 14)

La traversée du petit lac relie la Pointe à la Bise au Vengeron.

L'ouvrage envisagé est un pont multi-haubané comprenant six pylônes fondés sur pieux. Les portées varient de 335 m à 380 m. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les travées d'accès est de 2'260 m. La largeur du tablier permet deux voies de circulation dans chaque sens dont les gabarits respectent les directives de l'OFROU (profil réduit).

Le tracé en plan s'inscrit dans un rayon de 6000 m. Le profil en long présente une courbure dont le rayon est de 16'000 m. Il permet d'une part un tirant d'air très largement suffisant pour la navigation lacustre et d'autre part le respect du plafond aérien de sécurité de l'aéroport de Genève.

Les pentes aux accrochages rive gauche et rive droite sont de 6 %.

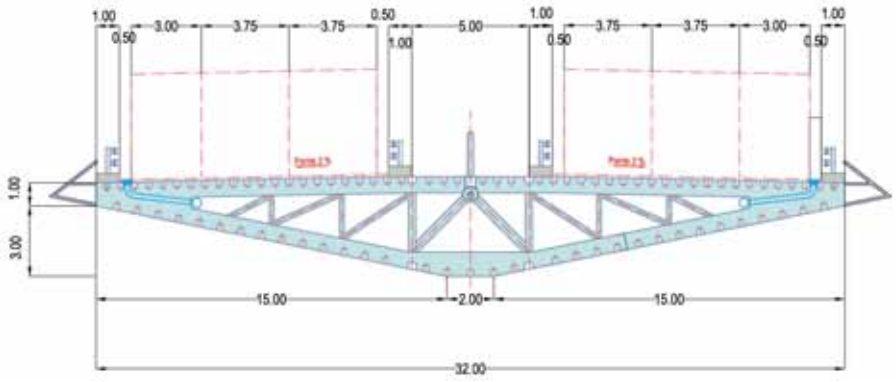
Il est prévu un tablier métallique afin d'alléger les charges sur les fondations. La suspension est centrale.

Accrochage rive gauche: la liaison entre le portail du tunnel et le viaduc est assurée par un ouvrage constitué de caissons noyés reposant sur des pieux. Près du raccordement au viaduc les caissons émergent à environ 200 m, de la rive permettant un aménagement de type île.

Accrochage rive droite: la liaison entre le viaduc et la tranchée couverte de l'échangeur du Vengeron est assurée par un ouvrage de section ouverte sur environ 140 m et fermée sur environ 120 m. Il repose sur un remblai qui forme une presqu'île devant la plage du Vengeron. Cet aménagement permet de réaliser un port de plaisance.

Coupe de principe Pont haubané courbe

1:250



9.4.10. Jonction et échangeur du Vengeron TL-18 (Etude technique de faisabilité Chap. 17)

La jonction du Vengeron relie l'ouvrage de traversée du petit lac (pont haubané ou tunnel immergé) à l'autoroute existante. Il est constitué d'une tranchée couverte de 400 m et d'un ouvrage de transition ouvert de 250 m. Ces deux ouvrages sont en courbe de rayon R=850 m. Ils se raccordent aux réseau existant par une courbe de R=1500 m. Des clothoïdes de transition relient ces deux tronçons.

La pente maximum est de 4.36 %. Le gabarit de la section rectangulaire est prévu pour 2 x 2 voies + une banquette de 1.0 m minimum.

La tranchée passe sous la route de Lausanne et sous les voies CFF.

Aux travaux du nouveau raccordement autoroutier s'ajoutent de nombreuses interventions annexes sur le réseau et des ouvrages existants, soit :
Elargissement et mise en conformité de l'autoroute actuelle
- Pont sortie Bellevue
- Pont accès P+R Bellevue
- Bretelle d'accès Bellevue
- Sortie P+R Bellevue
- Bretelle entrée Genève
- Bretelle sortie Genève
- Boucle d'accès à l'aéroport

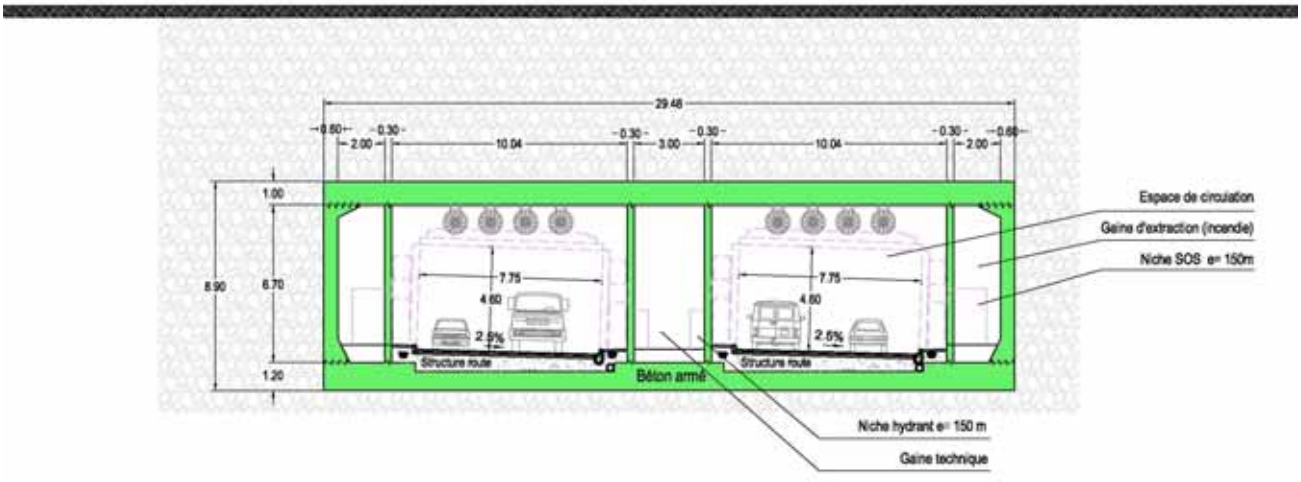
Transformation de la station de pompage des SIG

Centre d'entretien routier et d'intervention

Prolongement du pont CFF

Suppression des liaisons avec l'aéroport (route des Romelles)

Coupe type tranchée couverte côté Vengeron
1:250



10. TUNNEL DE THÔNEX

10.1. Introduction

Parmi les divers ouvrages qui constituent le projet de contournement est de Genève, il est prévu de franchir la localité de Chêne-Bourg en tunnel entre la Route Blanche et la Route de Mon-Idée. Cet ouvrage a été nommé "tunnel de Thônex".

10.2. Contexte général

10.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique

Les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques ont été définies dans la zone du projet sur la base des cartes géologiques, hydrogéologiques et des forages disponibles.

Géologie

Le tracé du projet de tunnel de Thônex dans son état actuel traverse des terrains quaternaires globalement homogènes, constitués principalement de moraines et de retrait würmien à dominance limono-argileuse à argileuse et de qualité globalement médiocre, semi à non consolidés. En subsurface, des comblements de dépressions constituées de formations würmiennes mettent localement en évidence des horizons sablo-graveleux de retrait würmien, siège de la nappe superficielle de Puplinge.

Conséquence pour le projet de tunnel :

- Les tassements dus à la redistribution des contraintes autour des deux tubes du tunnel seront d'autant plus importants que la rigidité des terrains est faible (couches moins consolidées).

Hydrogéologie

Située hors de tout secteur de protection des eaux, la nappe de Puplinge ne présente pas d'enjeux majeurs en termes de protection de la ressource en eau souterraine. Toutefois, il faudra éviter que les ouvrages situés dans cette nappe ne perturbent son écoulement ou ne provoquent un effet de barrage.

Conséquence pour le projet de tunnel :

- Les tunnels entièrement situés dans les formations très peu perméables situées sous la nappe superficielle ne provoqueront aucun effet de barrage. C'est le cas dès les portails provisoires, puisqu'il y a déjà une couverture d'au moins 7 m sur la clé de voûte et que par conséquent la section du tunnel est déjà entièrement dans les formations aquicludes. Par contre, les tranchées couvertes et les bâtiments techniques situés au-dessus couperont la couche perméable, ce qui pourrait faire barrage à l'écoulement naturel de la nappe. Le cas échéant, des mesures devront être prises pour rétablir l'écoulement (tranchées de gravier, conduites de by-pass, etc.).
- En cas de rabattement ponctuel de la nappe dans la couche saturée (phase chantier), les tassements de consolidation devraient être faibles en raison de la faible épaisseur de la couche concernée et de sa rigidité relativement élevée.

Reconnaissances complémentaires

Une campagne de reconnaissances complémentaires, complétée par des essais in-situ et en laboratoire, devra être faite pour la prochaine phase du projet, afin de préciser les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques dans l'emprise et jusqu'à la profondeur du projet.

10.2.2. Constructions existantes

Au droit du tracé du tunnel, le bâti en surface est de nature assez variée mais peut être divisé en quatre zones relativement homogènes, du sud vers le nord :

- Zone 1 : parc Floraire avec arbres anciens
- Zone 2 : immeubles locatifs ou commerciaux de 3 à 12 étages ; certains peuvent avoir jusqu'à 2 ou 3 niveaux de sous-sols et des fondations profondes sur pieux ; les structures sont de nature variée, en béton armé ou en maçonnerie
- Zone 3 : villas avec a priori jusqu'à 1 niveau de sous sol ; assez nombreuses piscines
- Zone 4 : actuellement non construite, destinée à accueillir le projet MICA

A priori, la fouille pour la tranchée couverte sud n'empiétera pas dans le parc Floraire ; par contre, la nouvelle chaussée de déviation nord de la route Blanche coupera l'angle de ce parc sur 10 à 15 m. Au droit de cette fouille, quelques petites maisons sont dans son emprise ou dans celle des chaussées déviées de la route Blanche.

10.2.3. Constructions futures

Projet MICA :
La zone actuellement non construite située au S-E de la clinique de Bel-Air et de l'hôpital de gériatrie est destinée à accueillir le projet MICA. Selon le projet actuel, il sera composé de logements disposés de part et d'autre d'un mail central de 34 m de large. Sous le mail central, il est prévu un niveau de parking en sous sol et les bâtiments de part et d'autre devraient comporter deux niveaux de sous-sol. A noter qu'il est prévu d'étendre le quartier au N-E de la route de Mon-Idée (MICA 2) sur une bande de 200 m de large par 400 m de long, avec trois niveaux possibles de sous-sol.
Le projet de tunnel de Thônex évite un forage profond existant dans la zone du projet MICA, qui sera équipé pour la géothermie. Les autres sondes géothermiques qui seront réalisées devront être placées en dehors d'une "bande" réservée pour les deux tubes du tunnel.

Projet CEVA :
Le tunnel passera plus en profondeur que le projet CEVA et il n'y a donc pas de contrainte d'un projet sur l'autre.

10.2.4. Cours d'eau

Le projet du tunnel de Thônex n'entre pas en conflit avec le tracé et l'espace minimal de cours d'eau. L'accrochage nord du tunnel, au niveau de Puplinge ainsi que la jonction sud à Vallard, se situent en zone inondable du Foron. La plus forte contrainte dans le cadre de la réalisation du projet est de sécuriser les entrées/sorties du tunnel en cas d'inondation du Foron tout en préservant la fonction d'expansion des crues des secteurs concernés.

10.2.5. Contraintes environnementales

L'étude sur la sensibilité environnementale du projet n'a pas mis en évidence de problématique particulière à même de remettre en cause la faisabilité du projet du point de vue environnemental.

En phase d'exploitation, les émissions de bruit et de polluants atmosphériques seront localisées aux portails du tunnel, ainsi que sur les routes et bretelles d'accès existantes ou projetées dans le cadre du projet. En ce qui concerne le bruit, l'accrochage sud devra faire l'objet d'une attention particulière étant donné la densité d'habitations présentes dans le secteur de Thônex Vallard.

Une attention particulière devra être portée en phase de chantier, en ce qui concerne les impacts liés aux travaux et aux transports de chantier : des mesures adéquates devront être mises en œuvre afin de minimiser les émissions de polluants atmosphériques, de poussières et de bruit en conformité avec les directives fédérales et cantonales en vigueur.
La réalisation en tunnel limitera les impacts sur le paysage, les milieux naturels et les sols au niveau des deux accrochages en surface. L'accrochage sud, en milieu péri urbain ne devrait pas avoir d'impact significatif sur ces domaines. L'accrochage nord, implanté dans la plaine agricole de la Seymaz présentant une structure bocagère, s'avère plus sensible. Des mesures adéquates devront être mises en œuvre afin de limiter les emprises au sol et les impacts du projet (intégration paysagère ; mesures de compensation).

En ce qui concerne les eaux souterraines, l'emprise du projet se situe à l'extérieur de tout aquifère présentant un intérêt pour l'alimentation en eau publique.

Du point de vue des accidents majeurs, le projet sera soumis à l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs.

La consultation des données du cadastre cantonal des sites pollués montre que le projet n'entre a priori pas en conflit avec des sites contaminés à assainir.

L'exploitation du projet n'engendrera aucun impact pour les autres domaines de l'environnement tels que : protection des forêts, protection contre les rayonnements non ionisants et organismes dangereux.

Selon les dimensions préliminaires de l'ouvrage, les volumes à terrasser sont de l'ordre de 800'000 m3. L'ensemble de ces matériaux est de médiocre qualité géotechnique, ce qui limite les possibilités de valorisation. Le concept de gestion de ces matériaux devra également intégrer les mesures adéquates à même de réduire les impacts et nuisances liées au stockage temporaire et aux transports.

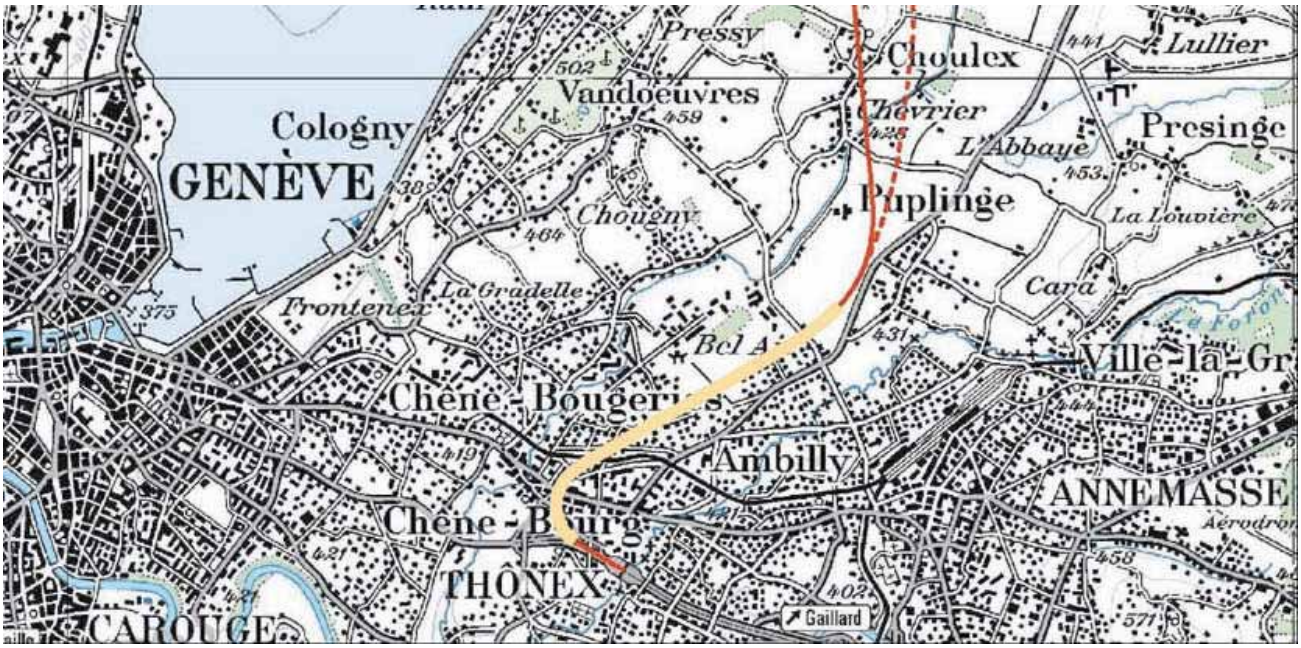
10.3. Tunnels autoroutiers

10.3.1. Données générales

La vitesse de base du nouvel évitement est de Genève est de VA = 100 km/h. Pour le tunnel de Thônex, la vitesse de projet VP = VA = 100 km/h pour la 2ème partie du tunnel, soit depuis le km 1,200 environ ; pour la première partie du tunnel, comportant une courbe marquée et située quelques centaines de mètres avant la douane de Vallard, la vitesse de projet devra être abaissée à VP = 80 km/h, voire 70 km/h, ce qui ne pose pas de problème majeur en raison de la proximité de la douane et de la nécessité de ralentir pour les véhicules.

10.3.2. Tracé en plan

Depuis la zone du portail sud du tunnel au km 0,480, le tracé tourne à droite avec un rayon de R = 350 m sur plus de 500 m de long ; puis il passe en alignement jusqu'au km 3,000 environ; la fin du tunnel, jusqu'au portail nord au km 3,700 est ensuite en courbe à gauche avec un rayon de R = 820 m.



Par rapport à la méthode retenue d'exécution des deux tubes du tunnel (tunnelier, voir au chapitre 10.4), le rayon de l'axe général du tracé en plan ne doit pas être inférieur à environ 300 m.
Pour des raisons de distance de visibilité, le rayon de R = 350 m (axe général) permet une vitesse de VP = 75 km/h. ; en agrandissant ce rayon à environ R = 410 m, la vitesse pourrait être augmentée à VP = 80 km/h.

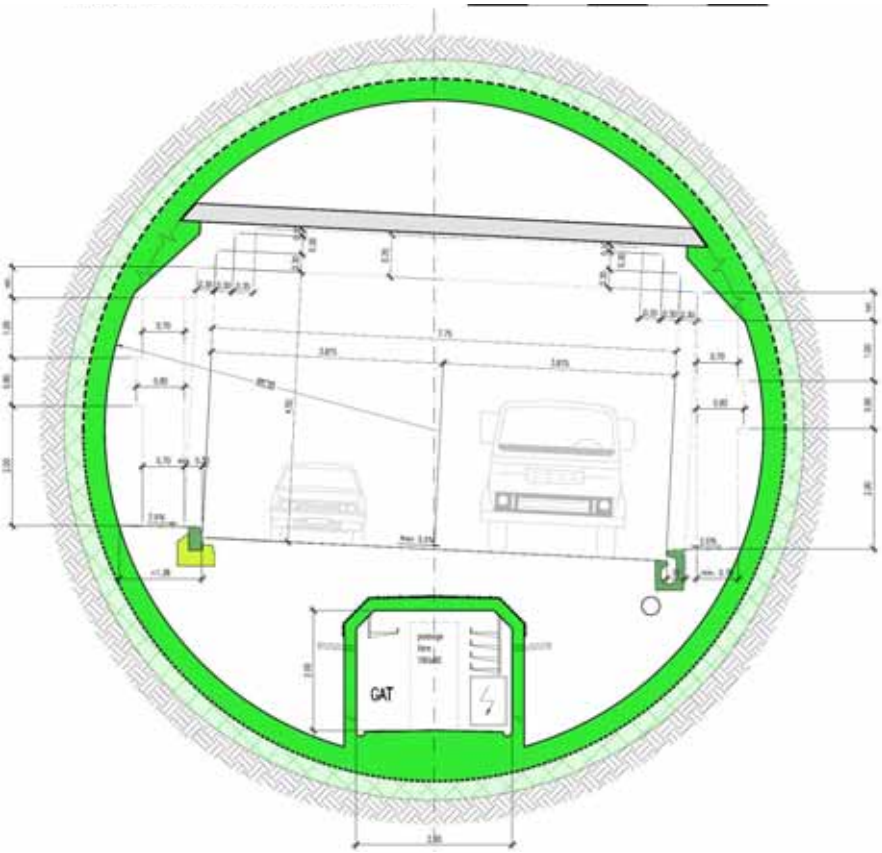
10.3.3. Profil en long

Le profil en long du tunnel est composé des éléments suivants :

- pente de 5% depuis le portail sud jusqu'au km 0,525
- rayon vertical concave de R = 6'000 m
- rampe à 0.8% jusqu'au km 3,500
- rayon vertical concave de R = 6'000 m
- rampe max. de 4% au km 3,692
- rayon vertical convexe de R = 12'500 m jusqu'au portail nord au km 3,700

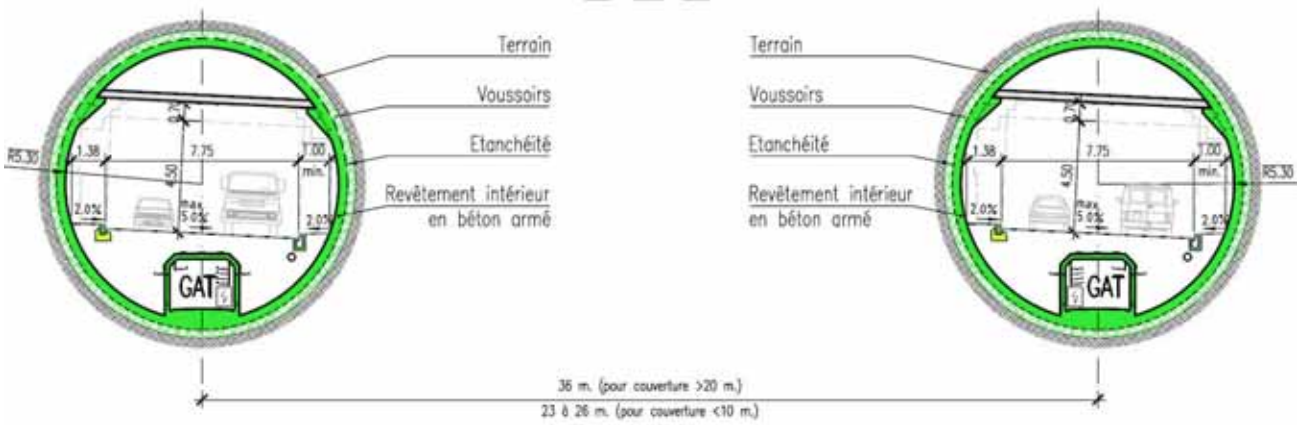
Avec ce profil en long et la position des portails provisoires, la couverture minimum est de l'ordre 7 m sur le portail provisoire sud et la couverture maximale ne dépasse pas 30 m sur la clé de voûte.
La pente maximale de 5% satisfait l'exigence de la norme SIA 197/2 par rapport aux risques d'accidents et de propagation des fumées. La pente minimale de 0.5% permet l'écoulement longitudinal de l'eau dans le caniveau fendu et le collecteur d'eau de chaussée.
Ce profil en long prend en compte le projet MICA tel que défini au moment de l'étude.

10.3.4. Profils types

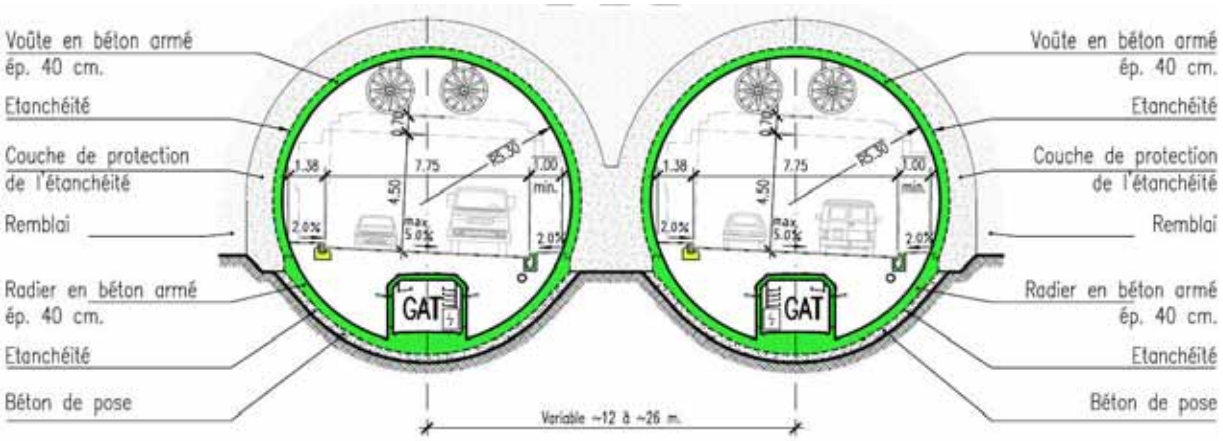


Profil type en tunnel

Le profil type des deux tubes du tunnel est basé sur les exigences de la norme SIA 197 pour la largeur des chaussées et des trottoirs, pour les valeurs min. et max du dévers, ainsi que pour le gabarit d'espace libre. Pour les tranchées couvertes, compte tenu de leur longueur limitée, il n'est pas nécessaire d'y prévoir de bande d'arrêt d'urgence (BAU).
Les coupes types en tunnel et en tranchée couverte sont représentées aux figures suivantes.



Coupe type des deux tubes en tunnel



Coupe type des deux tubes en tranchées couverte

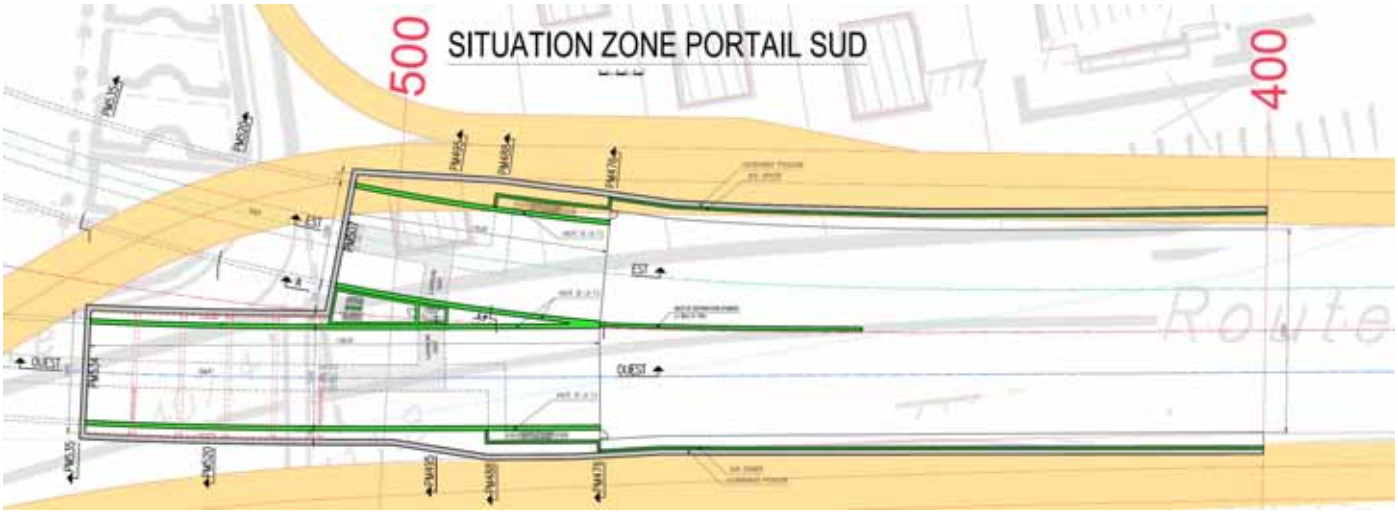
10.3.5. Portails provisoires et définitifs

L'expérience, ainsi que les calculs effectués, montrent que les portails provisoires devront être positionnés de manière à avoir une couverture minimale de l'ordre de 5 à 7 m sur la clé de voûte et un entre-axe des tunnels d'au moins environ 20 à 25 m pour permettre la redistribution des efforts sans déformations excessives.

Les portails définitifs seront implantés à quelques dizaines de mètres des portails provisoires, afin de limiter la profondeur de la tranchée à ciel ouvert et de laisser la place pour les bâtiments techniques qu'il est prévu de placer au-dessus des tranchées couvertes.

Tranchée couverte sud (Route Blanche)

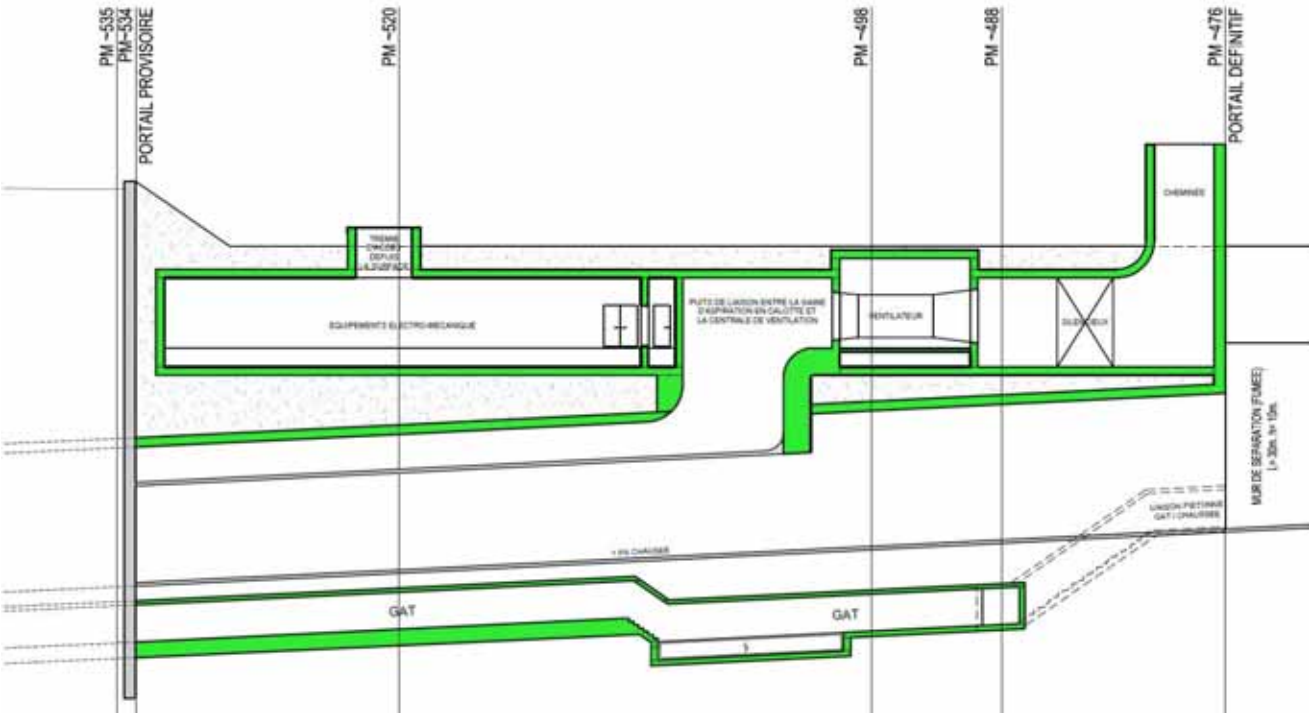
La tranchée couverte sud, qui intégrera également une centrale de ventilation et un bâtiment technique, constitue une des principales difficultés de ce projet en raison du peu de place disponible, de la géométrie compliquée des axes des deux tubes dans cette zone, ainsi que des contraintes liées au maintien de la circulation de la Route Blanche et au phasage des travaux.



Situation de la zone du portail sud

Compte tenu de ces différentes contraintes, les portails provisoires devront être positionnés de manière décalée. La géométrie de la tranchée couverte a également été conçue pour permettre de placer le bâtiment technique et la centrale de ventilation au-dessus des deux tubes.

Coupe horizontale sur les locaux de ventilation et locaux techniques du portail sud



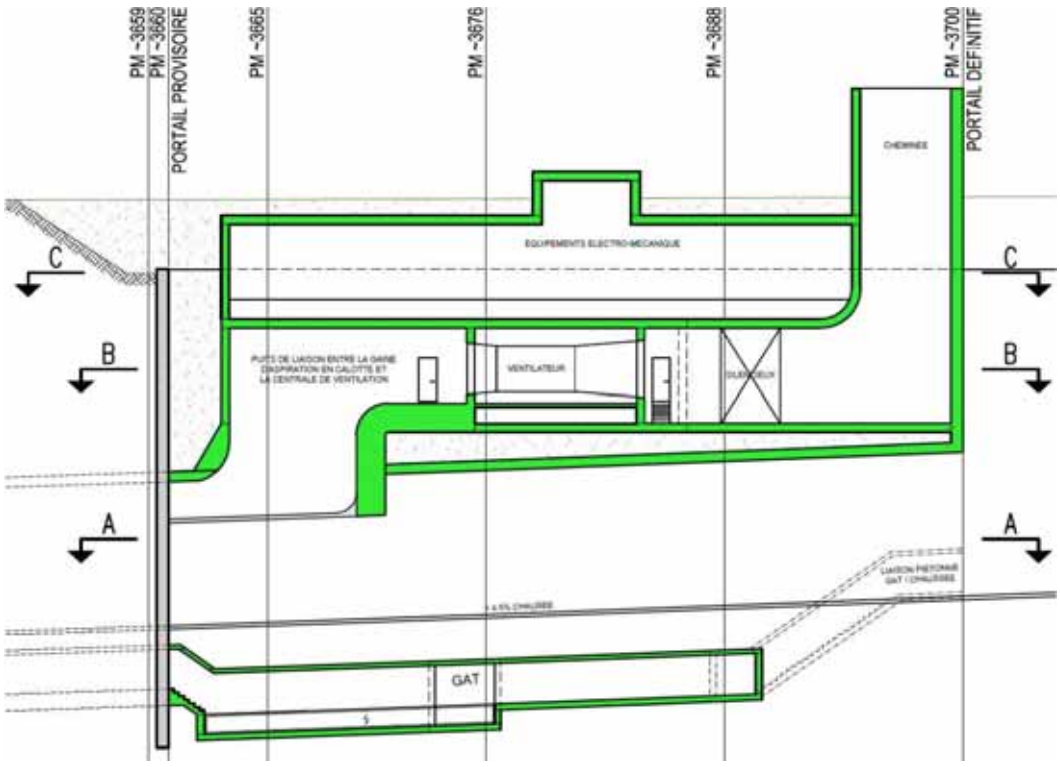
Coupe longitudinale sur l'axe du tube ouest du portail sud

<u>Tranchée couverte nord (Route de Mon-Idée)</u>

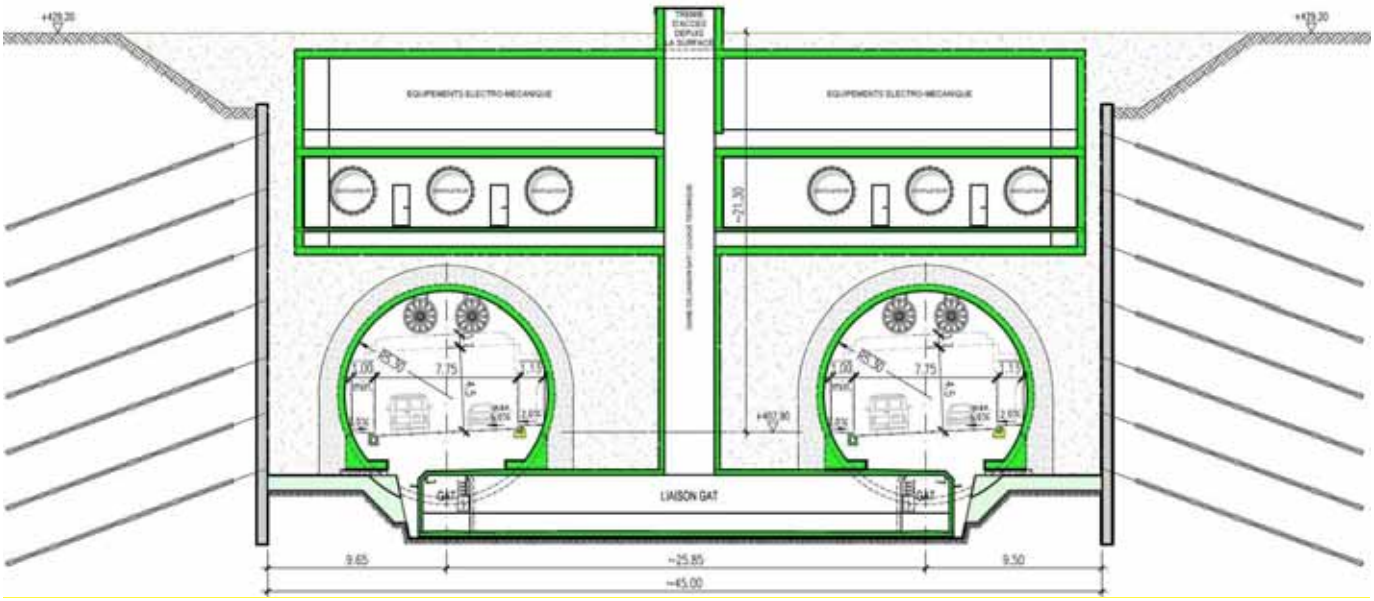
L'extrémité nord du tunnel se situe après le passage sous l'extension du projet MICA au nord de la route de Mon-Idée (MICA 2) Il est actuellement prévu de positionner le portail définitif au km 3,700 et le portail provisoire 40 m avant (place pour la centrale de ventilation) ; les portails des deux tubes pourront être alignés au même km.

Le profil en long actuel du tunnel est positionné pour passer plus bas que les niveaux souterrains prévus du projet MICA. Si le nombre de ces niveaux enterrés devait changer, le profil en long devrait être réadapté. En particulier, s'il n'y avait plus que 2 niveaux de sous-sol sous le projet MICA 2, le profil en long pourrait être remonté d'environ 3.5 m. Cela permettrait de diminuer la profondeur de la tranchée couverte et donc son coût. En outre cela simplifierait également la jonction qui serait ainsi moins profonde.

Coupe horizontale sur locaux de ventilation du portail nord



Coupe longitudinale sur l'axe du tube ouest du portail nord



Coupe transversale au km 3,676

10.3.6. Ouvrages de sécurité

Niches SOS

Des niches de secours (SOS) et des bornes hydrantes (BH) devront être prévues tous les 150 m, du côté extérieur (voie de droite). Les dimensions minimales selon la norme SIA 197/2 devront être respectées.
Sur la longueur du tunnel, il faudra prévoir 22 niches SOS par tube, soit 44 niches au total.

Galeries transversales

Des chemins de fuite devront être prévus tous les 300 m pour les piétons et tous les 900 m pour les véhicules. Les dimensions de ces galeries seront conformes aux exigences de la norme SIA 197/2. Elles devront être fermées par deux cloisons équipées de portes coulissantes.
Sur sa longueur de 3'220 m, le tunnel de Thônex comportera 10 galeries transversales, soit 7 galeries piétonnes et 3 galeries carrossables.

Places d'évitement

Le tunnel étant constitué de deux tubes distincts et les centrales de ventilation étant accessibles depuis l'extérieur, il n'est pas nécessaire de prévoir de place d'évitement.

10.3.7. Equipements électromécaniques

Ventilation

Le rapport "Détermination du système de ventilation", montre que pour la longueur du tunnel projeté et les hypothèses de trafic, une ventilation longitudinale est suffisante en exploitation normale (trafic), mais ne l'est plus en cas d'incendie. Il est donc nécessaire d'équiper les tunnels d'un système de ventilation semi-transversal.

Compte tenu de la place disponible dans le profil type pour la gaine de ventilation en calotte, il sera nécessaire de construire des centrales de ventilation aux deux extrémités du tunnel. Aucun autre emplacement n'étant disponible en surface, les centrales devront être positionnées sur les tranchées couvertes, entre le portail définitif et le portail provisoire. Une gaine de liaison devra relier la gaine de ventilation en calotte de chaque tube avec la centrale. Une trémie d'accès devra permettre le remplacement des ventilateurs, soit depuis le tunnel, soit depuis la surface.

La place est assez restreinte sur la tranchée couverte du portail sud, mais permet de prévoir une centrale avec 2 x 2 ventilateurs (2 par tube). Il sera possible de gagner encore quelques mètres en longueur en optimisant la géométrie des axes des deux tubes dans cette zone. Du côté nord, la tranchée couverte est plus large et permet d'y intégrer facilement une centrale plus grande, avec 2 x 3 ventilateurs si nécessaire.

Les cheminées pour la dispersion des fumées à la sortie des centrales de ventilation devront être placées au-dessus des portails. En raison de leur hauteur nécessaire, une étude architecturale devra être faite pour en améliorer l'aspect esthétique.

Pour éviter que les fumées s'échappant au portail d'un tube ne pénètrent dans l'autre (situation possible durant les premières minutes après l'enclenchement de l'aspiration), il faut prévoir un mur de séparation d'environ 30 m de long x 10 m de haut entre les portails des deux tubes.

Pour la ventilation des tunnels en exploitation normale (apport d'air frais pour diluer les gaz d'échappement), les ventilateurs de jet nécessaires dans la partie centrale du tunnel pourront être placés "en niche" dans la gaine de ventilation (rehaussement local de la dalle).

Equipements électromécaniques et bâtiments techniques

La description des équipements nécessaires fait l'objet du rapport préliminaire "Installations électromécaniques du tunnel de Thônex".

En fonction de la place disponible, il est prévu de réaliser deux bâtiments techniques :

- le bâtiment principal sur la tranchée couverte nord, où une surface d'environ 27 m x 40 m, soit environ 1'000 m2 est disponible sur la centrale de ventilation
- le bâtiment secondaire sur la tranchée couverte sud, où la place est plus limitée (environ 26 m x 12 m, soit environ 300 m2 au niveau enterré)

Ces bâtiments techniques devront abriter les locaux usuels (fourniture électrique et transformateur, batteries et onduleurs, courant faible et basse tension, ventilation, etc.), qui devront être dédoublés, de manière à pouvoir alimenter chaque tube indépendamment, et ceci pour chacune des centrales.

À ce stade de l'étude, le volume et la disposition des bâtiments techniques (électromécanique) n'ont pas été étudiés en détail, mais seulement globalement pour voir les surfaces disponibles et les possibilités de liaisons avec les tubes et les galeries techniques.

Pour la station principale, la surface nécessaire est de l'ordre de 2 x 130 à 160 m2 , soit 260 à 320 m2 ; la place disponible est donc plus que suffisante et le bâtiment technique nord pourra être diminué.
Pour la sous-station, la surface nécessaire est de l'ordre de 2 x 120 à 150 m2, soit 240 à 300 m2 ; comme ces chiffres n'incluent pas les couloirs et les locaux secondaires, la place disponible est donc un peu juste pour le bâtiment technique sud. Lors de la phase d'avant-projet, de la surface pourra être gagnée en longueur en déplaçant de quelques mètres le portail provisoire du tube ouest, et si nécessaire il sera possible de placer des locaux au niveau supérieur (celui de l'accès extérieur).

Le concept d'alimentation électrique (provenance, bouclage, etc.) devra être mis au point avec les SIG.

Il en sera de même pour l'alimentation en eau, notamment pour la défense incendie.

Le besoin de locaux ou d'infrastructures pour la téléphonie mobile devra être discuté avec les opérateurs concernés.

10.3.8. Collecte et évacuation des eaux

Au stade de chantier

Le sens d'avancement retenu sur la base des considérations du chapitre 10.6.2 Sens d'exécution, va du nord vers le sud. L'attaque sera d'abord descendante, puis montante.

Lors de l'avancement du tunnelier en attaque descendante, les eaux d'infiltration et de chantier devront être collectées dans un puisard provisoire proche du front d'attaque et pompées hors du tunnel. Une fois le point bas franchi, un puisard permanent pourra y être aménagé jusqu'à la fin des travaux.

Au stade final

Le concept de collecte et d'évacuation des eaux au stade d'exploitation a été étudié et résumé ci-après.

L'eau ruisselant sur la chaussée s'écoulera dans le caniveau fendu situé au point bas du profil en travers de la chaussée. Tous les 50 m environ, une chambre siphon coupe-feu évacuera l'eau dans un collecteur d'eaux de chaussée situé en-dessous du caniveau fendu, ceci afin de limiter l'extension d'un feu en cas d'écoulement de liquide enflammé.

Une fosse de pompage sera placée au point bas du tunnel, soit au km 0,800. L'eau pompée sera refoulée vers le portail nord en passant dans la galerie technique. Cette fosse devra avoir un volume de rétention suffisant et être équipée de deux pompes (dont une de réserve) pour assurer que le point bas du tunnel ne puisse pas être inondé.

Deux cas distincts sont à considérer au stade d'exploitation :

- les eaux de chaussée seront évacuées vers un bassin de déshuilage/décantation, avant de pouvoir être restituées aux eaux claires
- les eaux de lavage du tunnel devront être envoyées dans un bassin de rétention des eaux de lavage, d'où elles seront évacuées par camion citerne vers un centre de traitement

L'eau refoulée depuis les fosses de pompage sera dirigée vers l'une ou l'autre de ces destinations par une vanne by-pass.

10.3.9. Etanchéité

Le tunnel étant situé plus bas que le niveau piézométrique de la nappe superficielle, même si les formations peu perméables ne sont pas saturées, il est recommandé de prévoir une étanchéité double. Elle sera mise en place à l'intérieur des voussoirs, avant le bétonnage du revêtement définitif.

10.4. Choix de la méthode

10.4.1. Eléments déterminants pour le choix de la méthode

Les éléments importants pour le choix de la méthode de réalisation des deux tubes du tunnel de Thônex sont les suivants :

- les terrains sont de qualité moyenne à médiocre, semi à non consolidés
- le diamètre d'excavation est assez important (~ 12 m)
- le tracé du tunnel passe sous de nombreuses constructions, plus ou moins sensibles aux tassements selon leur âge et leur conception
- la sécurité à l'avancement doit être assurée
- les tassements devront être limités en-dessous des valeurs admissibles (de l'ordre de 3 à 5 cm pour les tassements absolus et de 3 mm/m pour les tassements différentiels)
- la longueur de l'ouvrage en souterrain (2 tubes de 3126 et 3153 m)

10.4.2. Méthodes envisageables

Compte tenu des éléments déterminants cités précédemment, une excavation "traditionnelle" en section divisée sous la protection d'une voûte parapluie ou d'une voûte jetting, présente trop de risques de tassements, voire d'effondrement du front de taille et est écartée. En revanche l'utilisation d'un tunnelier à front pressurisé (bouclier à pression de terre ou bouclier à pression de bentonite) permettra de contrôler la stabilité du front et de limiter les tassements en maintenant une pression dans la zone du front de taille avant la pose des voussoirs, sous la protection de la jupe de la tête du tunnelier.

10.4.3. Méthode retenue

Compte tenu des conditions géologiques et de la nature des terrains de granulométrie fine et à faible perméabilité, l'utilisation d'un tunnelier à pression de terre apparaît comme la solution la plus adaptée.

Avec cette méthode, les matériaux excavés (terrain mélangé à la mousse) sont de nature similaire au terrain naturel dans la mesure où les aditifs (mousse ou polymères) sont fortement biodégradables, puisque environ 95 % est dégradé après 28 jours. La teneur en eau est cependant élevée et peut poser des problèmes de mise en place des matériaux (pas compactables) ; ils devront être mélangés à d'autres matériaux pour les rendre utilisables pour une mise en remblais sans exigence de limite de tassement. Pour rappel, la nature des matériaux en place est déjà médiocre puisque la teneur en limon et en argile est élevée.

Les voussoirs sont mis en place juste à l'arrière de la tête du tunnelier, dans la jupe. Lors de l'avancement du tunnelier, la jupe laisse un vide annulaire de quelques centimètres qui doit être immédiatement rempli par du coulis sous pression afin d'éviter la convergence à l'origine de tassements en surface.

Le rayon de courbure minimum qu'un tel tunnelier peut décrire est d'environ 300m.

Galeries transversales

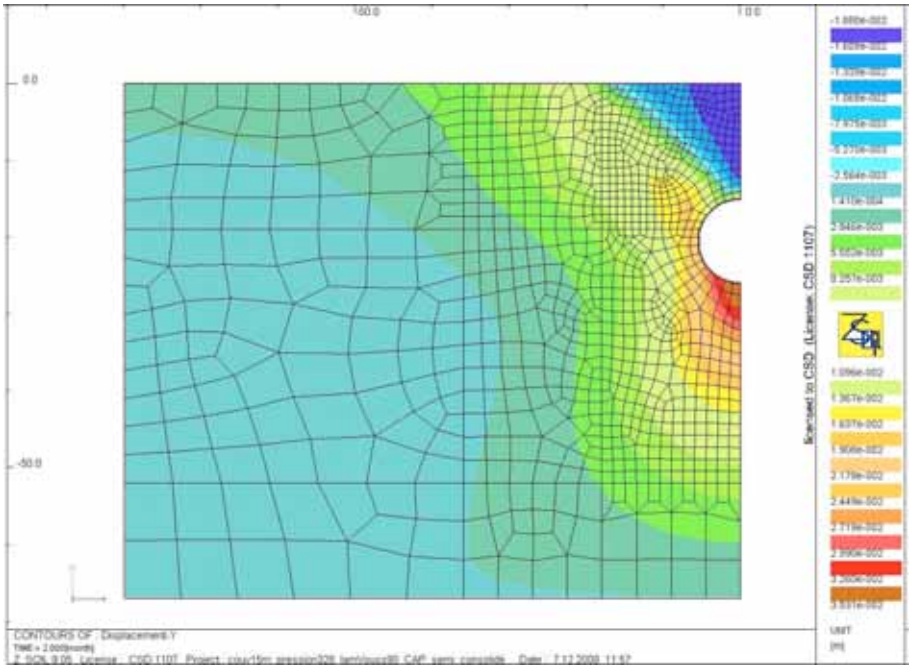
Pour la réalisation des galeries transversales, il sera possible de faire une voûte parapluie serrée depuis chaque tube. La distance de terrain entre les tubes étant d'environ 25 m, avec deux voûtes de 15 m, il y aura un chevauchement de 5 m au centre. Si nécessaire, des injections pourront également être réalisées pour consolider et étancher le terrain.

Niches SOS

La reprise d'excavation pour les niches SOS pourra se faire après injections de consolidation et d'étanchement de la zone située autour de la niche (de dimension réduite).

10.5. Calculs

Une modélisation et une analyse paramétrique effectuées à l'aide du programme Z_Soil basé sur la méthode des éléments finis, a permis de calculer l'ordre de grandeur des déformations et des tassements en surface, ainsi que d'optimiser l'écartement des deux tubes en fonction de la profondeur à laquelle ils se situent.



Ces calculs ont montré que la pression appliquée dans la cellule pressurisée est un paramètre sensible pour le contrôle des déformations (tassement en surface à l'axe de chaque tube et largeur de la cuvette de tassements). La pression devra être adaptée en fonction de la couverture et de l'écartement des deux tubes également.

D'une manière générale, la largeur de la cuvette des tassements augmente avec la hauteur de couverture. Les deux tubes doivent être disposés de manière à éviter autant que possible un chevauchement entre leurs cuvettes de tassements respectives.
Cette condition est respectée en garantissant un espacement axe à axe entre les deux tubes de l'ordre de 25 m aux portails provisoires et de 36 m pour une couverture supérieure à 15 m.
De cette manière, les tassements devraient être compris entre 20 et 30 mm à l'axe des tubes.

Les tassements différentiels sont d'autant plus faibles que la couverture est plus importante, en raison de la plus grande largeur de la cuvette. Avec les paramètres géotechniques des formations semi-consolidées, les tassements différentiels restent dans la limite admissible, même pour la plus faible couverture. Par contre, avec les paramètres des sols peu consolidés, les tassements différentiels sont un peu supérieurs à la valeur limite recommandée ; ces dernières valeurs nous paraissent toutefois un peu pessimistes et il sera important de mieux préciser les caractéristiques des sols lors de la campagne de reconnaissance.

La poussée du terrain et la pression de la nappe phréatique donnent lieu à des efforts modérés dans le soutènement, efforts qui pourront être facilement repris par des voussoirs (soutènement provisoire) d'environ 30 cm d'épaisseur, puis par un revêtement définitif en béton armé d'environ 35 cm d'épaisseur.

10.6. Description des travaux

10.6.1. Emprises de chantier

La place à disposition pour les installations de chantier est extrêmement limitée du côté sud. La place minimum nécessaire doit permettre

- la construction de la tranchée couverte et des bâtiments de ventilation et électromécanique
- le montage ou le démontage du tunnelier
- l'installation d'une rampe d'accès
- la mise en place les installations minimum pour les travaux

La surface effectivement disponible se situe entre les 2 + 2 nouvelles voies de déviation de la route Blanche, entre le km 0,150 et les portails provisoires.

Par conséquent, l'installation principale de chantier devra être placée du côté nord, où il y a une grande place à disposition qui sera nécessaire pour y placer notamment

- les stocks de terre végétale et de remblai réutilisable
- les installations générales (cantine, vestiaires, etc.)
- ateliers d'entretien du parc de machines
- centrale à béton (éventuelle)
- les bureaux de la direction des travaux et de l'entreprise
- des places de parc
- les installations de traitement des eaux
- les installations de ventilation de chantier
- l'usine de préfabrication des voussoirs (éventuelle)
- une aire de stockage des voussoirs
- la place pour le stockage et le montage des matériaux de construction

Outre la surface de la tranchée couverte et ouverte, il faudra encore la place pour la rampe d'accès entre le terrain naturel et le niveau -15 m environ.

Une paroi ou une digue anti-bruit, faite par exemple avec les matériaux d'excavation des tranchées ouvertes, sera probablement nécessaire autour des zones bruyantes de l'installation principale, en raison de la proximité de nombreuses constructions, dont celles du complexe MICA qui seront alors (partiellement) réalisées.

10.6.2. Sens d'exécution

Avancement du nord vers le sud
Dans le cas d'un avancement du tunnelier du nord vers le sud, la fouille pour la tranchée couverte et la rampe d'accès est plus simple à réaliser, ce qui permettra le démarrage du tunnelier plus tôt. En outre, la place à disposition pour les installations de chantier est beaucoup plus importante, ce qui facilitera le montage du tunnelier et la fabrication éventuelle des voussoirs. De plus, le transport des matériaux excavés pourra éviter de passer par la Route Blanche.

L'attaque sera descendante sur environ 2'000 m, ce qui nécessitera de nombreux déplacements des puisards et installations de pompage.

Avancement du sud vers le nord :
Le principal avantage d'un avancement du sud vers le nord est qu'il se ferait en attaque montante sur la plus grande longueur, ce qui simplifierait la collecte des eaux durant les travaux.

Par contre, cela générerait beaucoup plus de trafic sur une plus longue durée du côté Route Blanche.

En outre, le long délai de réalisation pour la déviation de la Route Blanche et pour la réalisation de la fouille pour tranchée couverte et la rampe d'accès retarderait le démarrage du tunnelier d'au moins une année.

La place disponible restreinte du côté sud est également un désavantage.

Il serait cependant envisageable d'effectuer le deuxième tube dans ce sens, après excavation du premier tube du nord au sud et retournement du tunnelier. Le trafic de chantier (marinage et transport des voussoirs et autres matériaux pouvant se faire par une piste de chantier dans le premier tube, les transports ne pénaliseraient plus la Route Blanche. Le coût de la réinstallation du tunnelier pour le deuxième tube serait également réduit. Par contre, cette solution est très pénalisante du point de vue de la durée des travaux, car les aménagements intérieurs ne pourraient commencer qu'à la fin de l'excavation du 2ème tube.

Au final, compte tenu des réflexions ci-dessus, nous avons retenu l'avancement du nord vers le sud pour les deux tubes.

10.6.3. Phasage des travaux

Du côté sud, l'ordre d'exécution des travaux sera le suivant :

- réalisation et mise en service des 2 + 2 voies provisoires de rétablissement avant le début des travaux d'excavation ;
- réalisation de l'enceinte de fouille pour la tranchée couverte, ainsi que d'une rampe d'accès dans l'emprise libre entre les voies provisoires ;
- travaux d'excavation en souterrain des deux tubes (arrivée et démontage du tunnelier) ;
- réalisation de la structure des tranchées couvertes et des bâtiments techniques situés au-dessus ;
- remblayage sur ces ouvrages ;
- aménagement des 2 + 2 voies de la Route Blanche à leur position définitive et à leur largeur définitive.

Le point déterminant est que la déviation de la Route Blanche en 2 + 2 voies doit être réalisée avant de pouvoir commencer les travaux du tunnel.

Du côté nord, la place suffisante à disposition et l'absence d'ouvrages ou de routes permet de démarrer les travaux du tunnel selon la séquence suivante :

- préterrassement d'une fouille talutée pour limiter la hauteur du soutènement vertical ;
- réalisation de l'enceinte de fouille pour la tranchée couverte, ainsi que d'une rampe d'accès dans la zone des installations de chantier ;
- chantier d'excavation en souterrain des deux tubes, à l'aide d'un tunnelier ;
- réalisation de la structure des tranchées couvertes et des bâtiments techniques situés au-dessus ;
- remblayage sur ces ouvrages ;

10.6.4. Programme des travaux

Dans le programme prévisionnel des travaux (annexe 6.4 du rapport de l'étude de faisabilité), nous avons admis un avancement moyen raisonnable de 15 m/jour, correspondant à une durée de percement d'environ 210 jours, soit environ 10 mois par tube.

Les niches seront réalisées après le passage du tunnelier, soit en temps caché.

Les galeries transversales ne peuvent être terminées qu'après le passage du tunnelier pour le 2ème tube ; seules les 2 ou 3 dernières galeries ne seront pas exécutées en temps caché. Mais elle seront achevées presque en même temps que les tronçons en tranchées couvertes entre les portails provisoires et définitifs.

Tous les travaux ci-dessus doivent être achevés pour être "au propre" afin de pouvoir commencer la pose de l'étanchéité, d'abord en radier, puis en voûte.

Le bétonnage du revêtement intérieur (radier et voûte) doit suivre les chantiers de l'étanchéité au maximum à 300 ou 400 m pour limiter la longueur d'étanchéité non protégée.

Le bétonnage du revêtement intérieur en béton armé est la tâche de plus longue durée : en admettant que 4 blocs de 12.5 m seront bétonnés par semaine (armatures, tubes incorporés et réservations, coffrage, bétonnage et durcissement durant environ 15 heures), il faudra 63 semaines, soit environ 1 ans et 4 mois pour réaliser un tube. Avec 2 coffrages de radier et 2 coffrages de voûte, il sera possible d'exécuter les 2 tubes en parallèle.

L'équipement routier intérieur peut se faire à la suite, derrière le bétonnage du revêtement intérieur.

La pose des enrobés est rapide (moins de 1 mois) et se fera dès les équipements routiers achevés.

Pour un ouvrage de cette ampleur, les travaux d'installations et les tests de l'électromécanique et de la ventilation peuvent être estimés à 8 mois.

La durée totale des travaux est ainsi de l'ordre de 5 ans et 3 mois.

10.7. Analyse de risques

Une analyse de risques a été faite pour la phase de chantier et pour la phase d'exploitation. Les tableaux complets font l'objet des chapitres 7.1 et 7.2 du rapport de l'étude de faisabilité.

Le choix de la méthode d'excavation à l'aide d'un tunnelier à pression de terre permet de maîtriser les risques techniques principaux durant les travaux (tassements en surface ou effondrement du front de taille). La mise au point et l'application de procédures et de contrôles stricts permettront de contrôler les autres risques (coûts, délais, sécurité, environnement).

Pour le stade final, les risques sur la qualité de l'ouvrage seront minimisés par une définition précise des exigences dans les documents d'appel d'offres et des contrôles rigoureux durant les travaux. Une conception efficace des ouvrages et de leurs équipements abaissera à un niveau admissible les risques liés aux fumées toxiques et aux inondations.

10.8. Emprises provisoires et définitives

Les emprises définitives sont celles des ouvrages dans les zones des portails (bâtiments techniques) y compris les routes réservées à leur accès. Il pourra y avoir des zones inconstructibles ou avec des restrictions de constructions au dessus des tunnels à faible profondeur et des tranchées couvertes.

Les emprises provisoires correspondent en plus aux zones des installations de chantier sont représentées de manière indicative sur un plan non joint au présent document. Elles devront être définies plus précisément en prenant en compte les affectations et les contraintes d'exploitation des diverses parcelles touchées.

10.9. Conclusions

Le tracé en plan du tunnel de Thônex est celui établi lors de la coordination de l'ensemble de la géométrie du projet. Il résulte aussi de plusieurs adaptations telles que le raccord à la douane de Vallard du côté sud et à la jonction de Puplinge du côté nord, le rayon minimum résultant de la méthode d'excavation au tunnelier, la nécessité d'éviter des obstacles souterrains tels que des pieux ou des parois moulées. Il fera certainement encore l'objet d'adaptations lors des prochaines phases d'études, notamment pour optimiser la distance de visibilité.

Le profil en long est également régi par les raccords aux extrémités, par l'abaissement nécessaire du côté nord en raison du projet MICA, ainsi que par les pentes minimum et maximum admissibles. La couverture minimum est de 7 m au portail provisoire sud et la couverture maximum atteint environ 30 mètres

Les terrains concernés par le tunnel de Thônex et les ouvrages aux portails sont de qualité médiocre, semi à non consolidés. Il s'agit de moraines et de retrait würmien à dominance limono-argileuse à argileuse, pouvant contenir des horizons sablo-graveleux aquifères, en particulier dans les 2 à 6 premiers mètres depuis la surface. Le tunnel étant situé à une plus grande profondeur se trouve dans les formations inférieures très peu perméables.

Le projet du tunnel se situe sous la localité de Chêne-Bourg et il y a donc un grand nombre de constructions en surface, allant de la villa à des immeubles complets jusqu'à 12 étages.

La zone actuellement non construite entre les km 2,300 et 3,500, accueillera le projet MICA, qui sera réalisé avant le tunnel.

Il est par conséquent indispensable de limiter les tassements consécutifs aux travaux du tunnel et de sécuriser le front de taille pour éviter tout risque d'effondrement.

La méthode préconisée pour contrôler les déformations dans ces terrains médiocres est l'emploi d'un tunnelier à pression de terre, qui maintient une pression de confinement au front de taille jusqu'à la pose des voussoirs. L'expérience de l'entreprise spécialisée, ainsi que les mesures de sécurité et les contrôles seront très importants pour assurer la maîtrise des déformations.

Les résultats des calculs effectués montrent que les tassements absolus prévisibles en surface sont de l'ordre de ~2 à 3 cm, ce qui est acceptable ; les tassements différentiels sont également acceptables avec les valeurs moyennes des paramètres géotechniques, mais un peu élevés avec les valeurs les plus faibles. Avec les connaissances actuelles de la géologie, les valeurs moyennes nous semblent réalistes, mais il faudra le vérifier lors des essais à effectuer dans le cadre de la prochaine campagne de reconnaissance.

L'étude préliminaire de la ventilation montre qu'une ventilation longitudinale avec des ventilateurs de jet est suffisante en exploitation normale (trafic), mais pas dans le cas d'un incendie. Il est donc nécessaire de prévoir une ventilation semi transversale, avec gaine d'aspiration de fumées en calotte du tunnel et deux centrales de ventilation, une à chaque portail.

L'étude préliminaire de l'électromécanique conclut que deux bâtiments techniques sont nécessaires, un à chaque portail.

Compte tenu de l'occupation du sol en surface, il n'est pas envisageable de placer les centrales de ventilation ou locaux techniques ailleurs que sur les tranchées couvertes. Elles seront enterrées, à l'exception des cheminées de la ventilation, des kiosques et des trémies d'accès.

La zone de la tranchée couverte sud sera située entre les 2 + 2 voies déviées de la Route Blanche. La place à disposition est extrêmement restreinte, tant pour les installations de chantier et les accès que pour les bâtiments techniques qui devront être placés sur la tranchée couverte. Les travaux seront compliqués du côté sud.

Par contre du côté nord, il y a peu de contraintes et assez de place à disposition. Il sera donc logique d'y placer les installations principales de chantier, ainsi que les bâtiments principaux pour la ventilation et pour les locaux techniques.

L'attaque des deux tubes du tunnel est prévue depuis le côté nord en direction du sud, ce qui permet le démarrage du tunnelier plus rapidement et provoquera moins de gêne au niveau du trafic de chantier.

En conclusion, la présente étude de faisabilité montre que le tunnel de Thônex est réalisable selon le concept présenté, mais qu'il aura de nombreuses contraintes et que tant le projet que les travaux seront compliqués et délicats à réaliser.

11. TUNNEL DE CHOULEX

11.1. Projet de référence

L'ouvrage, d'une longueur totale d'environ 2'700 m, comporte un tunnel d'environ 2 km sous le coteau de Choulex et une tranchée couverte d'environ 700 m dans la plaine de la Seymaz.

Le tracé analysé résulte des études géométriques permettant l'insertion des jonctions de Rouelbeau et de Puplinge dans le bâti existant et futur.

11.1.1. Profil en long

Le portail de Puplinge se situe dans la plaine de la Seymaz, 400 m environ au sud de la route des Jurets. Jusqu'à la Seymaz, le projet chemine à faible profondeur sous la plaine. Il présente un point bas au droit du franchissement de la Seymaz. A cet endroit, le niveau de la chaussée se situe à environ 15 m sous le niveau du lit du cours d'eau.

A l'approche du coteau de Choulex, la couverture augmente progressivement et le profil en long présente une pente longitudinale de 0,6%.

Le portail de Rouelbeau se situe immédiatement au nord de la route de Meinier qu'il franchit à une profondeur d'environ 16 m.

11.1.2. Accrochage à la jonction Puplinge

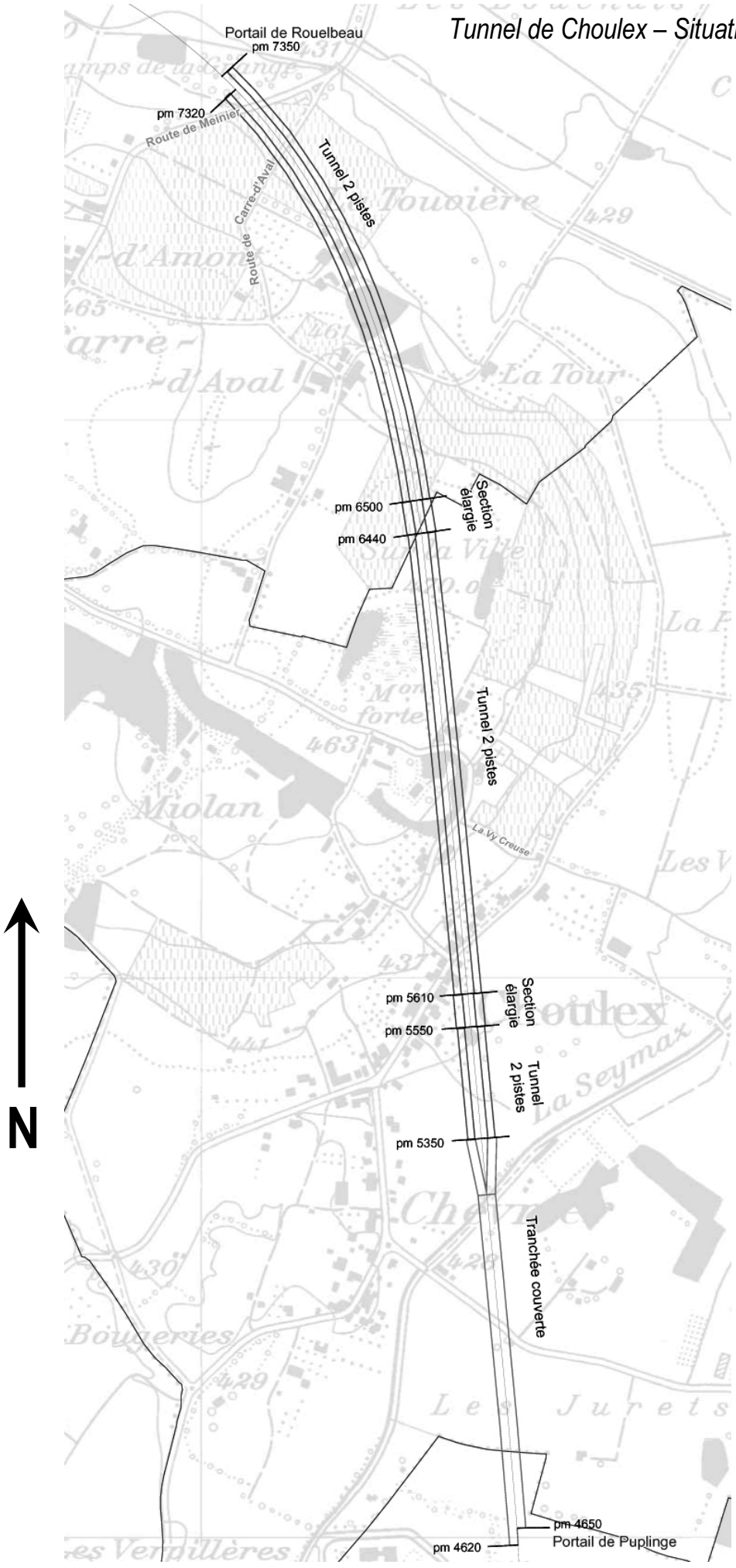
L'ouvrage se poursuit par une tranchée à ciel ouvert. La distance entre le portail et la jonction permet d'éviter la création de pistes d'accélération ou de décélération à l'intérieur de la tranchée couverte.

11.1.3. Accrochage à la jonction Rouelbeau

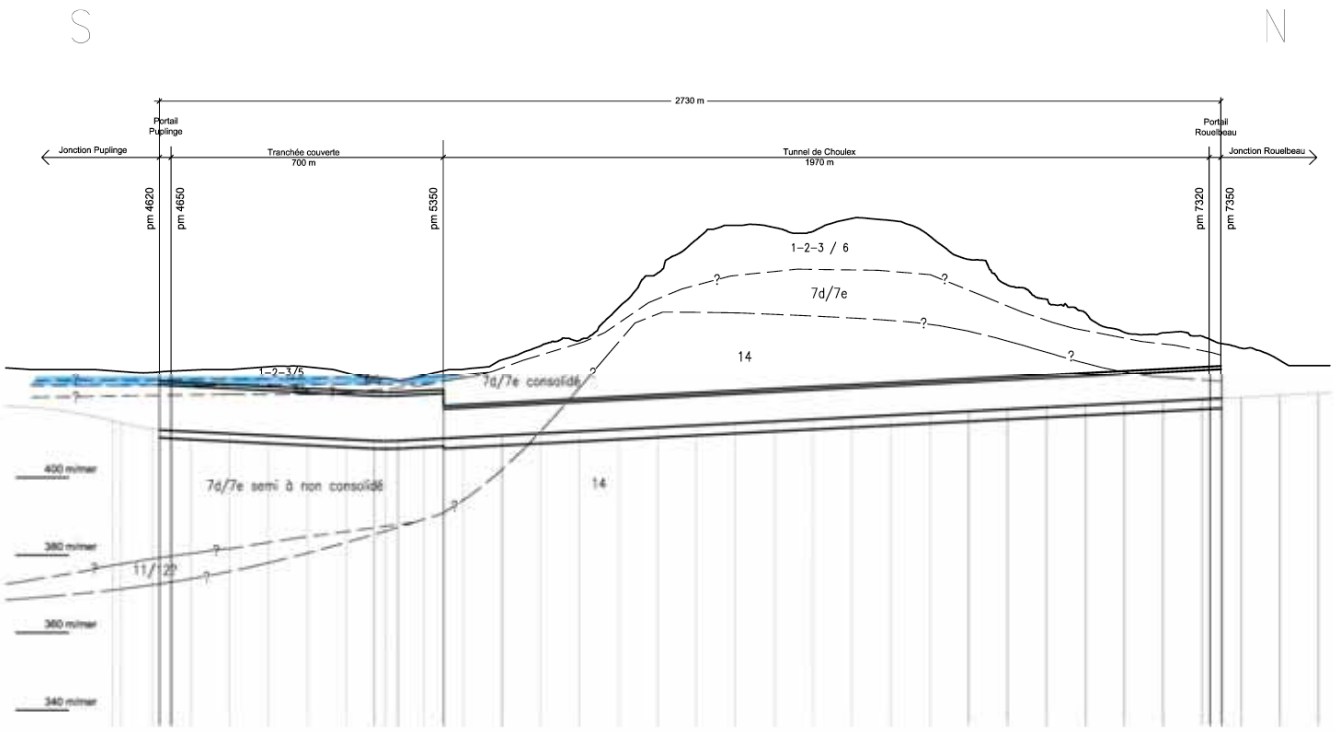
En implantant le portail immédiatement au nord de la route de Meinier, on assure une distance suffisante entre le tunnel et la jonction et il n'est donc pas nécessaire de prévoir de pistes d'accélération ou de décélération dans l'ouvrage.

Les aménagements du portail de Rouelbeau comportent également une centrale de ventilation destinée à assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Tunnel de Choulex – Situation générale



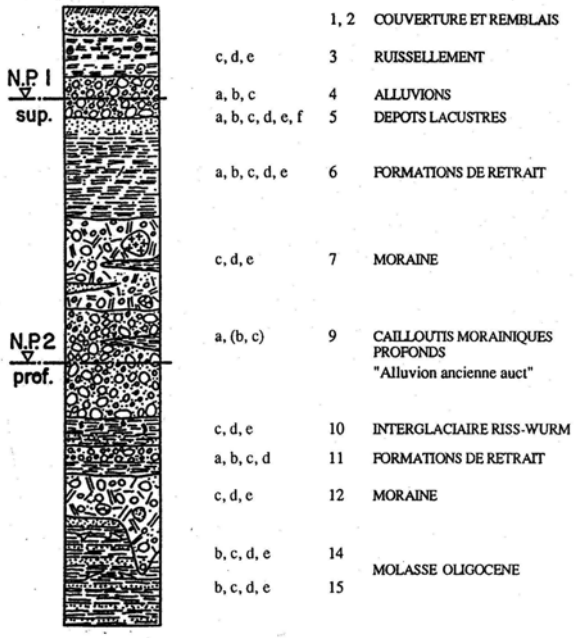
11.2. Conditions géologiques et hydrologiques



Légende du profil en long géologique interprétatif

La numérotation des couches se rapporte à une classification unifiée des sols de la cuvette genevoise. Cette classification tient compte de la géologie et des particularités géotechniques des sols.

CLASSIFICATION DES SOLS GENEVOIS ET PROFIL TYPE DE LA CUVETTE GENEVOISE



PRINCIPE DE NUMEROTATION

Npx,y

N	No de la formation			
p	Phases :	a	graveleuse	
		b	sableuse	
		c	limoneuse	
		d	limono-argileuse	
		e	argileuse	
		f	crayeuse	
x	compacité et consistance :	1	élevée	dure à très dure
		1-2	moyenne	ferme
		2	faible	tendre à molle
y	phase	3	altérée	

Terrains récents
1 Terrains de couverture, sols actuels (remblais)
2 Remblais

Terrains holocènes
3 Eboulis, formations de pente, colluvions, limon de ruissellement
4 Alluvions de terrasses
5 Dépôts ou vases lacustres, tourbe, craie lacustre

Terrains glaciaires würmiens
6 Formations supraglaciaires de retrait
7 Moraine à cailloux et blocaux alpins
8 Dépôts intramorainiques ou intraformationnels
9 Cailloutis morainiques profonds ou "alluvion ancienne"

Terrains attribués à l'interglaciaire Riss-Würm
10 Interglaciaire

Terrains glaciaires attribués au Riss
11 Formation de retrait
12 Moraine à cailloux et blocaux alpins
13 Dépôts intramorainiques ou intraformationnels

Substratum rocheux molassique
14 Complexe de la Molasse grise du Chattien supérieur
15 Complexe de la Molasse rouge du Chattien inférieur

Dans le secteur concerné, le substratum est constitué de Molasse grise du Chattien supérieur. Cette formation est masquée par une épaisseur variable de moraine Würmienne, consolidée dans le secteur du coteau de Choulex, et semi à non consolidée dans la plaine de la Seymaz. Dans cette plaine, la moraine est masquée par une épaisseur généralement faible de formation de retrait et des terrains de couverture.

On observe la présence, à proximité de la surface, de niveaux sableux ou graveleux aquifères conférant à la plaine un caractère marécageux.

Dans la plaine de la Seymaz, les terrassements traverseront donc les formations de retrait, localement aquifères, et pénétreront dans la moraine semi à non consolidée.

A l'approche du coteau de Choulex, l'ouvrage rencontrera une moraine consolidée et pénétrera ensuite dans la Molasse grise.

11.3. Ventilation, sécurité

On relève que le concept de ventilation et de sécurité tient compte des conditions urbaines du projet, des risques d'un trafic congestionné, ainsi que d'une vitesse de projet de 100 km/h.

11.3.1. Sécurité, galeries d'évacuation

Le tunnel est constitué de deux tubes de deux pistes de circulation.
Le profil en long présente une pente de 0.6%, l'intervalle entre les galeries transversales doit être au maximum de 300 m. Il est également nécessaire de prévoir 2 galeries transversales carrossables.
Au stade de l'étude de faisabilité, il a été admis que l'ouvrage serait équipé de 6 galeries transversales piétonnes et de 2 galeries carrossables.

11.3.2. Concept général de ventilation

Lors de l'exploitation normale du tunnel, incluant le cas d'un trafic congestionné, la ventilation est assurée par un système longitudinal.

Une accélération par ventilateur de jet est assurée dans le cas du trafic congestionné ou d'une péjoration de la qualité de l'air.

L'environnement des zones de portail permet a priori le rejet de l'air vicié directement au portail.

La ventilation en cas d'incendie nécessite la création, sur toute la longueur du tunnel, d'une gaine d'aspiration de l'air vicié ainsi que la construction d'une centrale d'aspiration et de rejet de l'air vicié.

Diverses implantations ont été envisagées pour les centrales de ventilation. La solution retenue à ce stade consiste en une centrale unique au portail Rouelbeau surmontée d'une cheminée dynamique d'évacuation des fumées en cas d'incendie.

On rappelle que cette centrale ne sera appelée à fonctionner qu'en cas d'incendie, et que l'impact sonore de son fonctionnement reste admissible quel que soit le degré de sensibilité au bruit du secteur.

La disposition des ventilateurs de jet sur la longueur du tunnel a également été envisagée. Ces ventilateurs seront placés dans des sections élargies, soit au niveau des portails, soit au niveau des galeries transversales carrossables.

11.3.3. Incidence du concept de ventilation sur les coupes types

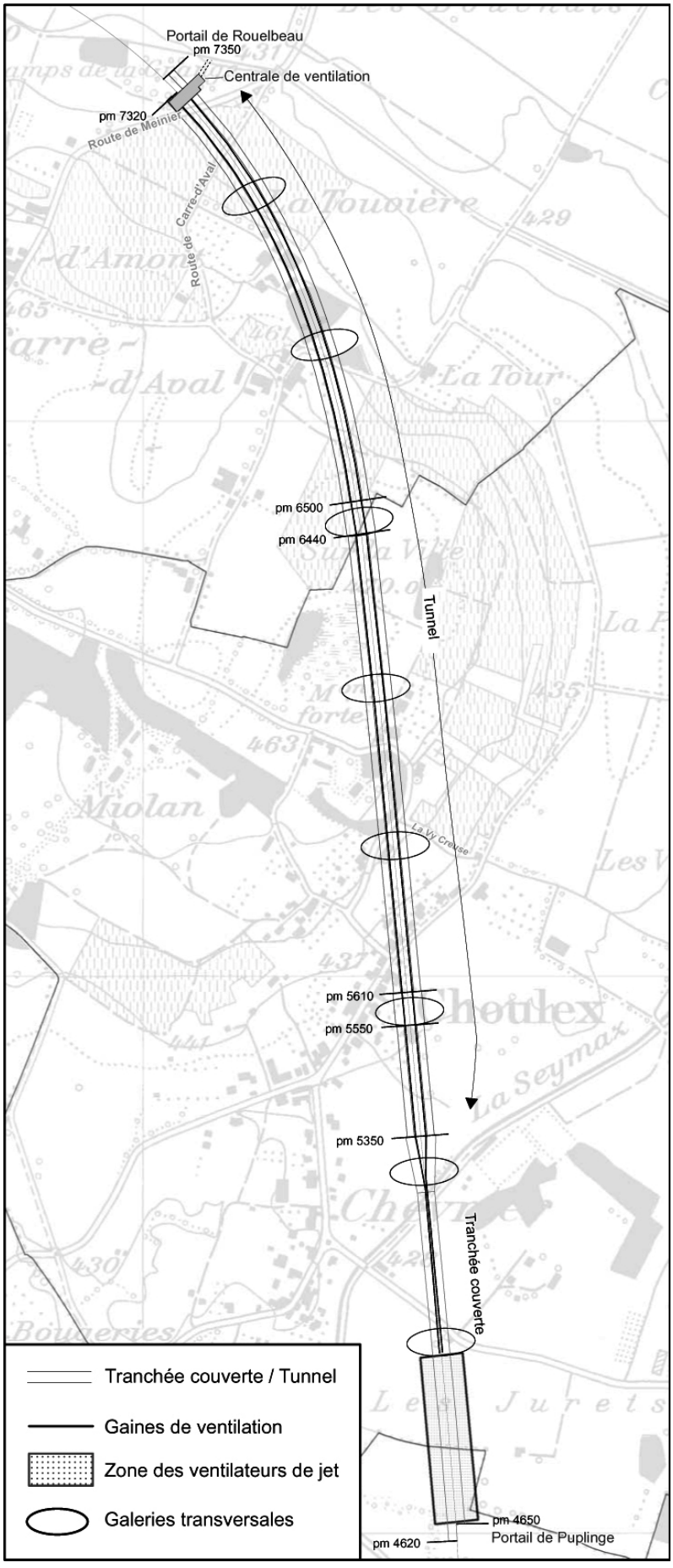
Les tunnels comporteront une gaine d'aspiration de l'air vicié en calotte.

L'adjonction locale de ventilateurs de jet nécessite des sections élargies.

11.3.4. Implantation des centrales, sites envisageables

Une visite des lieux a permis d'identifier un certain nombre de sites sur lesquels des centrales pourraient éventuellement être implantées.

A ce stade, le concept de ventilation retient la création d'une centrale unique au portail Rouelbeau.



Situation des galeries de fuite, des ventilateurs de jet, des gaines de ventilation et de la centrale de ventilation

11.4. Principaux impacts environnementaux et remèdes préconisés

11.4.1. Centrales de ventilation

Il convient de rappeler que les centrales de ventilation ne sont appelées à fonctionner qu'en cas de trafic fortement congestionné ou d'incendie.

Du point de vue de l'impact visuel, la centrale sera enterrée et seul un petit bâtiment permettra d'assurer la sortie de la cheminée d'air vicié. S'agissant d'une cheminée dynamique, elle ne présente pas de superstructure portant atteinte au paysage.

La configuration des lieux conduit à implanter la centrale de ventilation au nord-est des tunnels, dans la pente existante entre la route de Meinier et le chemin des Combes.

L'accès aux locaux de ventilation s'effectuera donc de plain pied depuis le chemin des Combes.

11.4.2. Problématique des accès et emprises de chantier

Les secteurs des portails et des tranchées couvertes se situent principalement en zone agricole ou viticole. La desserte de ces secteurs n'est assurée que par des chemins agricoles de faible capacité.

L'organisation des chantiers devra permettre la réalisation des accès depuis les 2 jonctions de Rouelbeau et de Puplinge ce qui nécessitera la création dès les premières phases du chantier de pistes d'accès parallèles aux ouvrages.

Il paraît en effet difficile d'envisager un accès systématique par la traversée du hameau de Chevrier ou du village de Choulex ou par le hameau de Carré-d'Aval ou le village de Meinier.

11.4.3. Evacuation des déblais

Au stade de l'étude de faisabilité, il a été admis que les déblais pourraient être évacués par les réseaux des routes principales.

La coordination de l'évacuation des déblais nécessitera toutefois une étude globale au niveau du projet de la traversée du lac. Dans cette optique, l'attaque du tunnel de Choulex est prévue dans le sens nord-sud.
Cette étude est réalisée pour l'ensemble du projet et en privilégiant les circulations sur le tracé de l'autoroute. Elle évaluera dans quelle mesure une liaison entre le portail de Rouelbeau et Pointe-à-la-Bise doit pouvoir être assurée de manière prioritaire par l'un des tubes du tunnel de Collonge.
Cet itinéraire paraît en effet de nature à permettre l'évacuation des déblais et leur éventuelle immersion par voie lacustre.

Il convient cependant de ne pas sous-estimer le coût et l'importance des infrastructures nécessaires dans le tunnel de Collonge pour assurer cette évacuation et garantir la sécurité durant cette phase de chantier. Une telle option a des incidences importantes sur le planning général de réalisation et nécessitera une étude approfondie des interfaces de transbordement de Rouelbeau et de Pointe-à-la-Bise.

11.5. Méthodes de construction

Le tableau suivant résume, tronçon par tronçon, les méthodes de construction :

PM	*PM*	*Long.*	*Type ouvrage*	
Zone de portail Puplinge et plaine de la Seymaz				
4620-4650	5250	600-630	Tranchée couverte 2 pistes + 1 bande d'arrêt d'urgence	Terrains peu à pas consolidés Ecart entre axes de chaussées : 12.1 m
5250	5350	100	Tranchée couverte 2 pistes + 1 bande d'arrêt d'urgence	Terrains peu à pas consolidés Ecart entre axes de chaussées : 12.1 m à 36 m
Tunnel de Choulex et zone de portail Rouelbeau				
5350	5550	200	Tunnel 2 pistes	Moraine - Molasse
5550	5610	60	Tunnel 3 pistes au droit de la galerie transversale carrossable	Ecart entre axes de chaussées : 36 m
5610	6440	830	Tunnel 2 pistes	
6440	6500	60	Tunnel 3 pistes au droit de la galerie transversale carrossable	Centrale de ventilation enterrée au-dessus des tubes
6500	7320-7350	820-850	Tunnel 2 pistes	au portail Rouelbeau

11.5.1. Portail et tranchée couverte Puplinge

Dans la plaine de la Seymaz, il est prévu de réaliser deux espaces de circulation adjacents.

L'ouvrage sera donc constitué de trois parois moulées et de dalles bétonnées sur terre.

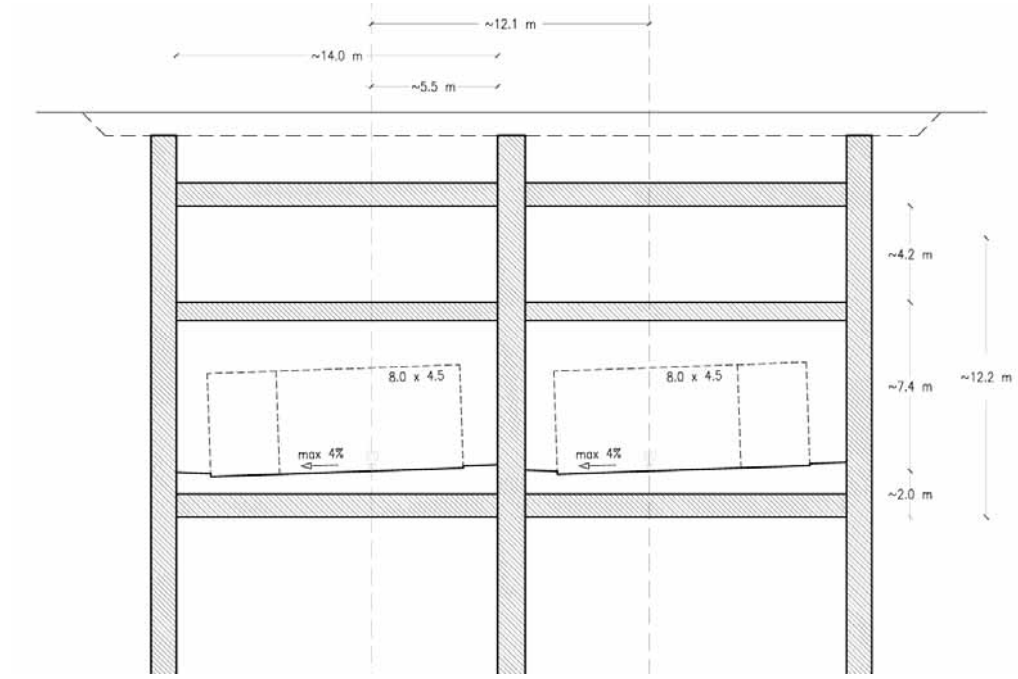
L'excavation interviendra pour l'essentiel sous dalle.

La piste de chantier permettra d'accéder au secteur d'attaque du tunnel, au nord de la Seymaz, ainsi qu'à l'ouvrage de franchissement de ce cours d'eau.

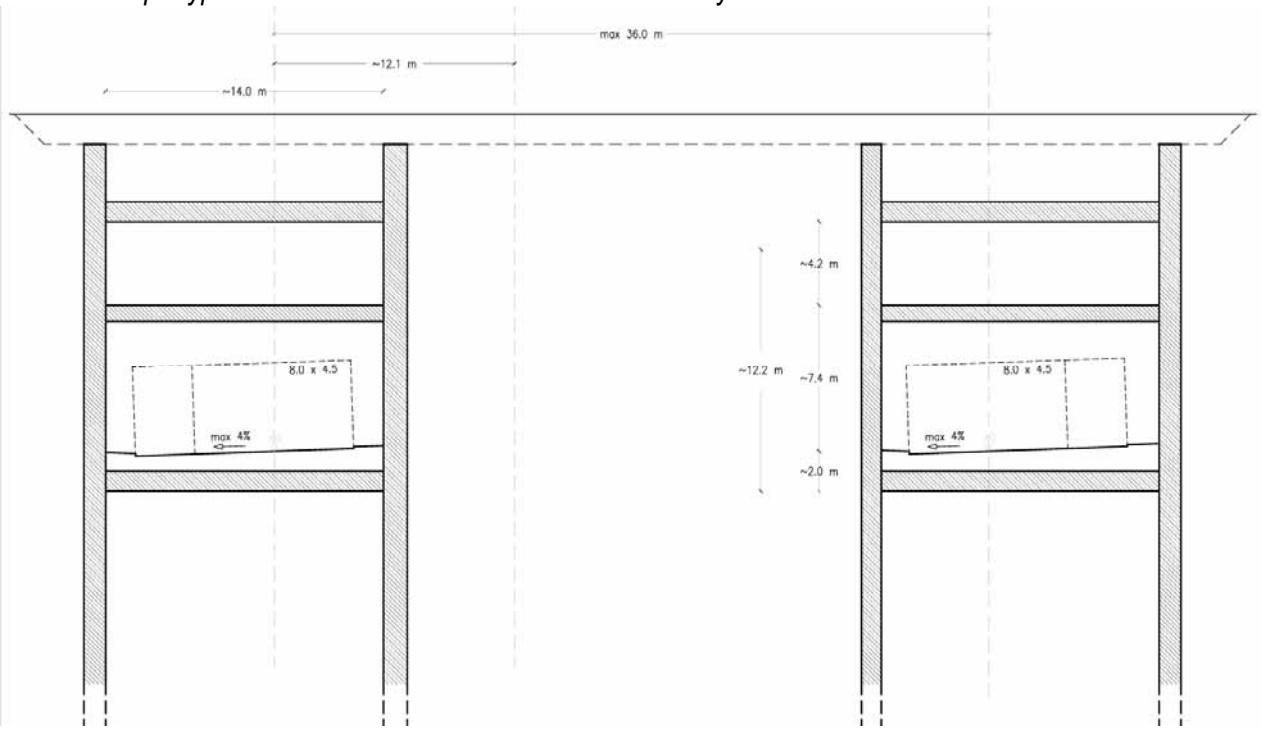
Au franchissement de la Seymaz, le cours d'eau sera provisoirement canalisé et l'ouvrage sera excavé à l'abri d'un système de voûte parapluie.

Au nord de la Seymaz, les deux voies de circulation s'éloigneront et l'ouvrage sera constitué de deux tranchées couvertes réalisées à l'abri des parois moulées.

Dans la zone d'attaque du tunnel de Choulex, une rampe permettra d'accéder au front d'attaque à travers un tronçon élargi de tranchée couverte.



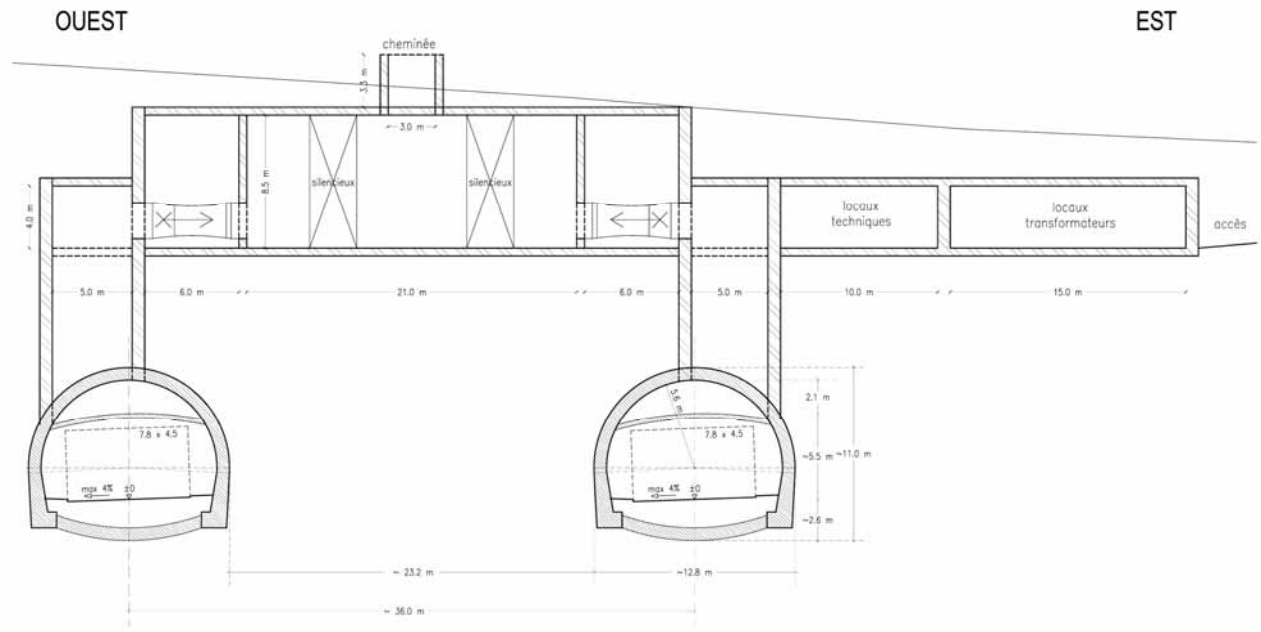
Coupe type de la tranchée couverte – Plaine de la Seymaz



Coupe type de la tranchée couverte – Transition avec le tunnel

11.5.2. Portail Rouelbeau

Au droit de la route de Meinier, la profondeur de l'ouvrage est suffisante pour envisager un travail en tunnel.



Coupe type du tunnel et de la centrale de ventilation – Portail Rouelbeau

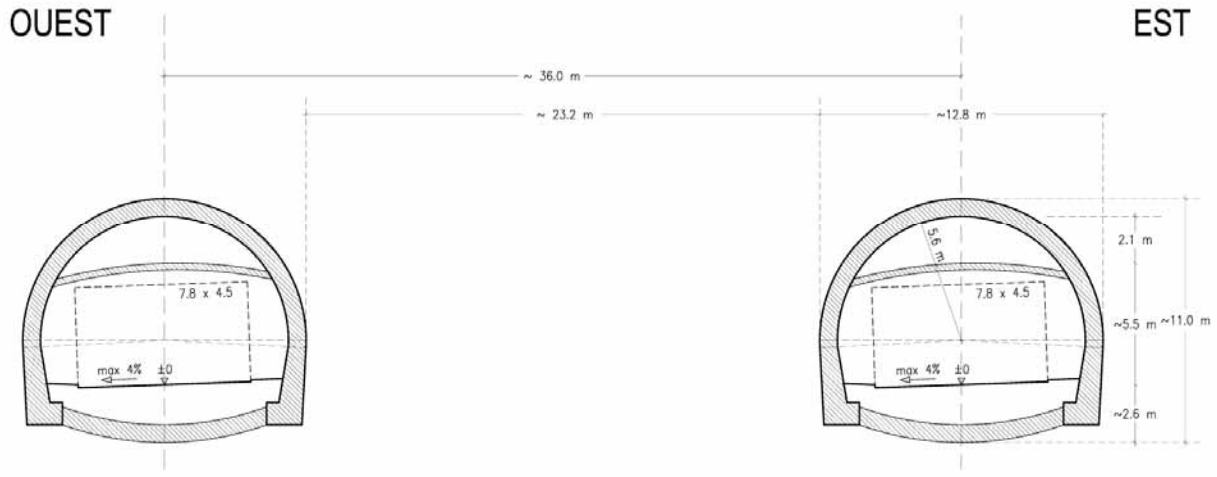
L'excavation interviendra principalement dans une moraine consolidée et probablement en Molasse en radier.

Elle sera précédée par la réalisation d'auréoles de voûtes parapluies.

Seul le tronçon de portail situé au nord de la route de Meinier sera réalisé en tranchée couverte.

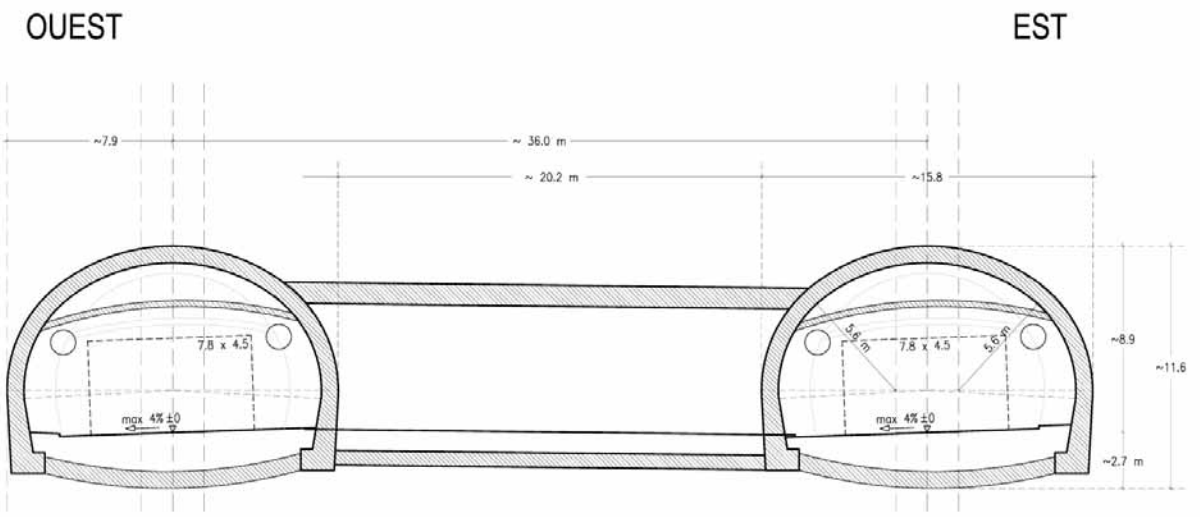
11.5.3. Tunnel

Pour l'essentiel, le tunnel est constitué de deux tubes à deux voies de circulation.



Coupe type tunnel 2 pistes

Au droit des galeries carrossables, le tunnel présentera une section élargie.



Coupe type tunnel section élargie

Dans les zones de portail, ainsi que dans les sections élargies, l'excavation interviendra dans une première étape en calotte et sera suivie par la reprise du stross ainsi que des piédroits et du radier.

Les tunnels comportent un tronçon en moraine d'une longueur d'environ 200 m du côté Puplinge. Ce tronçon sera excavé en pleine section à l'abri de voûtes parapluie.

Dans le tunnel en Molasse, d'une longueur d'environ 1'600 m, on réalisera préalablement une galerie pilote au tunnelier.

L'alésage interviendra au moyen d'une haveuse et le soutènement sera constitué à l'avancement de béton projeté.

La réalisation préalable d'une galerie pilote permettra d'assurer l'évacuation de l'air vicié par aspiration.

Au stade de l'étude de faisabilité, il est admis que le tunnel sera excavé en attaque descendante du nord au sud.

On limite ainsi l'impact des travaux du tunnel sur le site de réalisation de la tranchée couverte et on privilégie l'accès de ce chantier par le secteur de la jonction de Rouelbeau.

12. TRANCHÉE DE LA PLAINE DE LA SEYMAZ (VARIANTE DE TRACÉ)

12.1. Généralités

Dans le cadre des études du tracé de l'autoroute de contournement est de Genève, désignée «Traversée du lac», un mandat a été donné pour l'étude préliminaire de la structure de la tranchée autoroutière du tronçon Puplinge - La Pallanterie, du km 3,500 au km 8,000. Ce tracé en tranchée est développé en alternative à un tracé en tunnel passant sous le village de Choulex.

Les études initiales ont porté sur le tracé établi en date du 11.11.2009, qui a fait l'objet de l'étude environnementale et d'une étude géotechnique et hydrologique. Ces documents de base ont permis d'identifier et de déchiffrer les principales problématiques du tracé proposé. De cette analyse est ressortie une optimisation du tracé initial. Ainsi la deuxième partie de l'étude, qui contient principalement le développement du profil en long et de la structure porteuse, traite du tronçon optimisé Puplinge - Rouelbeau, du km 4.6 au km 7.6 du tracé établi en date du 1.12.2009, dit « Tranchée de la plaine de la Seymaz ».

12.2. Structure de l'étude

La présente étude de tronçon est menée afin d'arriver à des solutions optimales, qui prennent en compte la qualité de la solution technique de la structure porteuse, mais aussi des autres éléments, notamment le choix du tracé. Par conséquent, l'étude a eu un développement multidisciplinaire, incluant:

- identification des contraintes le long du tracé
- analyse et adaptation du tracé aux contraintes identifiées
- analyse et adaptation du profil en long aux conditions géologiques, hydrologiques et environnementales
- choix du type de structure porteuse le long du tracé – tranchée couverte ou ouverte
- développement de variantes du profil en long
- optimisation de la forme de la structure porteuse pour le mode de construction et les sollicitations données (variables principalement en fonction de la profondeur).

Les plannings des travaux sont développés et les coûts d'ouvrage sont estimés afin de comparer les variantes proposées.

Des conclusions et propositions pour les développements futurs sont exposées à la fin d'étude.

12.3. Les contraintes d'étude

Les contraintes prises en compte pendant l'étude peuvent être résumées et classées dans trois catégories :
- Contraintes influençant le choix du tracé: abords de l'ouvrage (urbanisme, voiries), type de terrain (géologie, hydrologie), environnement et écologie.
- Contraintes influençant le choix du type de structure en profil en long (tranchée couverte ou ouverte): toutes les contraintes énumérées ci-dessus, contraintes liées au choix du type de ventilation (naturelle ou mécanique).
- Contraintes influençant le type et la forme de la structure porteuse : sollicitations (profondeur et qualité du terrain), type de ventilation (naturelle ou mécanique), mode de construction.

12.3.1. Environnement, territoire et voiries

Les problématiques environnementales liées à l'insertion de l'ouvrage ont fait l'objet d'une étude. Le point particulier est la protection de l'environnement de la Seymaz et de ses cours d'eau, récemment renaturés, ainsi que la protection de la nappe superficielle phréatique dans la zone de Puplinge. Un gazoduc passe dans la zone concernée par le tracé et il serait souhaitable d'éviter de le traverser. Du point de vue de l'aménagement du territoire, l'organisation actuelle et les prévisions futures montrent un territoire principalement rural. L'ouvrage projeté ne traverse aucune zone de développement future. Il traverse peu de petits chemins et aucune route nationale.

12.3.2. Géologie et hydrologie

L'étude géotechnique est basée sur les données publiques et des archives du bureau mandaté. Aucun sondage particulier n'a été effectué pour cette étude.

Pour le tracé optimisé, un complément à l'étude géotechnique, relatif au profil en long, a été fourni par le géotechnicien avec l'indication des couches géologiques et des conditions hydrologiques probables. Quelques conditions particulières attendues dans la région du tracé sont listées ci-dessous:

- la nappe phréatique superficielle, désignée « Nappe de Puplinge », s'écoule du début du tracé (km 4.6), du coté de Puplinge, jusqu'au croisement avec la Seymaz;
- traversée de la Seymaz;
- la structure du sol en proximité de la rivière est caractérisée par la présence des sables et des graviers en surface; vers le coteau, les couches des gravillons disparaissent ;
- les couches plus profondes sont essentiellement composées de limons argileux de retrait, matériau difficilement réutilisable.

12.3.3. Ventilation

Le développement de variantes intéressantes du point de vue environnemental a conduit vers des solutions de tracé majoritairement en tranchée couverte. Dans cette optique, une étude sur les possibilités de ventilation naturelle ou mécanique a été réalisée.

Pour la solution retenue, le tronçon couvert le plus long dépasse 1 km. Son tracé passe sous la Nappe de Puplinge, afin d'éviter de créer l'effet de barrage. Une ventilation mécanique sera donc nécessaire pour ce tronçon. En raison de ses caractéristiques de longueur et de pentes longitudinales, un système de ventilation simple, sans aspiration en cas de sinistre, peut être utilisé. Il est possible d'éviter les ventilations mécaniques pour le restant du tracé, ce qui donne un avantage certain de ce type de tranchées par rapport à des solutions en tunnel, en particulier en termes d'exploitation.

12.3.4. Mode de construction

Les choix du système structural et de son mode de construction sont guidés par le souci de minimiser l'impact environnemental de l'ouvrage, tout en permettant une réalisation des travaux sans difficultés majeures. Les contraintes liées à la géologie et l'hydrologie des zones concernées sont également respectées; les points les plus délicats sont la zone de la nappe de Puplinge, la traversée de la Seymaz et les zones inondables.

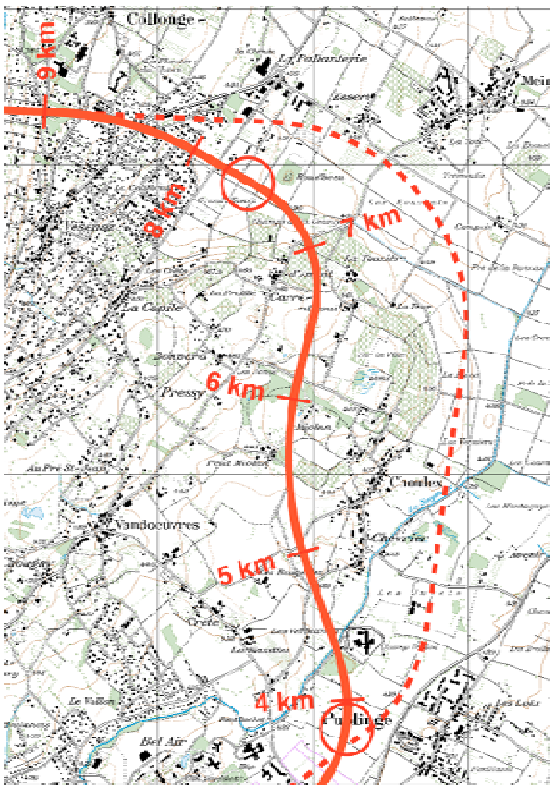
12.4. Choix de tracé

L'étude a d'abord porté sur le tracé général proposé en date du 11.11.2009. Pour le tronçon étudié, selon la figure ci-après (a), ce tracé est identique à celui proposé en mai 2009 pour lequel un rapport géotechnique a été établi.

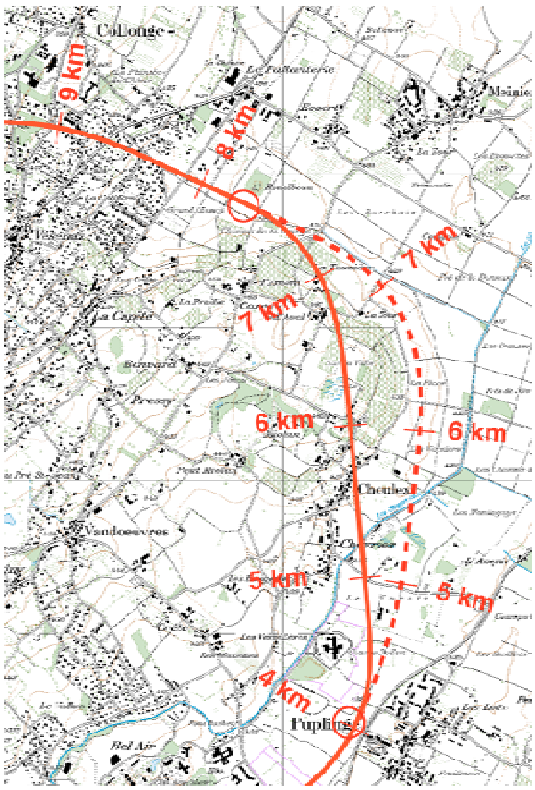
L'analyse préliminaire de ce tracé a mis en évidence plusieurs éléments critiques, notamment du point de vue environnemental.

En collaboration avec le bureau chargé d'une proposition de tracé général, il a donc été développé une nouvelle variante du tracé, selon la figure ci-après (b), afin de mieux répondre aux contraintes données (ch. 12.3). Les extrémités du tronçon concerné sont les jonctions de Puplinge et de Rouelbeau, situées approximativement au km 4 et au km 8. Compte tenu de la longueur nécessaire pour les jonctions, la structure en tranchée couverte et ouverte s'étend entre le km 4.6 et le km 7.6. Ce tronçon est désigné « Tranchée de la plaine de la Seymaz ».

a) variante du 11.11.2009



b) variante du 1.12.2009



Avantages du nouveau tracé :

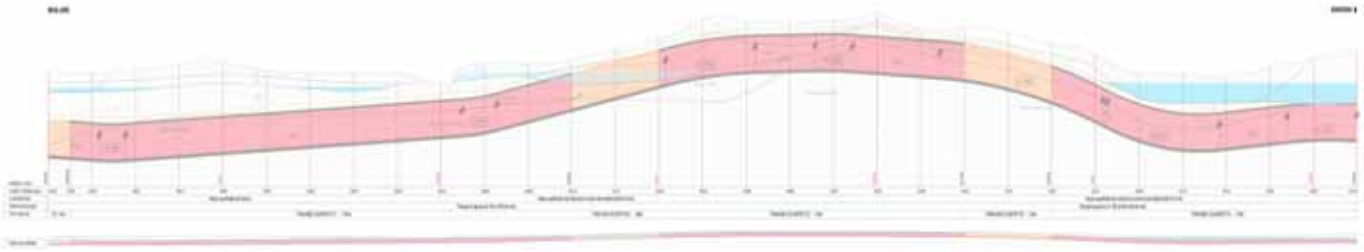
Les avantages principaux de la nouvelle variante du tracé sont:

- le tracé ne traverse plus les secteurs de sensibilité environnementale élevée, ni les zones inondables et les périmètres renaturés.
- la Seymaz n'est traversée qu'une seule fois au lieu de deux;
- le gazoduc n'est plus traversé;
- la longueur générale du tracé est diminuée d'environ 700m;
- sur le coteau de Choulex, l'ouvrage traverse des sols de meilleure qualité et probablement sans la présence d'une nappe caractérisée. La couche perméable est plus mince et l'ouvrage sera donc moins profond.

12.5. Développement du profil en long

Afin de diminuer l'impact de la nouvelle route, la structure se situe sous le niveau du terrain naturel. Le long du secteur caractérisé par la présence de la nappe phréatique superficielle de Puplinge, la tranchée couverte est projetée sous le niveau de la nappe afin d'éviter la formation d'effet de barrage. Par ce choix, le mouvement des eaux souterraines n'est pas dérangé et aucune conséquence environnementale n'est attendue. Dans ces zones, la couverture de terre est importante ; elle atteint un maximum de 9m. Une réflexion similaire conduit à projeter le dernier tronçon du tracé, situé dans la zone inondable, sous la couche géologique perméable (désignée 6b), ce qui permet une accumulation de l'eau sans perturbation lors de la crue. En dehors de ces zones, la profondeur de la structure est minimisée tout en permettant de rétablir l'épaisseur de la couche de terre nécessaire aux activités agricoles.

Les niveaux de la chaussée et les pentes longitudinales au km 4.6 (le debout de l'ouvrage) et au km 7.6 (la fin), sont imposés par le projet afin de permettre les raccordements à la jonction de Puplinge (vers km 4) et de Rouelbeau (vers km 8). Les rayons de courbures et les pentes minimales de la chaussée pour la catégorie d'autoroute définie sont respectés sur toute la longueur.



Profil en long

12.6. Choix du type de tranchée

La route considérée pourrait bénéficier d'une structure couverte tout le long, ou partiellement ouverte. Dans le premier cas, la longueur totale de 3 km nécessiterait des installations techniques, notamment un système de ventilations avec aspiration des fumées en cas de sinistre, similaire à celui d'un tunnel. Afin de concevoir une solution plus compétitive par rapport au tunnel, pas uniquement lors de la construction, mais aussi pendant l'exploitation, nous avons recherché des solutions utilisant alternativement des parties couvertes et ouvertes selon une succession qui optimise les installations de ventilation.

Des études spécifiques ont permis de minimiser l'impact des tronçons ouverts. Il a été ainsi déterminé les longueurs maximales des parties couvertes, permettant une ventilation naturelle ou une ventilation mécanique mais sans aspiration en cas de sinistre, tout en alternant des parties ouvertes de longueur minimale.

Situation

Selon les résultats de cette étude, les tranchées couvertes doivent être précédées et suivies par des tronçons ouverts d'une longueur de 200 m minimum. En limitant les pentes longitudinales moyennes, pour le profil et les conditions du trafic, les longueurs des tranchées couvertes sont limitées à 700 m pour une ventilation naturelle et à 1150 m pour un système de ventilation mécanique sans aspiration des fumées en cas de sinistre.

Respectant les contraintes données ainsi que les conditions géologiques, hydrologiques et environnementales le long du tracé, plusieurs variantes de répartition des parties couvertes et ouvertes ont été étudiées. La variante retenue et présentée dans ce rapport est la plus équilibrée en termes d'impact environnemental et de coûts. Elle consiste en trois parties couvertes, désignées TC1 à TC3 d'une longueur totale de 2550 m, et trois parties ouvertes, TO1 à TO3 d'une longueur totale 450 m (Tableau 1). Seule la TC1, d'une longueur de 1150 m, est ventilée mécaniquement. Pour éviter un recyclage de l'air, il faut prévoir une séparation d'au moins 30 m entre les entrées des deux voies de circulation en plan.

Tableau 1 : Répartition des parties couvertes et ouvertes de la tranchée proposée

Tranchée	Désignation	Position en situation	Longueur [m]	Ventilation
ouverte	TO1	km 4.6 à km 4.65	50	-
couverte	TC1	km 4.65 à km 5.8	1150	mécanique sans
ouverte	TO2	km 5.8 à km 6.0	200	-
couverte	TC2	km 6.0 à km 6.7	700	naturelle
ouverte	TO3	km 6.7 à km 6.9	200	-
couverte	TC3	km 6.9 à km 7.6	700	naturelle

Parmi les autres répartitions possibles, il est présenté brièvement une option alternative, avec ventilation naturelle uniquement. Les longueurs totales des tranchées couverte et ouverte sont 2400 m et 600 m respectivement (Tableau 2). Cette option a également été présentée dans l'étude de ventilation. L'impact environnemental de la première solution reste cependant moins important, ce qui explique le choix effectué.

Tableau 2 : Répartition des parties couvertes et ouvertes de la tranchée alternative sans ventilation mécanique

Tranchée	Désignation	Position en situation	Longueur [m]	Ventilation
couverte	TC1'	km 4.6 à km 4.95	350	naturelle
ouverte	TO1'	km 4.95 à km 5.15	200	-
couverte	TC2'	km 5.15 à km 5.85	700	naturelle
ouverte	TO2'	km 5.85 à km 6.05	200	-
couverte	TC3'	km 6.05 à km 6.7	650	naturelle
ouverte	TO3'	km 6.7 à km 6.9	200	-
couverte	TC4'	km 6.9 à km 7.6	700	naturelle

12.6.1. Intégration paysagère

Une intégration discrète dans le paysage des parties ouvertes semble facilement réalisable. A titre d'exemple, il a été réalisé des photomontages du tronçon ouvert, probablement le plus critique en termes d'intégration, le TO2 entre la TC1 et la TC2, situé en contrebas de la colline de Choulex. L'image de la Figure a) montre son impact sans aucun artifice d'intégration. La Figure b) donne un aperçu de l'intégration avec une intervention paysagère par une arborisation des abords qui dissimule complètement l'ouvrage.

Figure a) sans arborisation

Figure b) avec arborisation

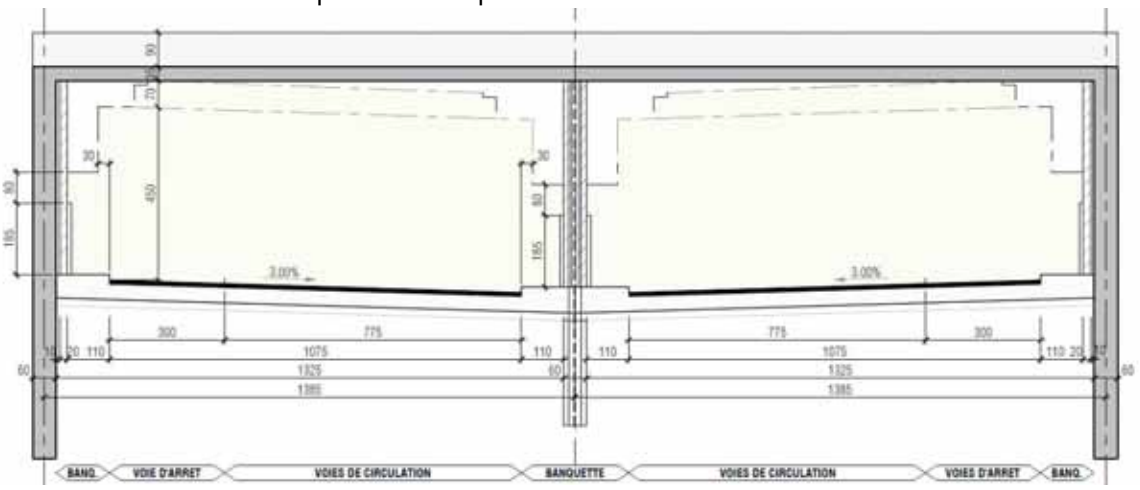
12.7. Choix de la section transversale

La structure porteuse est conçue pour:

- respecter le gabarit pour le profil exigé,
- présenter une forme et des dimensions optimales en fonction des sollicitations et du mode de construction prévu.

12.7.1. Gabarit de la route

Le gabarit de la route est défini selon les indications des Directives de l'Office Fédéral des Routes du 1.01.2002, VSS SN 640. Le profil standard d'une route nationale (autoroute) à 4 voies en tranchée couverte comprend deux voies de circulation et une voie d'arrêt dans chaque direction. Chaque chaussée a ainsi une largeur de 10.75 m. Elle est bordée par deux banquettes de 1 m.



Gabarit de la route et profil standard à 4 voies, route nationale en tranchée couverte

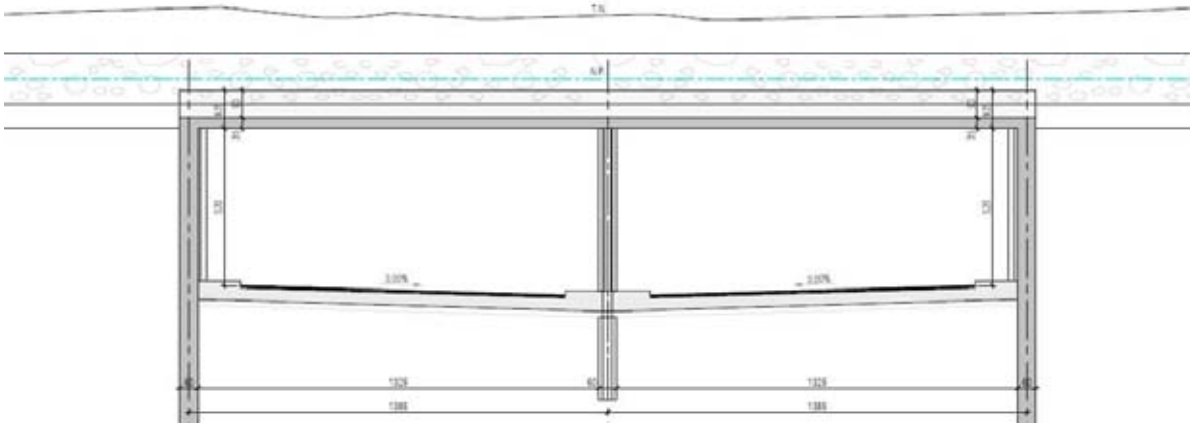
Il faut noter que pour chaque chaussée, le profil de la tranchée est plus large de 3 m (correspondants à une voie d'arrêt) que celui du tunnel ; soit 2 x 3 = 6 m pour la largeur totale du profil.

12.7.2. Section transversale de la tranchée couverte

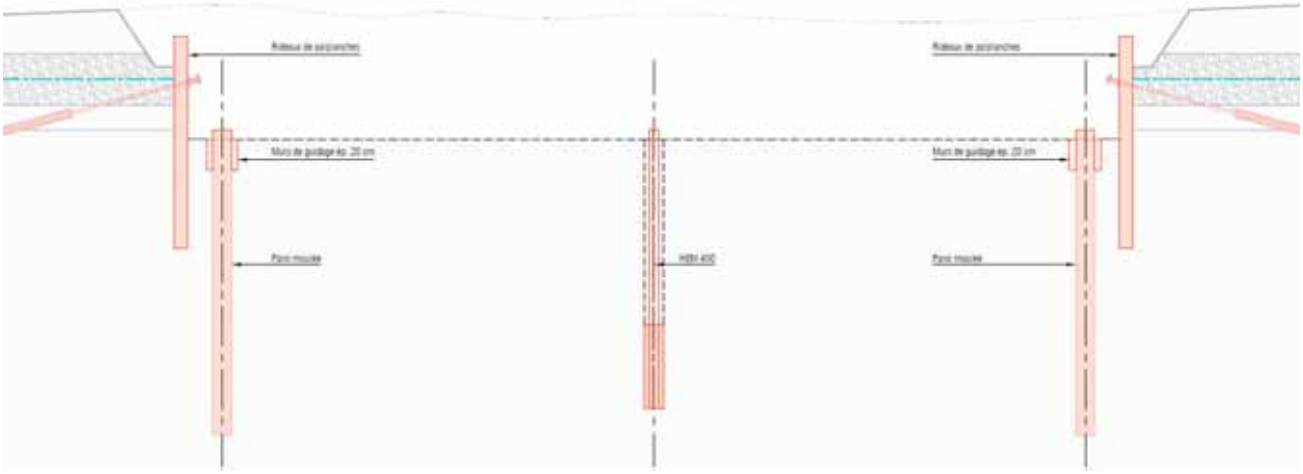
Le long du tracé, la structure porteuse est soumise à des sollicitations d'intensité variable, dues essentiellement à la variation de sa profondeur. Néanmoins, le même principe de structure porteuse est maintenu tout le long. La forme structurale est optimisée, principalement pour permettre un mode de construction rapide et répétitif, donc économique.

La structure porteuse en béton armé précontraint est symétrique, avec l'axe de symétrie situé entre les deux chaussées.

Les principaux éléments porteurs sont la dalle nervurée, constituée de sommiers précontraints préfabriqués et la dalle coulée in-situ, des parois moulées et du radier. Ce système permet une utilisation optimale des éléments porteurs, tant en phase d'exécution qu'au stade final. La dalle est située au niveau inférieur des nervures ce qui donne une surface lisse de l'intrados. Voir structure porteuse ci-dessous.



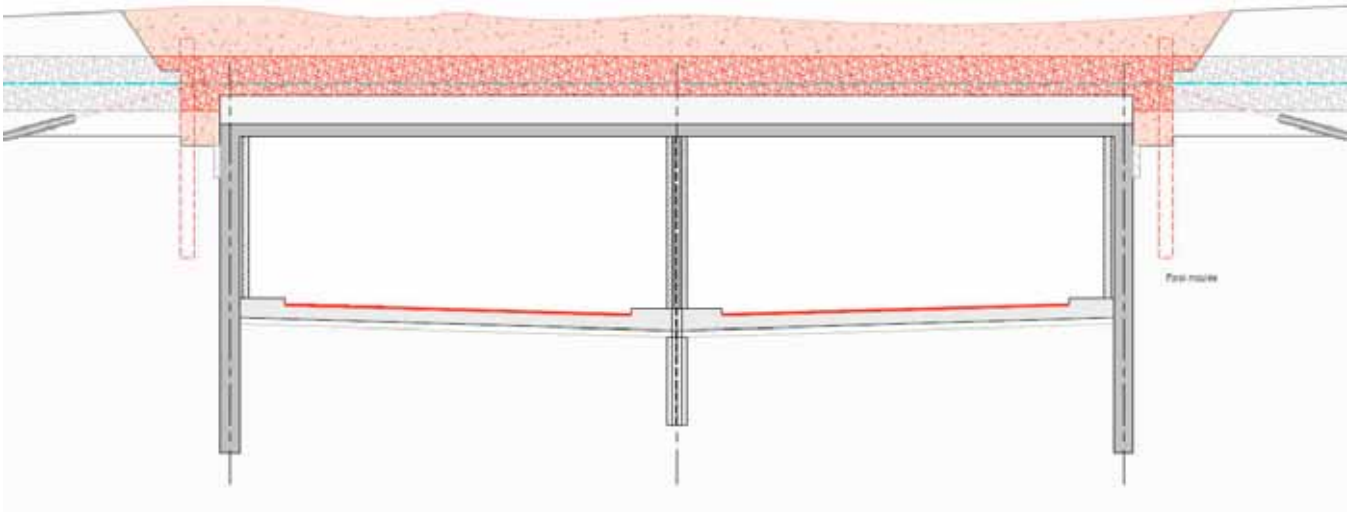
L’excavation de la tranchée est effectuée à l’aide de parois moulées afin de diminuer l'impact au niveau de l'emprise. Celles-ci sont également utilisées comme éléments porteurs définitifs. L'excavation du profil sera réalisée en étayant les parois moulées par les traverses préfabriquées précontraintes (butons) qui, au stade final, fonctionnent comme sommiers renversés de la dalle supérieure. La distance entre les axes des parois moulées étant 27.7 m, un porteur intermédiaire sera foré dans le sol selon l’espacement des traverses. En cas de couverture importante et surtout en présence de la nappe, des blindages périphériques par des rideaux de palplanches sont prévus. Ces éléments ont un caractère provisoire.



Etape de construction: travaux spéciaux

En fonction de la profondeur, la principale variable liée à la structure est l’espacement des sommiers - nervures de la dalle supérieure. Ces espacements varient entre 3 et 4 m. Deux variantes de mode de fabrication de la dalle sont étudiées: la dalle coulée sur des prédalles préfabriquées, posées entre les poutres, et la dalle coulée sur le coffrage glissant. La variante retenue est la deuxième car elle permet de développer plus efficacement la connexion avec des nervures.

Des murs de doublages et des carrelages sont prévus sur toute la longueur de la structure. Ces murs sont également préfabriqués et ils sont posés avant le bétonnage de la dalle.

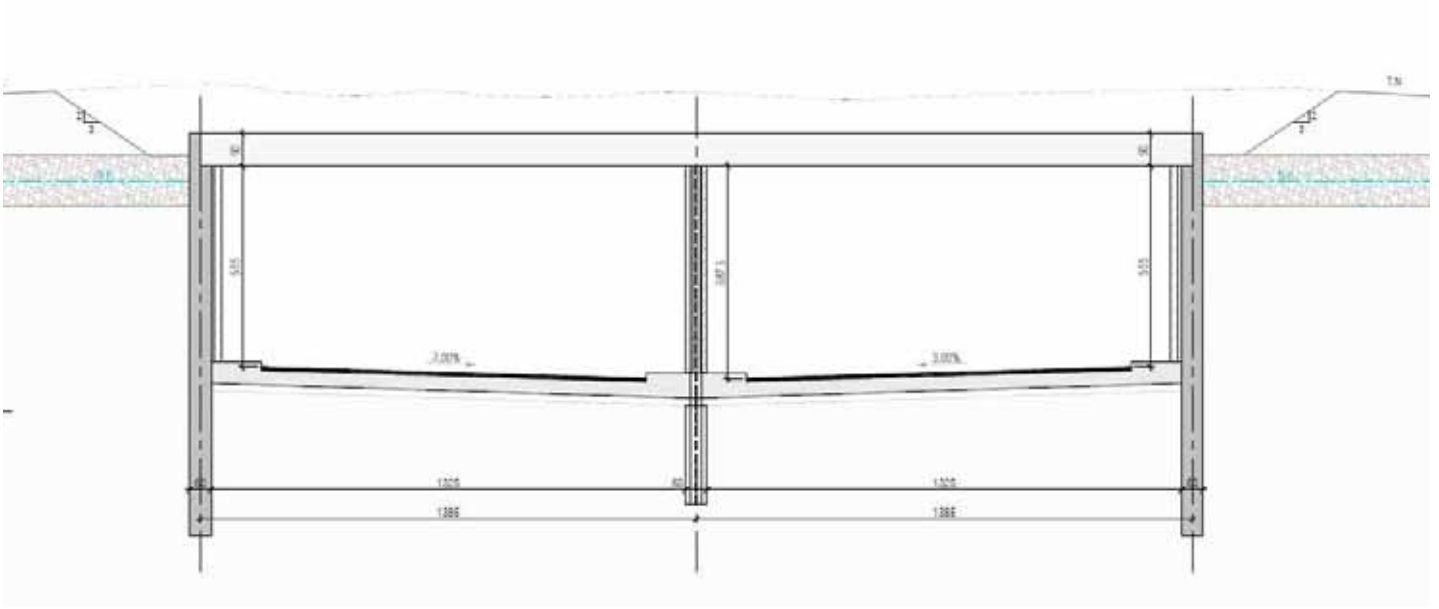


Etape de construction: reconstitutions des couches de terrain initiales

Après l’exécution de gros-œuvre, la couche de terre sur la structure est reconstituée, permettant de rétablir la circulation naturelle des eaux et/ou les activités agricoles dans les zones concernées. Pour la structure positionnée sous la nappe phréatique, ou sous un terrain perméable, une couche de sol étanche (argileuse) de 50 à 80cm est restituée sur la structure, sous des couches de gravillon.

12.7.3. Section transversale de la tranchée ouverte

Afin de limiter l'emprise de l'ouvrage sur le site, la même typologie structurale est adoptée pour les parties ouvertes (TO1, TO2 et TO3) selon la figure ci-dessous. Les poutres préfabriquées tiennent la poussée des terres en tête des parois moulées et un simple talus récupère le niveau du terrain naturel. En cas de présence de la nappe, le profil en long est déterminé de façon à ce que la paroi moulée puisse la retenir.



Section transversale de la tranchée ouverte

12.8. Conclusions

L'étude préliminaire de la Tranchée de la plaine de la Seymaz a permis de mettre en évidence les principales contraintes, notamment environnementales, qui grevaient le tracé initialement prévu.

De cette analyse est ressortie une variante de tracé plus intéressante et mieux adaptée aux principales contraintes du projet.

Ainsi, l'ouvrage parcourt les 3 km du tracé dans une large mesure en tranchée couverte (2.55 km) positionnée à des profondeurs variables en fonction de la présence de la nappe phréatique, de manière à ne pas perturber son régime.

Les parties ouvertes sont localisées pour permettre une ventilation naturelle ou mécanique simple des tubes. Une longueur minimale de 200 m est nécessaire. Leur intégration dans le paysage ne pose pas de problème particulier ; seul l'aspect phonique devrait être approfondi mais des solutions simples d'absorption pourraient être mises en place si nécessaire.

La structure porteuse est une structure en béton armé précontraint, optimisée principalement pour permettre un mode de construction rapide et répétitif en favorisant l'utilisation d'éléments préfabriqués.

Les coûts et la planification des travaux ont été évalués. Ils sont représentatifs de l'ouvrage étudié et peuvent servir de base comparative dans une vision plus ample du projet de la Traversée du lac, notamment en ce qui concerne le tracé en tunnel sous Choulex.

Pour la suite des études, il est recommandé une évaluation environnementale, géotechnique et hydrologique, approfondie et plus précise du tracé proposé.

13. TUNNEL DE COLLONGE

13.1. Projet de référence

L'ouvrage, d'une longueur totale d'environ 2'000 m, comporte un tunnel ainsi que les tranchées couvertes des zones de portails. Il se prolonge dans le lac par un tronçon constitué de caissons noyés et d'une trémie de sortie formant une île permettant l'accrochage sur le viaduc.

Le tunnel proprement dit, d'une longueur de 1'650 m, s'étend de la route de la Capite à la rive du lac, au droit de l'actuel camping de La Pointe-à-la-Bise.

Ce tronçon est constitué d'une tranchée et d'une centrale de ventilation dans le secteur du portail Rouelbeau, d'un tunnel sous la commune de Collonge-Bellerive ainsi que d'une tranchée couverte entre le Chemin des Marèches et la rive du lac, dans l'actuel camping de La Pointe-à-la-Bise.

13.1.1. Profil en long

L'ouvrage franchit la route de la Capite à une profondeur d'environ 15 m sous le terrain naturel et s'enfonce progressivement dans la colline, avec une pente longitudinale d'environ 5%.

Il présente un point bas immédiatement à l'ouest du chemin des Marèches. A cet endroit, le projet se situe environ 15 m sous le terrain naturel.

Vers l'ouest, le projet remonte pour se raccorder au viaduc de franchissement du lac, au niveau duquel le profil en long présente une pente d'environ 6%.

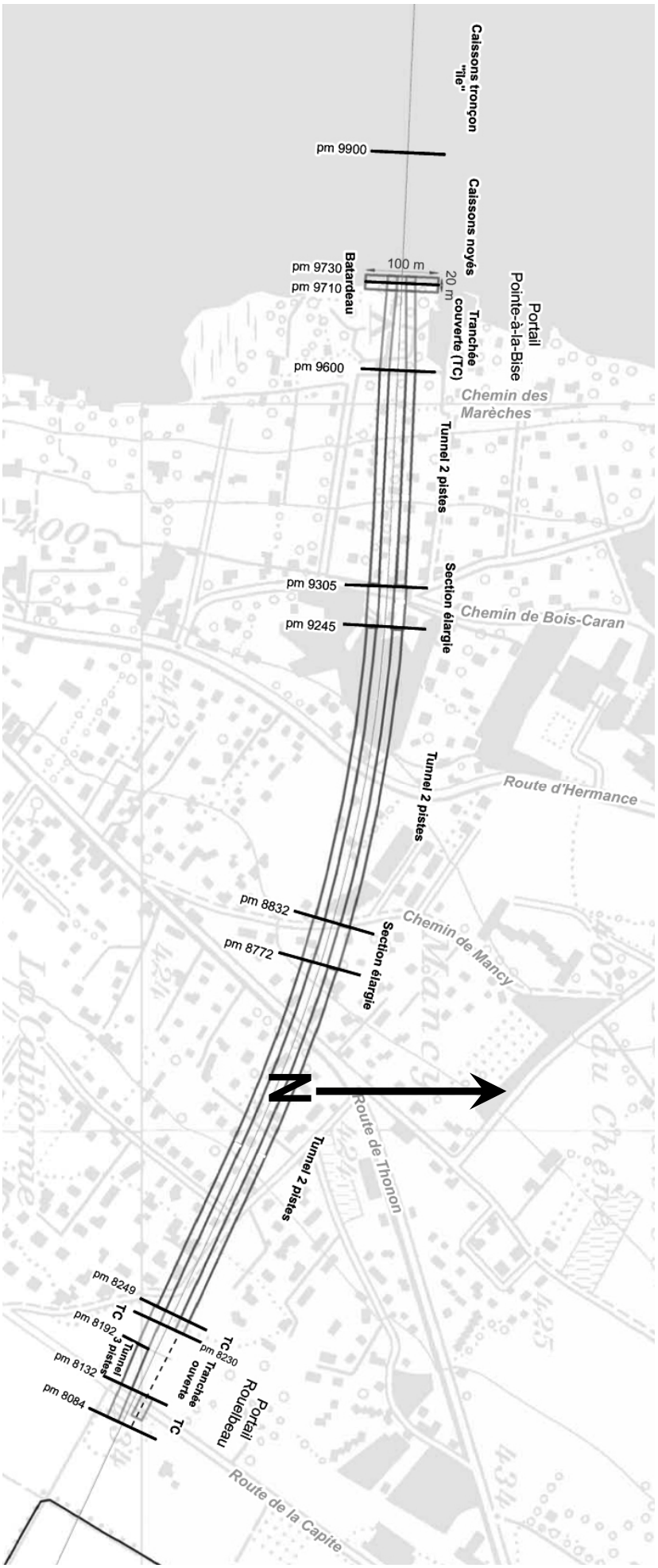
13.1.2. Accrochage Rouelbeau

L'accès à l'ouvrage s'effectue depuis la jonction de Rouelbeau par une tranchée.

La proximité de la jonction de Rouelbeau nécessite cependant la création de pistes d'accélération et de décélération jusqu'à une distance d'environ 130 m à l'ouest de la route de la Capite. Cet élargissement de la chaussée implique la création d'un tunnel trois pistes pour le tube sud qui accueillera l'amorce de la piste de décélération alors que le portail du tube nord doit être implanté à 130 m de la route de la Capite de manière à permettre la réalisation de la piste d'accélération à l'air libre.

Les aménagements du portail de Rouelbeau englobent également la création d'une centrale de ventilation destinée à assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Tunnel de Collonge
Situation générale



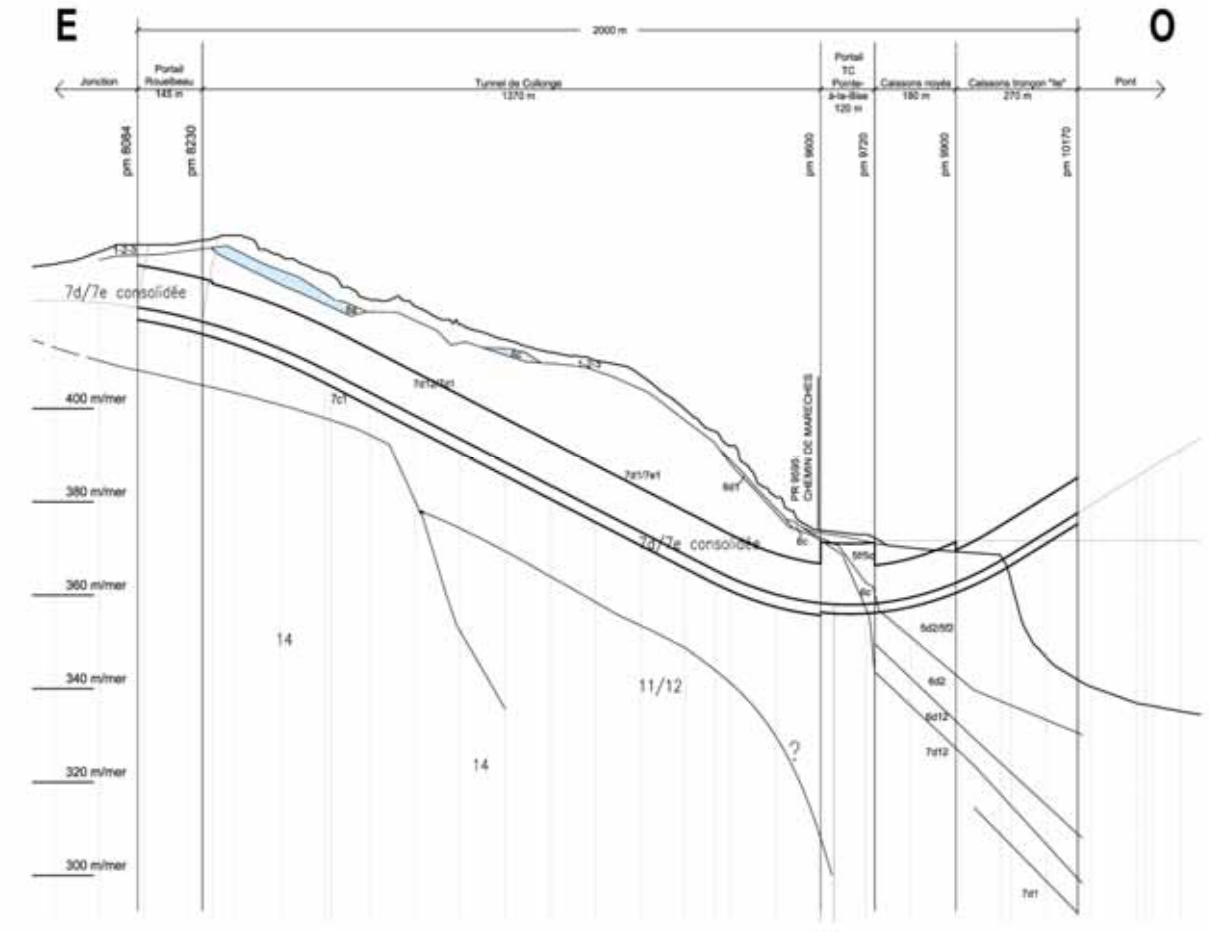
13.1.3. Accrochage au viaduc au portail Pointe-à-la-Bise

Le viaduc se prolonge par un tronçon réalisé en caissons noyés fondés sur pieux. La liaison entre cet ouvrage et la tranchée couverte s'effectue au travers d'un batardeau correspondant à la rive actuelle.

La sensibilité du site et les limitations d'accès à ce secteur conduiront à réaliser une partie des travaux depuis le lac.

La tranchée couverte, occupant l'actuel camping, présentera un gabarit permettant la mise en place de ventilateurs longitudinaux tout en assurant le passage des gaines d'évacuation de l'air vicié, principalement en cas d'incendie.

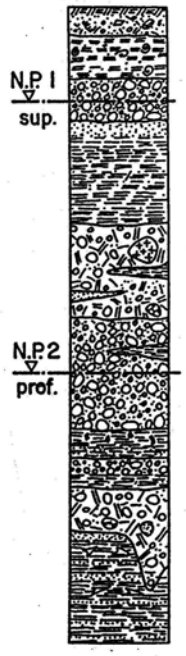
13.2. Conditions géologiques et hydrologiques



Légende du profil géologique interprétatif

La numérotation des couches se rapporte à une classification unifiée des sols de la cuvette genevoise. Cette classification tient compte de la géologie et des particularités géotechniques des sols.

CLASSIFICATION DES SOLS GENEVOIS ET PROFIL TYPE DE LA CUVETTE GENEVOISE



COUPE	PHASE	COUCHE	
		1, 2	COUVERTURE ET REMBLAIS
	c, d, e	3	RUISSELLEMENT
	a, b, c	4	ALLUVIONS
	a, b, c, d, e, f	5	DEPOTS LACUSTRES
	a, b, c, d, e	6	FORMATIONS DE RETRAIT
	c, d, e	7	MORAINE
	a, (b, c)	9	CAILLOUTIS MORAINIQUES PROFONDS "Alluvion ancienne auct"
	c, d, e	10	INTERGLACIAIRE RISS-WURM
	a, b, c, d	11	FORMATIONS DE RETRAIT
	c, d, e	12	MORAINE
	b, c, d, e	14	MOLASSE OLIGOCENE
	b, c, d, e	15	

PRINCIPE DE NUMEROTATION

Npx,y

N No de la formation

p Phases :
- a graveleuse
- b sableuse
- c limoneuse
- d limono-argileuse
- e argileuse
- f crayeuse

x compacité et consistance :
- 1 élevée — dure à très dure
- 1-2 moyenne — ferme
- 2 faible — tendre à molle

y phase
- 3 altérée

Terrains récents
1 Terrains de couverture, sols actuels (remblais)
2 Remblais

Terrains holocènes
3 Eboulis, formations de pente, colluvions, limon de ruissellement
4 Alluvions de terrasses
5 Dépôts ou vases lacustres, tourbe, craie lacustre

Terrains glaciaires würmiens
6 Formations supraglaciaires de retrait
7 Moraine à cailloux et blocaux alpins
8 Dépôts intramorainiques ou intraformationnels
9 Cailloutis morainiques profonds ou "alluvion ancienne"

Terrains attribués à l'interglaciaire Riss-Würm
10 Interglaciaire

Terrains glaciaires attribués au Riss
11 Formation de retrait
12 Moraine à cailloux et blocaux alpins
13 Dépôts intramorainiques ou intraformationnels

Substratum rocheux molassique
14 Complexe de la Molasse grise du Chattien supérieur
15 Complexe de la Molasse rouge du Chattien inférieur

Dans le secteur concerné, le substratum est constitué de molasse grise du Chattien supérieur. Cette formation ne devrait pas être atteinte par le projet.

L'essentiel du tunnel sera réalisé dans des moraines würmiennes consolidées.

A l'approche du lac, le toit de la moraine s'abaisse rapidement et les moraines sont masquées par une épaisseur variable de formations de retrait mal consolidées puis de formations lacustres de très mauvaise qualité.

Les indications disponibles montrent que le toit de la moraine devrait être proche du niveau du terrain naturel au droit du chemin des Marèches et qu'il s'approfondit rapidement et n'est atteint qu'à 25 m au niveau de la rive actuelle.

Les sondages récents effectués dans le lac montrent que la plate-forme de faible profondeur existant sur une largeur de 250 m environ, est essentiellement constituée de formations lacustres molles dont l'épaisseur dépasse 25 m lorsque l'on s'éloigne de la rive.

L'hydrologie locale est marquée par la présence du lac et par la possibilité de rencontrer au sein des formations morainiques, des nappes locales susceptibles d'être en charge.

Les sondages effectués dans le lac ont en effet montré la présence de nappes artésiennes dans les formations morainiques.

Les quelques sondages existants dans la colline indiquent également la présence de niveaux graveleux dans la moraine. Ceux-ci sont susceptibles d'abriter de petites nappes en charge.

Le niveau du projet se situe à 15 m sous le niveau du terrain naturel dans les zones de portail, assurant ainsi une couverture minimum de 7 à 8 m au-dessus du tunnel. En calotte, sous les zones construites, la couverture est toujours supérieure à 15 m.

13.3. Ventilation, sécurité

Le concept de ventilation et de sécurité tient compte des conditions urbaines du projet, des risques d'un trafic congestionné, ainsi que d'une vitesse de projet de 100 km/h.

13.3.1. Sécurité, galeries d'évacuation

Le tunnel est constitué de deux tubes de deux pistes de circulation.

Le profil en long présentant une pente de 5%, l'intervalle entre les galeries transversales doit être au maximum de 250 m. Il est également nécessaire de prévoir deux galeries transversales carrossables.

Au stade de l'étude de faisabilité, il a été admis que l'ouvrage serait équipé de cinq galeries transversales piétonnes et de deux galeries carrossables.

13.3.2. Concept général de ventilation

En situation d'exploitation normale du tunnel, incluant le cas d'un trafic congestionné, la ventilation est assurée par un système longitudinal.

Une accélération par ventilateur de jet est assurée dans le cas du trafic congestionné ou d'une péjoration de la qualité de l'air.

L'environnement des zones de portail permet, a priori, le rejet de l'air vicié directement au portail.

La ventilation en cas d'incendie nécessite la création, sur toute la longueur du tunnel, d'une gaine d'aspiration de l'air vicié ainsi que la construction d'une centrale d'aspiration et de rejet de l'air vicié.

Diverses implantations ont été envisagées pour les centrales de ventilation, et la solution retenue prévoit une centrale unique au portail Rouelbeau surmontée d'une cheminée dynamique d'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Dès lors que cette centrale ne sera appelée à fonctionner qu'en cas d'incendie, l'impact sonore de son fonctionnement est admissible à proximité d'une zone d'habitation et ne nécessite pas de prise en considération du degré de sensibilité au bruit.

La disposition des ventilateurs de jet sur la longueur du tunnel a également été envisagée. Ces ventilateurs seront placés dans des sections élargies, soit au niveau des portails, soit au niveau des galeries transversales carrossables.

13.3.3. Incidence du concept de ventilation sur les coupes types

Les tunnels comporteront une gaine d'aspiration de l'air vicié en calotte.

L'adjonction locale de ventilateurs de jet nécessite des sections élargies, qui se situeront au droit des galeries carrossables.

Dans la tranchée couverte de La Pointe-à-la-Bise, une surélévation du profil permet la mise en place des ventilateurs de jet sous la gaine d'aspiration de l'air vicié.

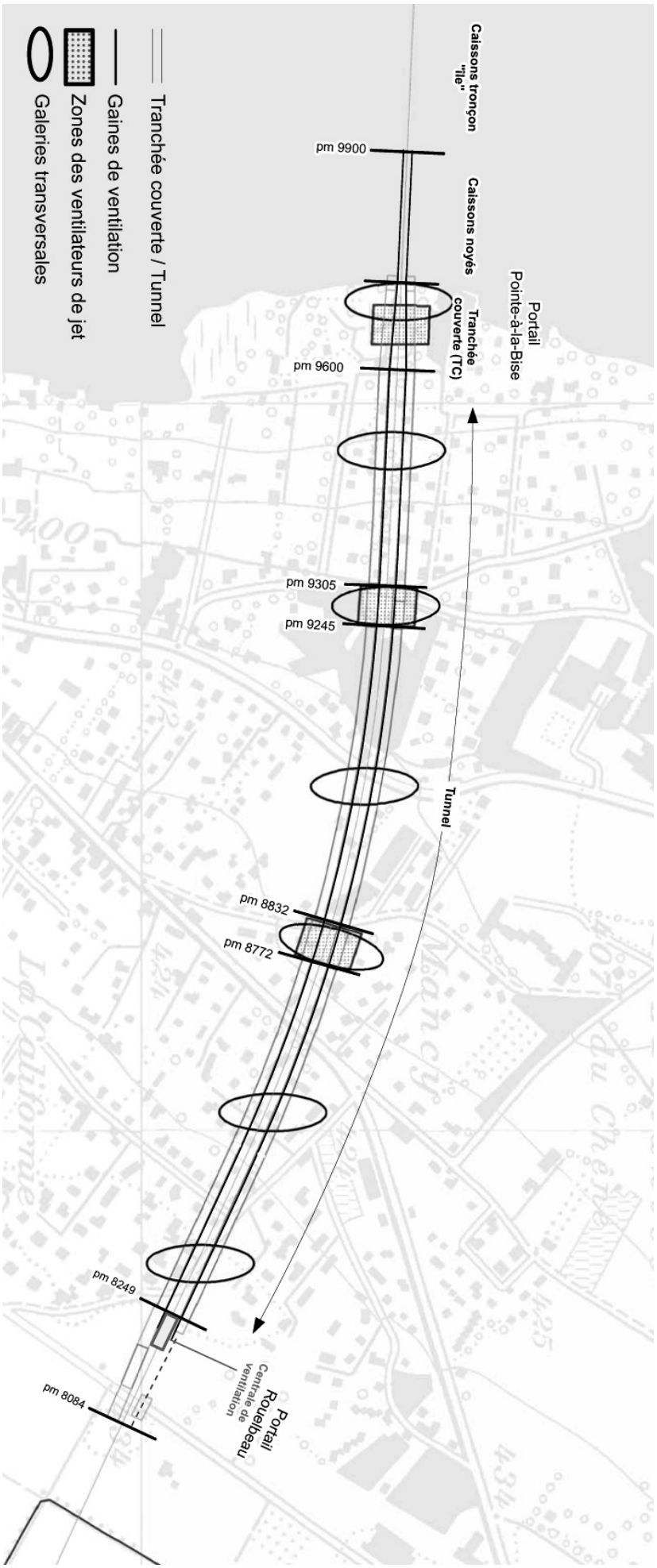
La longueur du tronçon en caissons noyés nécessite également la création d'une gaine d'aspiration de l'air vicié en calotte.

Par contre, le dernier tronçon à l'ouest, constituant une île dans laquelle la chaussée pénètre en trémie depuis le viaduc, ne comporte pas de gaine de ventilation.

13.3.4. Implantation des centrales, sites envisageables

Une visite des lieux a permis d'identifier un certain nombre de sites sur lesquels des centrales pourraient éventuellement être implantées.

Une rapide analyse des coûts et des nuisances, générés par ces centrales, conduit à renoncer, à ce stade, à la création de centrales intermédiaires ainsi qu'à la création d'une centrale en bordure du lac à La Pointe-à-la Bise. A ce stade, le concept de ventilation retient donc la création d'une centrale unique au portail Rouelbeau.



Situation des galeries de fuite, des ventilateurs de jet, des gaines de ventilation et de la centrale de ventilation

13.4. Principaux impacts environnementaux et remèdes préconisés

13.4.1. Centrales de ventilation

Il convient de rappeler que les centrales de ventilation ne sont appelées à fonctionner qu'en cas de trafic fortement congestionné ou d'incendie.

Du point de vue de l'impact visuel, la centrale sera enterrée et seul un petit bâtiment permettra d'assurer la sortie de la cheminée d'air vicié. S'agissant d'une cheminée dynamique, elle ne présente pas de superstructure portant atteinte au paysage.

13.4.2. Problématique des accès et emprises du chantier Pointe-à-la-Bise

Le réseau d'accès routier au site de La Pointe-à-la-Bise ne paraît pas compatible avec l'organisation d'un chantier de génie civil important.

On relève par ailleurs que l'ouvrage aura une emprise sur le lac non négligeable et nécessitera de toute manière l'organisation d'un système d'accès lacustre.

A ce stade, il apparaît que l'implantation d'une installation de chantier et de transbordement est difficile en rive gauche. Le concept des travaux tient donc compte de la création d'une tête de pont en bordure de la rive et d'un accès principal lacustre depuis le secteur du Vengeron.

Les accès routiers au secteur de La Pointe-à-la-Bise seront par conséquent limités à la création des installations de chantier et aux accès du personnel alors que les transports de matériaux s'effectueront principalement par voie lacustre.

Cette démarche permet de limiter les emprises terrestres du chantier à la partie aval du camping, à l'ouest du chemin des Marèches, sans empiéter sur le port de pêche au nord ni sur la réserve naturelle de La Pointe-à-la-Bise.

En limitant également les accès routiers, ce concept permet de respecter la tranquillité du secteur et de ses habitants.

13.4.3. Evacuation des déblais

Au stade de l'étude de faisabilité, il est prévu de créer une tête de pont en bordure de la rive et d'évacuer tous les déblais par barge en direction du Vengeron puis de procéder à un noyage des déblais non réutilisables dans le lac.

L'acceptabilité et l'autorisation du noyage doivent encore faire l'objet d'une analyse globale sur l'ensemble du projet avec les autorités compétentes.

La mise au point du programme nécessitera une coordination avec tous les lots adjacents et en particulier la création du tronçon d'accrochage du viaduc. Il conviendra notamment d'analyser l'opportunité de la réalisation d'un premier tube en priorité, dans le but d'acheminer les déblais des tunnels de Choulex et de Thônex en direction du lac.

13.5. Méthodes de construction

Le tableau suivant résume, tronçon par tronçon, les méthodes de construction :

PM	*PM*	*Long.*	*Type ouvrage*	
Zone de portail Rouelbeau				
Tube droit - direction lac				
8084	8100	16	Tranchée ouverte 3 pistes (dont voie d'accélération)	
8100	8132	32	Tranchée couverte 3 pistes (dont voie d'accélération)	Moraine - Passage sous la route de la Capite
8132	8230	98	Tranchée ouverte 3 pistes (dont voie d'accélération)	
8230	8249	19	Tranchée couverte 2 pistes	Moraine - Centrale de ventilation enterrée entre les 2 chaussées
Tube gauche - direction Vallard				
8084	8132	48	Tranchée couverte 3 pistes (dont voie de décélération)	Moraine - Passage sous la route de la Capite
8132	8192	60	Tunnel 3 pistes (dont voie de décélération)	Moraine - Couverture de 5 à 7 m
8192	8249	57	Tranchée couverte 3 pistes dont voie de décélération	Moraine - Centrale de ventilation enterrée entre les 2 chaussées
Tunnel de Collonge				
8249	8772	523	Tunnel 2 pistes	Moraine - Ecart entre axes de chaussées : 36 m
8772	8832	60	Tunnel 3 pistes au droit de la galerie transversale carrossable	
8832	9245	413	Tunnel 2 pistes	
9245	9305	60	Tunnel 3 pistes au droit de la galerie transversale carrossable	
9305	9600	295	Tunnel 2 pistes	
Zone de portail Pointe-à-la-Bise				
9600	9710	110	Tranchée couverte 2 pistes	Moraine puis retrait et dépôts lacustres
9710	9730	20	Batardeau et tranchée couverte 2 pistes	
Zone de transition tunnel - pont				
9730	9900	170	Caissons noyés	
9900	10170	270	Caissons tronçon "ile"	

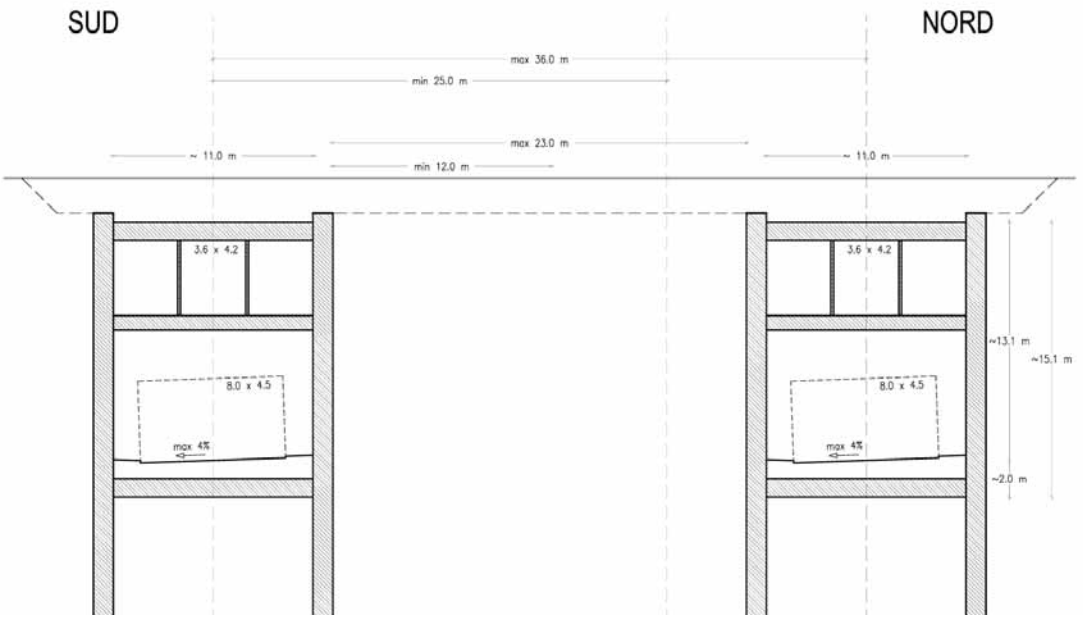
13.5.1. Portail et tranchée couverte Pointe-à-la-Bise

On rappelle que le tronçon d'accrochage au viaduc sera principalement constitué de caissons préfabriqués fondés sur pieux, que ce soit dans la création de l'île ou du tronçon en caissons noyés.

Les travaux de Pointe-à-la-Bise débuteront par la création d'un batardeau permettant de créer une tête de pont au niveau de la rive. Ce batardeau garantira l'isolation du chantier vis-à-vis du lac.

Concernant la tranchée couverte de Pointe-à-la-Bise, chacun des deux tubes sera réalisé séparément à l'abri de parois moulées.

Les dalles seront bétonnées sur terre et l'excavation interviendra sous dalle, assurant ainsi la disponibilité des surfaces pour les installations de chantier et limitant les mouvements de terre et les emprises.



Coupe type de la tranchée couverte – Portail Pointe-à-la-Bise

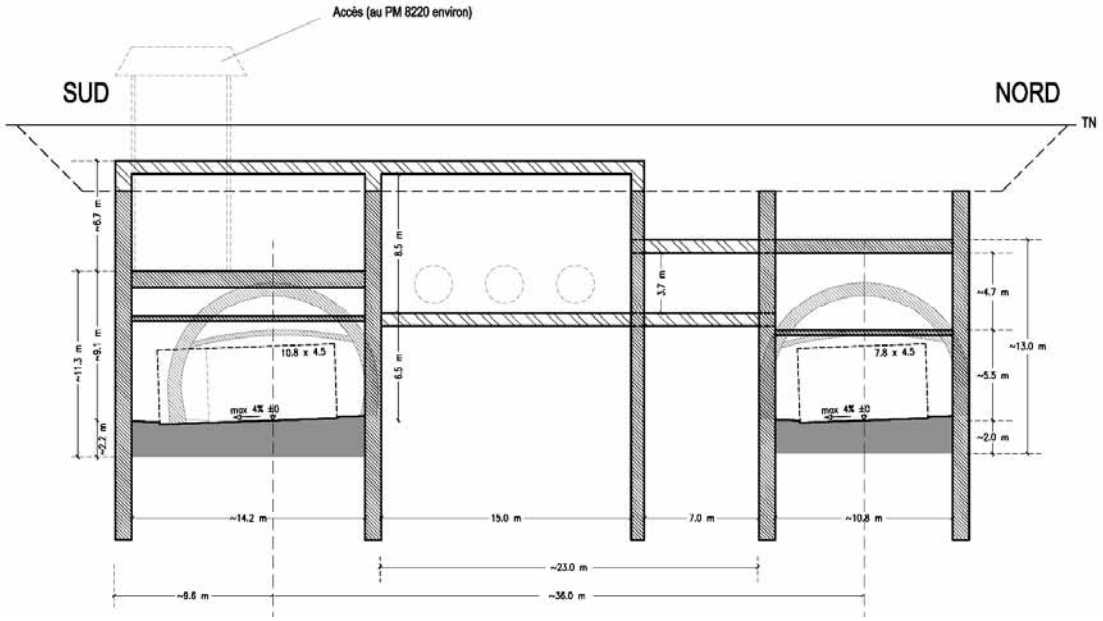
Un puits d'accès sera aménagé entre les deux galeries, assurant l'accessibilité à celles-ci. Ce puits sera également utilisé pour la sortie des déblais pendant les premières phases du chantier.

L'attaque en tunnel interviendra immédiatement à l'ouest du chemin des Marèches, maintenant ainsi l'utilisation de ce chemin pour l'accès aux habitations voisines.

13.5.2. Portail Rouelbeau

Dans le secteur du portail de Rouelbeau, le tube sud se prolonge jusqu'à l'est de la route de la Capite alors que la centrale de ventilation et le tube nord émergent en bordure de la zone villa à 130 m environ de la route de la Capite.

Un important terrassement sera nécessaire au droit de la centrale de ventilation et du portail du tube nord. Dans ce secteur, il est prévu de réaliser un pré-terrassement puis d'excaver le tube sud ainsi que la centrale de ventilation à l'abri de parois moulées.



Coupe type de la tranchée couverte et de la centrale de ventilation – Portail Rouelbeau

Une partie de l'excavation interviendra sous dalle assurant ainsi l'étayage des parois moulées.

Dans ce secteur, la section excavée du tube sud sera donc rectangulaire et dotée en calotte d'une gaine de ventilation raccordée à la centrale.

La tranchée d'accès au portail du tube nord aura une profondeur qui atteindra environ 15 mètres. Les talus seront donc stabilisés par des murs ancrés.

Le franchissement de la route de la Capite sera effectué en tranchée couverte.

Sur une longueur d'environ 50 mètres entre la route de la Capite et la centrale de ventilation, l'exécution du tube sud est envisagée en tunnel. Dans ce secteur, l'ouvrage comporte deux pistes de circulation et une piste de décélération.

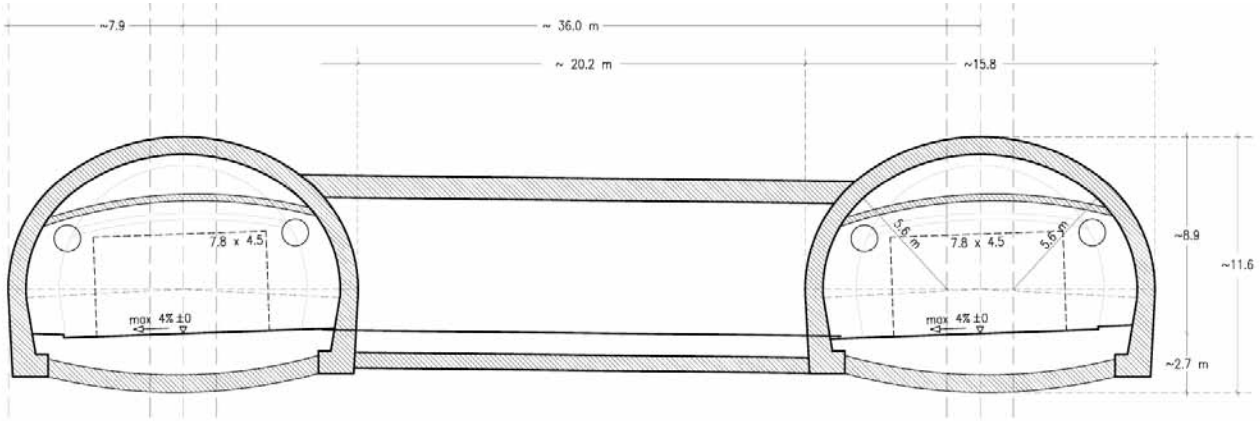
Son excavation est prévue à l'abri de voûtes parapluies.

13.5.3. Tunnel

Pour l'essentiel, le tunnel est constitué de deux tubes à deux voies de circulation.

Coupe type tunnel 2 pistes

Au droit des galeries carrossables, le tunnel présentera une section élargie.



Coupe type du tunnel, section élargie au droit des galeries carrosables

A l'exception des zones de portail dans lesquelles des terrains de couverture pourraient être localement rencontrés, le tunnel traversera une moraine de bonne qualité. On relève cependant le risque de rencontrer des niveaux aquifères susceptibles d'être en charge.

A ce stade, on prévoit la réalisation du tunnel en pleine section à l'abri d'une voûte parapluie.

Parallèlement au forage de la voûte parapluie, des forages de drainage seront réalisés à l'avancement afin d'assurer la décharge des éventuels niveaux aquifères en charge.

Dans les zones de portail, ainsi que dans les sections élargies, l'excavation interviendra dans une première étape en calotte et sera suivie par la reprise du stross ainsi que des piédroits et du radier.

La présence de nappes locales conduit à préconiser l'attaque du tunnel depuis le portail Pointe-à-la-Bise, en attaque montante.L'opportunité d'une éventuelle attaque descendante depuis Rouelbeau devra faire l'objet d'une analyse prenant en compte le planning général de la réalisation du contournement est et l'éventuelle utilisation de l'un des tubes du tunnel de Collonge pour l'acheminement des déblais vers la rive du lac.

14. TRAVERSEE DU LAC - Variante PONT

14.1. Introduction

14.1.1. Objet de l'étude et données d'entrée

Le présent rapport résume l'étude de faisabilité de la traversée du Petit-Lac par un pont entre le Vengeron et la pointe à la Bise. Cette traversée s'inscrit dans la création d'une autoroute de contournement de Genève par l'est, depuis le Vengeron jusqu'à la jonction de Thônex vers l'Autoroute Blanche. L'étude concerne l'ouvrage de franchissement du lac proprement dit (tronçon 17), et les accroches sur les rives gauche et droite, en lien avec les tronçons adjacents :

- le tunnel de Collonge sur la rive gauche (tronçon 16)
- la jonction et l'échangeur du Vengeron sur la rive droite (tronçon 18)

L'étude réalisée est basée sur les données d'entrée suivantes :

- Un tracé en plan provisoire rectiligne entre le Vengeron et la pointe à la Bise.
- Un profil en long provisoire, caractérisé par une émergence du profil routier directement devant la pointe à la Bise (en venant du tunnel de Collonge), et un passage au-dessus du Vengeron et de la route de Lausanne côté rive droite.
- Une coupe fonctionnelle correspondant à une route nationale à 4 voies : deux voies de circulation et une voie d'arrêt par sens.
- Un tirant d'air sous le tablier du pont d'au moins 35m sur une largeur suffisante pour assurer le passage des bateaux les plus hauts naviguant sur le lac.
- Un rapport géotechnique, établi notamment sur la base d'une campagne de reconnaissance réalisée entre mars et juillet 2009. Ces données géotechniques sont capitales dans la mesure où il est connu que les premières couches de sols au fond du lac sont de mauvaise qualité sur une grande épaisseur à l'endroit de la traversée, et font de la réalisation des fondations un des points délicats du projet.
- Enfin, le niveau du plafond aérien de sécurité de l'aéroport de Genève. Cette donnée est une contrainte forte étant donné la proximité de l'aéroport côté Vengeron.

14.1.2. Description de la démarche

L'étude a été structurée en trois phases distinctes :

Phase 1 : Analyse de variantes de tracé et profil en long afin de dégager une configuration optimale vis-à-vis de différents critères: architecture, technique, économie, impact sur les rives selon le type d'accroche.

Phase 2 : Etude spécifique concernant la réalisation de fondations profondes de piles de pont dans les conditions rencontrées à l'endroit de la traversée : grande profondeur et sols médiocres sur les premières couches. Différentes solutions ont été étudiées en faisant appel à des spécialistes de ce type de travaux.

Phase 3 : Analyse plus détaillée et prédimensionnement d'un ouvrage multi-haubané pour le profil en long retenu à l'issue de la phase 1. Une solution de pont suspendu a également été esquissée.

14.2. Profil en long et tracé

14.2.1. Possibilités d'accroche sur les rives

Accroche rive gauche (pointe à la Bise)

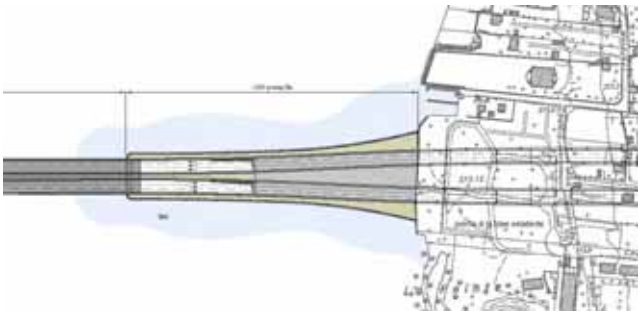
En rive gauche, dans la version de base, le profil en long remonte depuis le tunnel de Collonge pour émerger dans le lac relativement proche de la pointe à la Bise. Etant donné les dimensions de la galerie de liaison entre le tunnel foré et le pont, le toit de la galerie émerge exactement au niveau de la rive du lac, dans une avancée juste devant la plage actuelle.

Cette configuration est faisable, mais il a été développé une alternative permettant de diminuer l'impact sur la rive. Cette variante consiste à faire émerger le profil routier 200m plus au large que dans la version de base, laissant ainsi un bras d'eau entre la rive et l'émergence de la structure. Dans ce cas :

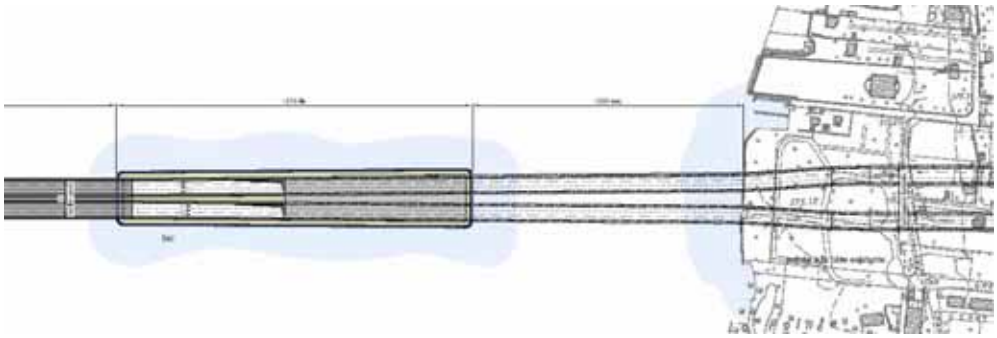
- La galerie de liaison est plus longue, ce qui peut permettre de mieux rentabiliser une chaîne de préfabrication de tronçons immergés (voir § 14.4.3.5).

- Le pont est légèrement plus court, ce qui permet d'économiser un pylône à portées quasi équivalentes dans le cas d'un pont multi-haubané. L'économie des fondations d'un pylône est un gain important vu leur difficulté de réalisation.

Version initiale : Sortie directe (en "presqu'île")



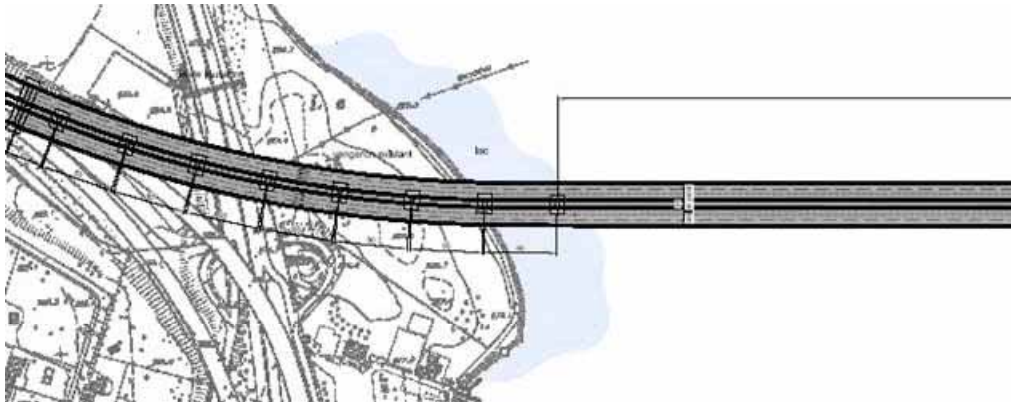
Version alternative : Sortie au large (en "île")



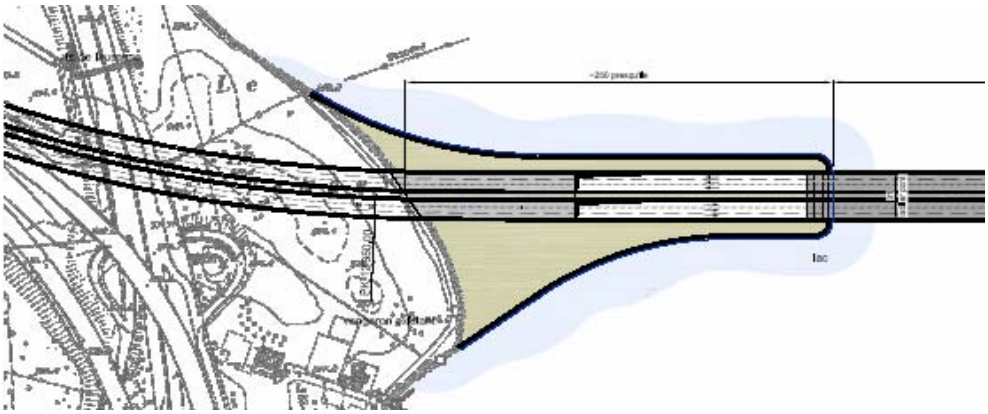
Accroche rive droite (Vengeron)

En rive droite, dans la version de base, le profil en long quitte l'autoroute actuelle peu après le passage sous les voies CFF, pour monter et passer au-dessus de la route de Lausanne. Etant donné les positions des routes et ouvrages traversés, et des gabarits à respecter, le profil en long monte rapidement assez haut, en passant à près de 17m au-dessus de la route de Lausanne, et à 27m au-dessus de la rive actuelle sur la plage du Vengeron. Cette partie pourrait se faire en viaduc d'accès avec des portées limitées, mais avec un nombre de piles important entre l'autoroute, la route de Lausanne, et sur la plage actuelle du Vengeron. Le profil en long consécutif engendre un tablier de pont passant très haut au-dessus du milieu du lac, avec une sous-face du tablier à 55m ou 60m de l'eau, quand la contrainte à respecter est un gabarit de 35m sur une largeur limitée.

Une alternative a donc été développée, en faisant passer le profil routier sous la route de Lausanne et la plage du Vengeron dans une galerie enterrée, pour le faire émerger dans une trémie située dans une extension en remblai de cette même plage. Ceci permet d'abaisser considérablement le profil en long, de raccourcir le pont et de réduire l'impact sur la plage du Vengeron, en offrant même des possibilités d'aménagements supplémentaires autour de l'extension devant la rive actuelle.



Version initiale : Passage sur le Vengeron (viaduc d'accès)



Version alternative : Passage sous le Vengeron (galerie enterrée)

14.2.2. Variantes de profil en long

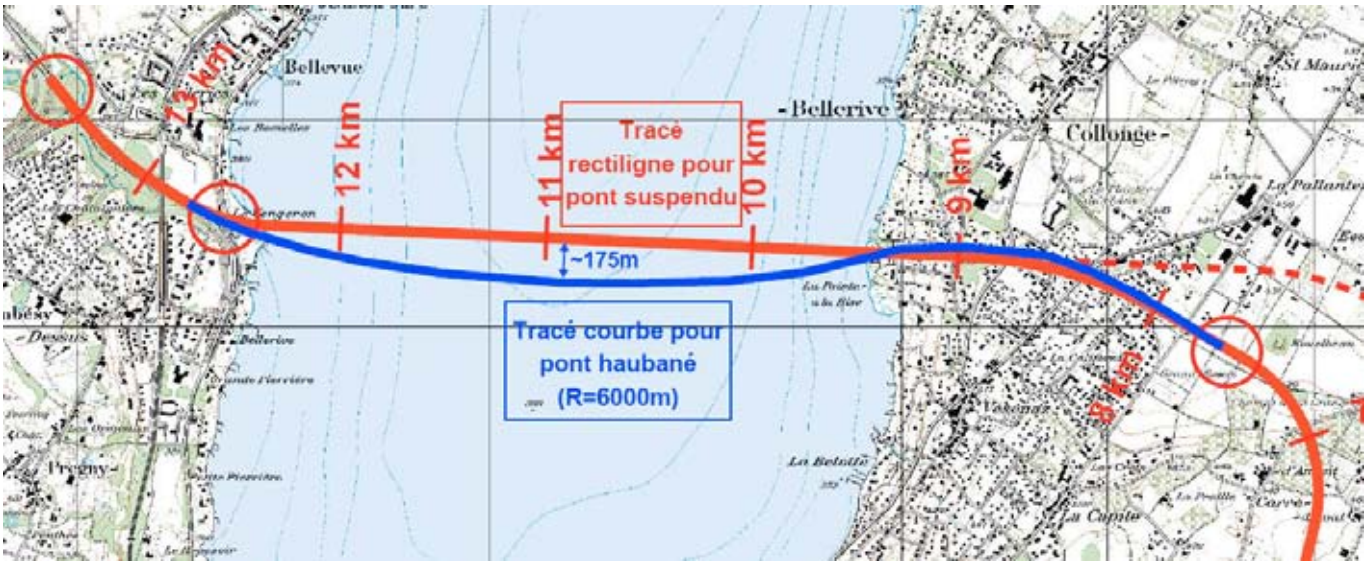
A partir des solutions initiale et alternative sur chacune des deux rives présentées au paragraphe précédent, quatre profils en long de la traversée en pont peuvent être construits par combinaison des accroches, et raccordement au centre :

	Rive droite - Vengeron		Rive gauche – Pointe à la bise	
Profil en long n°	Sur Vengeron → viaduc accès	Sous Vengeron → galerie enterrée	Sortie directe → extension	Sortie au large → en île
0 (=base)	■		■	
1	■			■
2		■	■	
3		■		■

Le profil n°3 est optimal car il permet à la fois de minimiser le nombre de fondations profondes dans le lac, de respecter le plafond aérien avec un pont multi-haubané, et de minimiser l'impact sur les rives.

14.2.3. Tracé en plan : rectiligne ou courbe

Dans le tracé en plan initial, la partie de traversée du lac est en alignement droit, avec une courte partie de clothoïde de raccordement côté Vengeron. Dans le cas d'un pont multi-haubané avec un nombre important de travées (supérieur à 5 ou 6), il peut être intéressant d'introduire une légère courbure en plan de l'ouvrage afin de rompre l'alignement successif de pylônes et de créer des perspectives plus dynamiques sur l'ouvrage. Le schéma ci-dessous montre l'alternative envisagée :

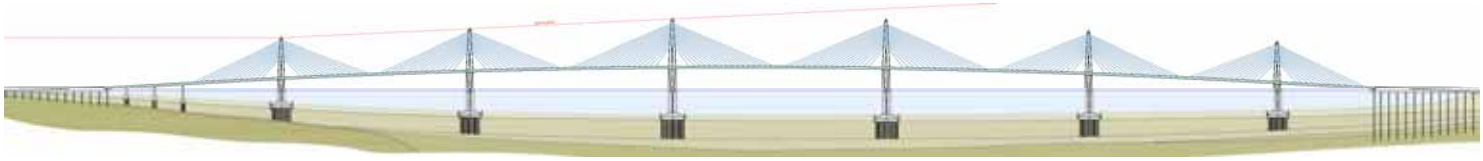


Le tracé courbe a un rayon en plan de 6000m, suffisant pour peu complexifier la structure, tout en atteignant l'effet architectural recherché. Dans le cas d'un pont suspendu, on conserve le tracé en alignement droit proposé initialement.

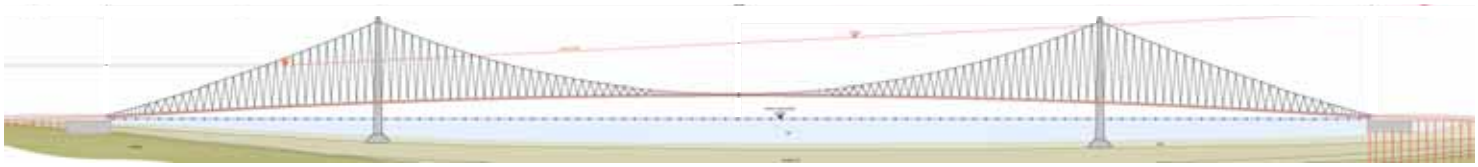
14.2.4. Solutions retenues

A partir du profil en long retenu (n°3) et des deux tracés en plan, deux solutions d'ouvrages ont été esquissées pour une analyse plus détaillée :

Type d'ouvrage	multi-haubané	suspendu
Tracé en plan	courbe	droit
Portée(s) principale(s)	335 / 360 / 380 / 360 / 335m	1275m
Travées de rive	175m	480m
Travées d'accès	40 / 50 / 50m côté Vengeron	-
Longueur totale	2260m	2235m



Solution multi-haubanée



Solution suspendue

La solution suspendue est compromise par la contrainte de respect du plafond aérien, sauf si une dérogation était envisagée pour cet ouvrage d'importance, moyennant l'intégration d'équipements spécifiques et de mesures à définir avec les autorités aéroportuaires.

Cependant, il apparaît aujourd'hui que la solution multi-haubanée ci-dessus est la plus adaptée au contexte de la traversée. Cette solution a ensuite été étudiée plus en détail.

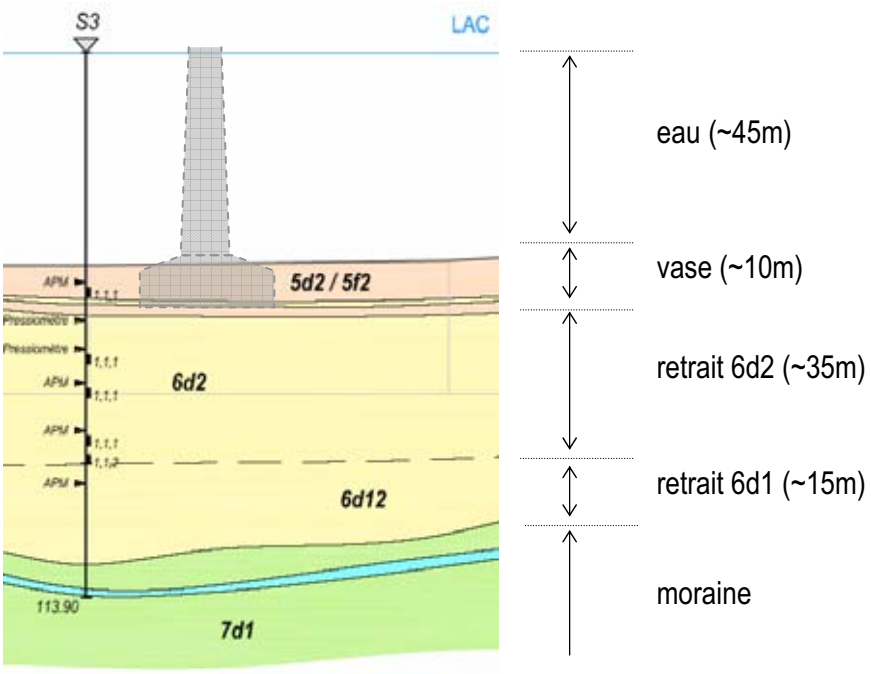
14.3. Problématique des fondations

14.3.1. Contexte lacustre et géotechnique

La réalisation des fondations des piles du pont est un point essentiel de cette étude de faisabilité étant données les conditions rencontrées au droit de la traversée :

- forte hauteur d'eau, jusqu'à 45m au centre du lac,
- épaisseur de vase d'environ 10m au fond du lac, sans résistance mécanique,
- forte épaisseur (50m au centre du lac) de formations de retrait graduellement résistantes (6d2 puis 6d12) avant d'atteindre la moraine qui constitue le « bon » sol (7d1).

Extrait du profil en long géotechnique au centre du lac, ci-après :



L'objectif est de minimiser le nombre de pylônes pour concentrer les difficultés en quelques points sur le lac, et de minimiser les charges descendant sur chaque appui (notamment en utilisant un tablier de pont en métal et non en béton, et en utilisant le volume intérieur de la pile creuse pour bénéficier de la poussée d'Archimède). Ceci pris en compte, différents types de fondations sont envisageables, avec différentes techniques associées.

14.3.2. Techniques envisageables

Les premières couches de sol étant mauvaises, deux attitudes peuvent être adoptées, conduisant à deux familles de solutions : renforcer ce mauvais sol pour se poser directement dessus, ou bien utiliser des pieux qui vont s'ancrer dans le sol dur (moraine).

Dans tous les cas, la réalisation de ces fondations nécessite du matériel conséquent, se rapprochant de travaux maritimes plus que de travaux lacustres en eaux peu profondes. Pour autant, les différentes solutions envisagées relèvent ou s'inspirent de techniques déjà mises en œuvre sur d'autres grands ouvrage en Europe ou ailleurs.

14.3.2.1. Option 1 : Embase sur sol renforcé

Deux techniques peuvent être envisagées pour renforcer suffisamment les couches de mauvais sol pour pouvoir y poser des piles de pont :

Solution F1 :

Il s'agit d'un confinement de la couche médiocre dans un cylindre béton de grand diamètre (environ 50m) descendu par havage progressif de tronçons. Le sol n'est pas substitué, mais il est confiné au sein du cylindre, créant ainsi un bloc transmettant les charges de l'embase au niveau d'assise recherché. Une préconsolidation du sol dans le cylindre havé serait alors à effectuer afin de limiter les tassements ultérieurs.

Dans cette solution, un nombre d'éléments relativement limité est à mettre en œuvre : 5 tronçons de cylindres au maximum permettent de constituer l'enceinte de confinement. La préfabrication de ces cylindres nécessite une zone de cale sèche inondable en bord du lac, ou dry dock, permettant la construction d'éléments d'environ 50m de diamètre, amenés ensuite par flottaison avant d'être immergés. Le havage du cylindre se faisant sans excavation intérieure, un système de refoulement du sol sous la tranche du cylindre est à mettre en œuvre, par exemple par injection d'eau sous pression dans la tranche en biseau du cylindre bas.

Solution F2 :
Il s'agit d'un renforcement de la couche médiocre par inclusion de type tubes métalliques battus de diamètre 1 à 2 mètres. Ces inclusions constituent en quelque sorte une armature du sol, et on crée ainsi un bloc sous l'embase de pylône transmettant les charges au niveau d'assise recherché.
Les tubes métalliques sont battus depuis la surface sur une barge flottante, et le mouton de battage est positionné directement au fond du lac. Afin de s'affranchir de la couche de vase, un caisson préfabriqué est immergé et sert également de gabarit de battage ; ou bien la vase peut être pompée à l'intérieur d'un remblai périphérique. L'assise de la future embase est ensuite nivelée (par exemple par un lit de graves).

Dans ces deux solutions, l'embase de pile est préfabriquée dans un dry dock, ou cale sèche, pour être amenée par flottaison une fois la cale inondée, puis la pile construite en place et immergée progressivement jusqu'à se poser sur le sol renforcé. Un moyen de réglage du positionnement de la pile immergée sur sa fondation est à prévoir.

Dry dock utilisé pour les piles du pont Rion-Antirion en Grèce, remorquage de l'embase :

14.3.2.2. Option 2 : Embase sur pieux forés ancrés dans la moraine

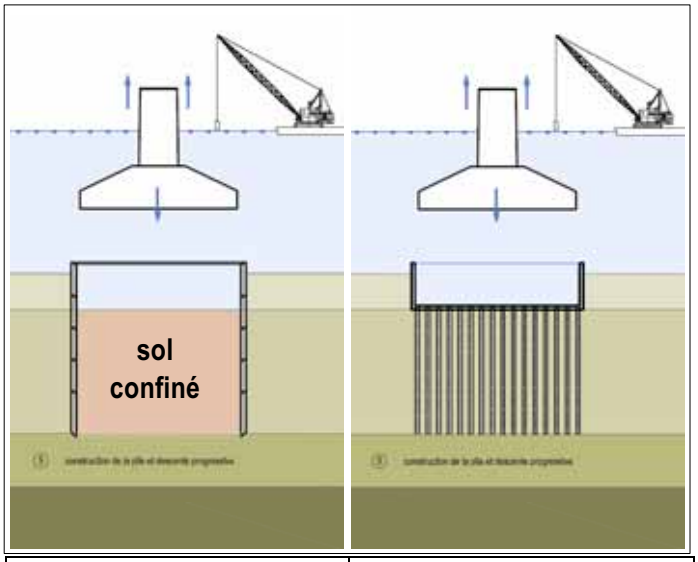
La deuxième famille consiste à ancrer l'embase du pylône sur des pieux forés de gros diamètre (180 à 240 cm) qui descendent jusque dans la moraine, pour bénéficier d'un terme de pointe suffisant. Deux variantes sont envisagées selon le mode de réalisation :

Solution F3 :
Les pieux sont réalisés depuis la surface au fond d'un caisson servant de gabarit positionné au préalable. Puis l'embase et la pile sont immergées sur cette fondation. Ceci suppose de pouvoir réaliser des pieux forés tubés par grande profondeur, depuis une barge suffisamment stable. En effet, les pieux devant être tubés sur une très grande hauteur, le moindre mouvement peut être critique vis-à-vis du train de tubes en cours d'utilisation. La stabilisation par des pieds venant s'appuyer au fond du lac paraissant exclue vu la hauteur, la pose de corps morts très importants reste potentiellement faisable mais ne semble pas être la meilleure solution. Après réalisation d'un radier de connexion sous l'eau, la pile serait ensuite amenée et immergée sur le même principe que dans les solutions F1 et F2.

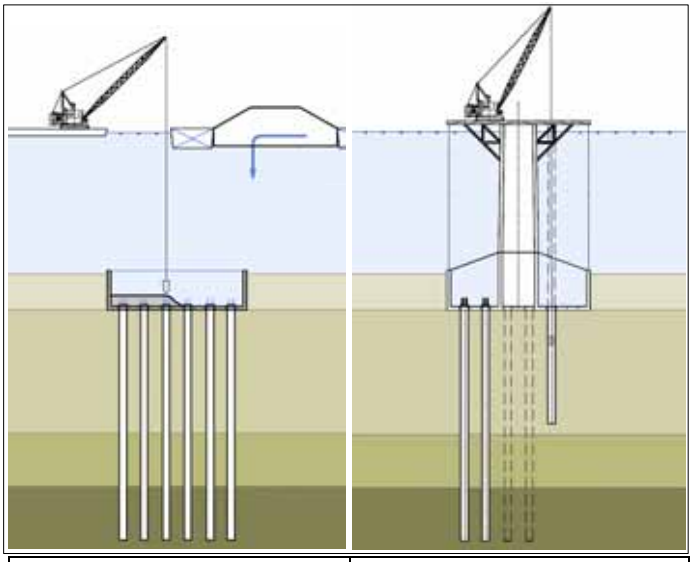
Solution F4 :
Les pieux sont réalisés depuis une plateforme provisoire fixée sur la base de la pile immergée au préalable au fond du lac. Dans cette solution, les foreuses travaillent sur un support stable, ce qui apporte une sécurité et une précision bien meilleures que dans la solution F3. La clé réside dans la stabilisation provisoire du système, en chargeant suffisamment la pile/plateforme pour la stabiliser, sans pour autant surcharger la couche de retrait 6d2 qui a des contraintes admissibles très faibles. Les pieux sont réalisés au travers de l'embase dans les différentes alvéoles prévues à cet effet. Un radier de connexion est enfin coulé sous l'eau dans ces mêmes alvéoles. La plateforme provisoire peut alors être démontée et la construction du pylône poursuivie.

14.3.3. Comparatif, identification des risques

Les schémas ci-dessous synthétisent les différentes solutions explorées :



F1	F2
Pile sur sol renforcé	



F3	F4
Pile sur pieux forés	

Le tableau ci-dessous résume les avantages et inconvénients des différentes solutions décrites ci-dessus.

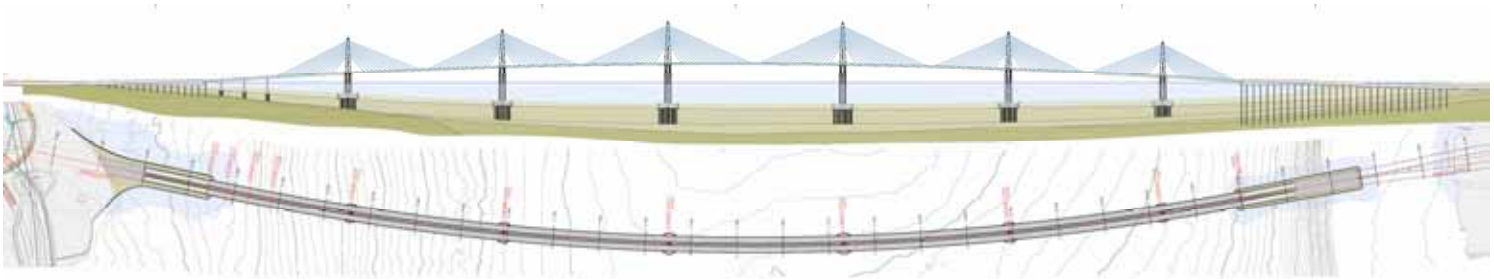
sol.	Avantages	Inconvénients/Risques
F1	- Simplicité des éléments préfabriqués	- Risque de rencontre d'un bloc dur empêchant la poursuite du havage - Contrôle du tassement de la couche 6d2 avant confinement effectif
F2	- Méthode de battage simple (par opposition à forage tubé) - Suivi aisé des paramètres de battage - Souplesse d'adaptation en cours de réalisation	- Contrôle du fonctionnement "en bloc", détermination de la densité minimale d'inclusions - poids total d'inclusions (influence sur le coût)
F3	- Faibles tassements ultérieurs	- Risques dans la réalisation des pieux par grande profondeur dû au manque de stabilisation - Délais de forage
F4	- Stabilisation du système de forage → minimisation des risques en construction - Faibles tassements ultérieurs	- Délais de forage

Au vu de ce comparatif, et après consultation d'entreprises spécialisées en travaux lacustres et maritimes, il semble que la solution la plus adaptée au contexte de la traversée est la solution F2 de renforcement par inclusions de type tubes métalliques, puis immersion d'une embase de pile préfabriquée en cale sèche. Cette conclusion resterait à confirmer après des reconnaissances complémentaires afin d'évaluer la quantité d'inclusions nécessaires en lien avec une étude détaillée des tassements prévisibles.

14.4. Pont haubané

14.4.1. Descriptif général

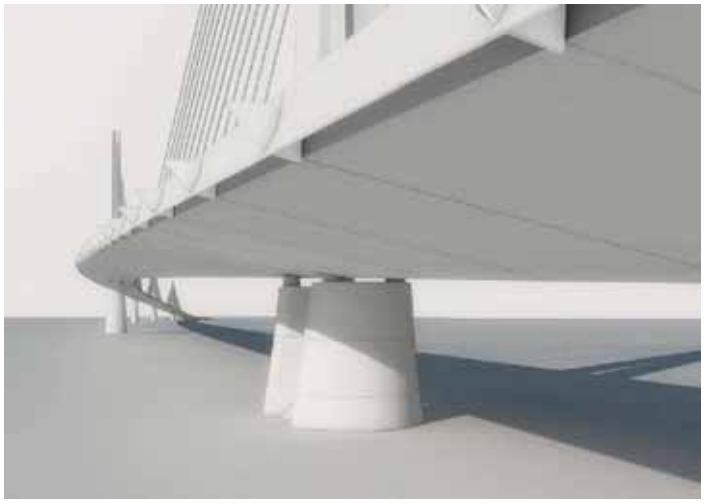
L'ouvrage proposé à l'issue de cette étude de faisabilité est un pont multi-haubané à 6 pylônes / 7 travées, auxquelles s'ajoutent trois travées d'accès côté Vengeron (ceci dans le but d'éloigner suffisamment le premier pylône pour respecter scrupuleusement le plafond aérien). Les travées principales ont des portées successives de 335m, 365m et 380m au centre. Les travées de rive ont une portée de 175m, et les travées d'accès 40m puis deux fois 50m. Les pylônes s'élèvent successivement à 70m, 80m et 83m au-dessus du tablier, et pour le plus haut à 125m au-dessus du lac.



Le tracé en plan est courbe, avec un rayon de 6000m. Le pont a une longueur totale développée de 2260m.

14.4.2. Etude architecturale

La traversée suivant un profil en plan courbe donne de la souplesse et de l'élégance à l'ouvrage et à son insertion dans le site, et offre aux riverains qui découvriront le pont sous des angles fermés des vues à forte qualité dynamique, la courbe du tablier dans l'espace s'exprimant avec puissance et souplesse.



Différents points ont fait l'objet de recherches architecturales dès cette phase d'étude de faisabilité : la forme des mâts et des piles, les principes de corniches en bord de tablier, et les raccordements en rive lors du passage en souterrain des voies de circulation.

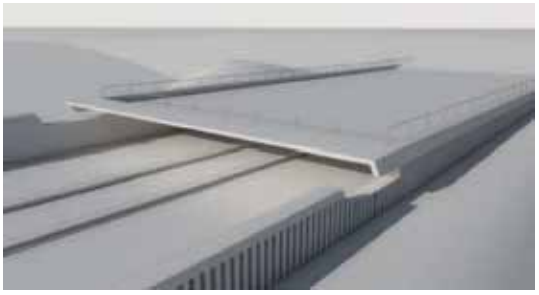
Les propositions qui en découlent, tout en ayant un but esthétique, on pris pour appui un raisonnement logique et un respect des contraintes afin de mettre en valeur les qualités structurelles de l'ouvrage: une lecture saine et claire par le riverain tant sur les rives que sur le lac étant le but recherché.

Le mât formé de deux parties est ajouré en sa partie centrale afin de donner à l'ensemble « mât et haubans » le plus de transparence possible pour former une toile rythmée exprimant de la façon la plus nette la géométrie des haubans par les attaches exprimées volontairement par des selles.

Le principe adopté pour les piles béton sous le tablier consiste en un dessin unique en partant du haut, montrant bien le lien entre la pile et le mât, la forme en tête étant directement calculée pour reprendre les efforts des deux branches du pylône. La forme générale de la pile est constituée de deux éléments qui s'épanouissent vers le bas de façon identique, leur forme s'arrêtant visuellement à l'intersection avec l'eau.

La corniche ayant une fonction de déviation des vents est placée en avant de la rive de tablier. Ceci permet d'établir une transparence entre tablier et corniche grâce à un positionnement dégageant la vue pour les usagers plaçant la ligne supérieure de celle-ci en dessous de la première ligne des profilés de la barrière de sécurité : l'oeil des usagers peut plonger vers l'étendue du lac.

Enfin, la descente de la voie vers les trémies des tunnels se fait progressivement en créant des belvédères d'accès donnant sur la perspective de l'ouvrage, dans des aménagements paysagers discrets en continuité des plantations côté Vengeron et en aménagement sur l'île créée face à l'autre rive côté pointe à la Bise.

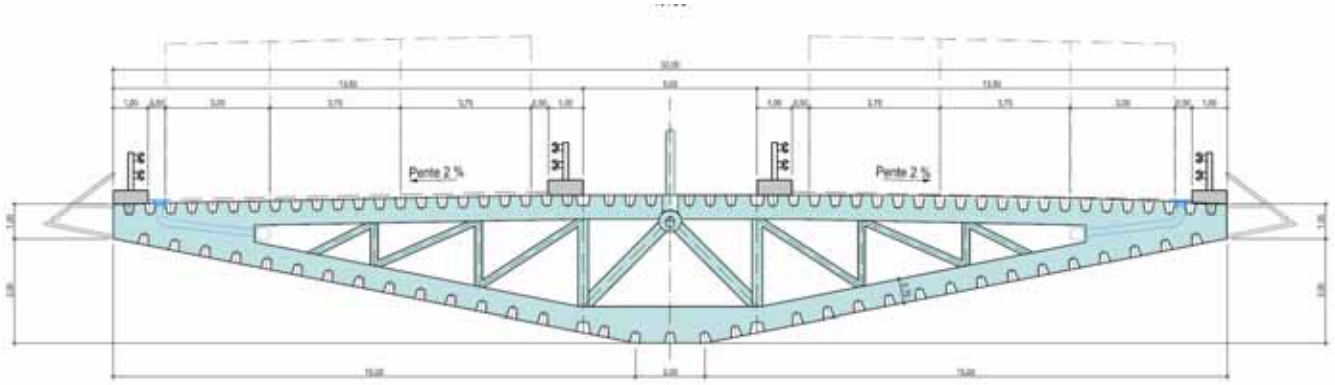


L'ouvrage traverse l'espace d'une rive à l'autre avec une expression sereine de transparence tendue entre les deux rives.

14.4.3. Détail par élément

14.4.3.1. Tablier et haubans

Un tablier métallique d'une largeur totale de 32m, est prévu afin d'alléger la descente de charges sur les fondations. La suspension est réalisée par une nappe centrale de haubans qui viennent s'ancrer tous les 10m dans le caisson du tablier. La face supérieure de ce dernier est une dalle orthotrope, portant sur des entretoises positionnées sur un pas sous-multiple de la portée entre ancrages de haubans.



En alternative, il est envisageable de remplacer la dalle orthotrope métallique par une dalle de roulement en béton, créant une section de tablier mixte, ceci en raison de conditions locales et d'habitude de construction, et pour des raisons économiques. Cependant, l'économie réalisée sur la dalle orthotrope est à pondérer par l'augmentation du coût des fondations dû à un alourdissement de la structure.

14.4.3.2. Revêtement et équipements :

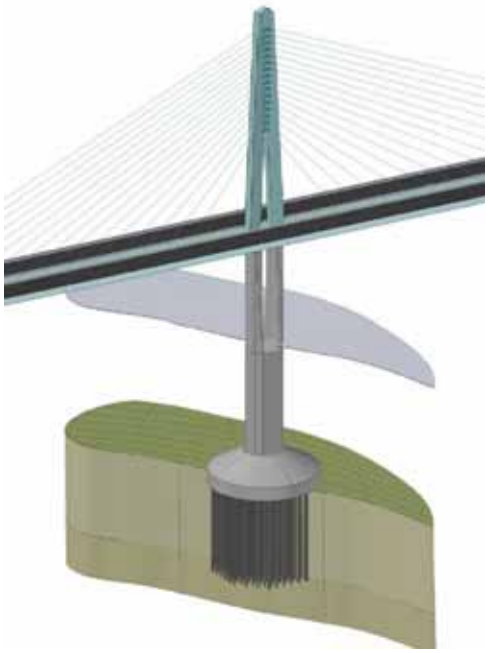
La dalle orthotrope reçoit une étanchéité par feuilles préfabriquées à base de bitume élastomère, puis un enrobé bitumineux formant la couche de roulement.

Des dispositifs de retenue respectant les directives fédérales sont à prévoir. Ils sont ancrés dans des bordures en béton scellées au caisson métallique.

Un système d'éclairage routier peut être intégré sur l'ouvrage, soit par des mâts classiques, soit en fixant directement des éclairages sur les haubans, comme cela a pu être fait sur d'autres ouvrages (pont de Normandie par exemple). Un éclairage de mise en valeur de l'ouvrage peut également être prévu.

Enfin, d'autres équipements peuvent être envisagés sur l'ouvrage, par exemple un système de déverglaçage (cellules photovoltaïques reliées à des fils chauffants dans la couche de roulement, sprayage de saumure ou autre…).

14.4.3.3. Pylônes



Les pylônes sont constitués de deux parties :

Une partie métallique au-dessus du tablier, et encastrée dans ce dernier, reçoit en partie supérieure les ancrages de haubans. Les deux branches s'écartent depuis le haut afin d'avoir une rigidité suffisante à la liaison pylône-tablier.

Les piles sous le tablier sont en béton. Elles sont constituées de deux branches en continuité de la partie supérieure, et se prolongent par un large fût cylindrique dans le lac jusqu'à la fondation.

La géométrie des sections crée une continuité visuelle de l'ensemble.

14.4.3.4. Fondations

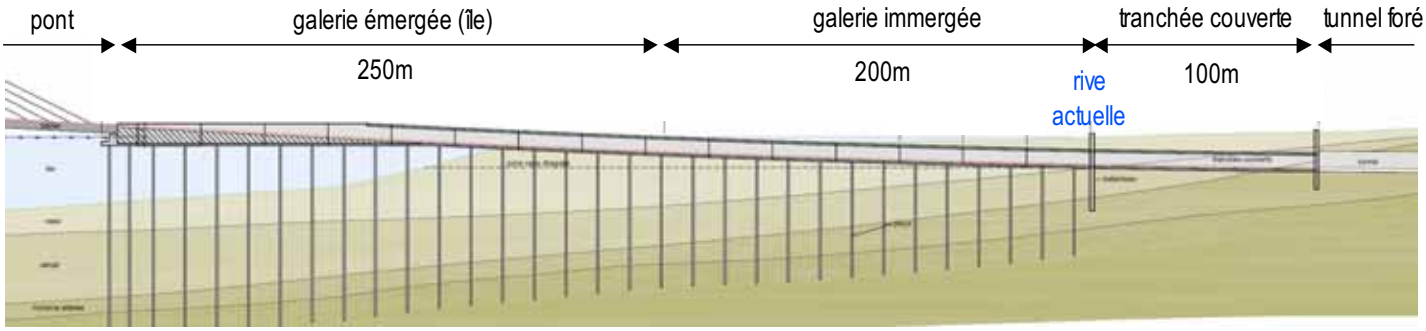
Comme indiqué au § 14.3, les fûts de piles sont encastrés sur des embases suffisamment larges pour stabiliser l'ensemble vis-à-vis des flexions occasionnées par les efforts de vent et les chargements dissymétriques du tablier. Ces larges embases sont posées au fond de la couche de vase sur un sol renforcé par des inclusions métalliques battues au préalable depuis une barge en surface, et qui constituent une armature de la couche de sol médiocre pour transférer les charges jusqu'à un sol suffisamment résistant.

14.4.3.5. Culées et accroches sur les rives

Du côté pointe à la Bise en rive gauche, le profil en long a été construit de manière à émerger suffisamment loin de la rive pour créer la trémie de sortie dans une île artificielle. Cependant, les hauteurs d'eau au niveau de la culée et les fortes épaisseurs de vase sur la rive demanderaient des volumes bien trop important pour envisager de construire l'île et la galerie de liaison dans un remblai.

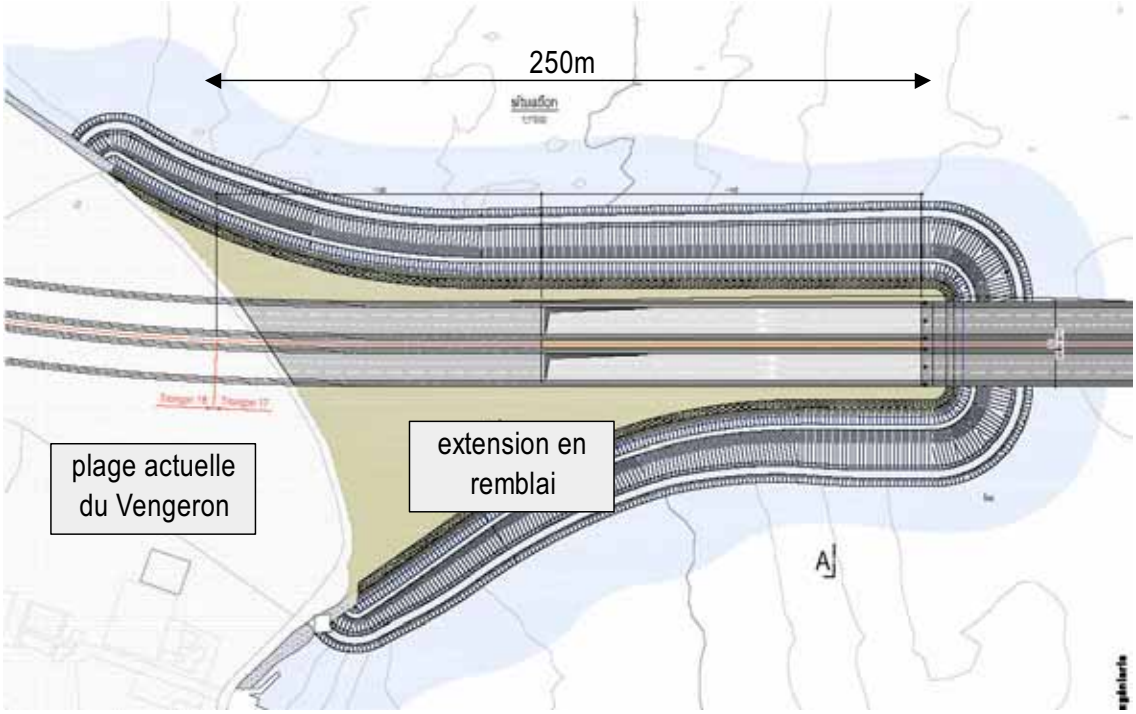
En revanche, étant donné la longueur de cette galerie de liaison entre le tunnel de Collonge et la culée du pont (environ 450m), un système de préfabrication de tronçons de galerie à immerger et ancrer sur des pieux battus semble une bonne solution. Avec cette méthode de préfabrication et immersion, le batardeau à réaliser est limité à environ 100m de longueur sur la rive pour dégager le front d'attaque du tunnel foré et les installations correspondantes. La galerie dans cette section est alors réalisée à ciel ouvert en tranchée couverte.

Coupe longitudinale de la jonction pont-tunnel en rive gauche :



En rive droite, côté Vengeron, les hauteurs d'eau sont plus faibles, et le bon sol proche (la molasse est à quelques mètres sous la rive). Ainsi, la trémie de sortie et la culée du pont peuvent être construites à sec dans un remblai formant une extension de la plage actuelle du Vengeron. Ce remblai, dont la forme sera adaptée en fonction des aménagements paysagers envisagés, a également l'avantage de dégager des emprises utiles pendant les phases de chantier.

Vue en plan de l'accroche sur la rive du Vengeron :



14.5. Variante pont suspendu

Enfin, la variante de pont suspendu évoquée au § 14.2.4 a également été esquissée et étudiée. Outre les problèmes liés au non respect du plafond aérien, les points suivants sont à noter concernant cette solution :

- les efforts très importants sur les culées à l'ancrage du (ou des) câble(s) de suspension sont une spécificité d'un pont suspendu. Si cet ancrage peut être réalisé sans problème côté Vengeron (proximité de bon sol), il est plus problématique côté pointe à la Bise en raison des fortes hauteurs d'eau puis de vase, et de la grande profondeur à laquelle sont atteints des bons terrains ;
- la technologie des câbles de suspension fait qu'à longueur équivalente, ce type d'ouvrage serait 30 à 40% plus coûteux que l'ouvrage multi-haubané présenté précédemment.
- Pour ces raisons, cette variante a été écartée en cours d'étude.

14.6. Planning

Dans le déroulement global de la réalisation du contournement est de Genève, « l'étape » de la traversée du lac en pont est une phase importante, impressionnante et marquante, qui en terme de planning ne représente toutefois pas un chemin critique par rapport aux délais de réalisation des tunnels adjacents. Elle s'inscrira ainsi en temps caché à l'intérieur du planning global de la réalisation de toute la liaison.

La réalisation de l'ouvrage et de ses accrochages n'en représente pas moins un jalon essentiel et important, étant sans conteste l'élément le plus marquant et structurant de tout l'aménagement.

En terme de planning, l'ouvrage peut être réalisé sur une période de trois ans avec près de la moitié du temps consacré aux fondations et à l'élévation des pylônes qui représentent la difficulté majeure du projet.

La construction des raccordements aux rives avec les tranchées couvertes devront être coordonnées avec les emprises nécessaires pour les fronts d'attaque des tunnels. La tranchée immergée projetée du côté de La Pointe-à-la-Bise pourra servir d'estacade de chargement des déblais du tunnel pour leur évacuation par voie lacustre. La totalité du chantier devra être approvisionné par le lac ou par le côté Vengeron. Les dry docks nécessaires à la fabrication des caissons de fondations pourront être localisés dans l'emprise du chantier au Vengeron. De même, les pré-assemblages de tronçons des caissons métalliques pourront être fait à terre avant d'être acheminés sur site par barge puis hissés directement vers leur position finale en bout des fléaux déjà exécutés.

14.7. Conclusion

La faisabilité d'une traversée du lac en pont sur l'axe Vengeron - Pointe à la Bise est confirmée. Elle est non seulement techniquement réalisable, mais également financièrement maîtrisable. Sa principale difficulté technique réside dans la réalisation des massifs de fondation de pylônes qui nécessitent le recours à des techniques de construction maritimes peu usitées en Suisse. Il ne s'agit par contre pas d'une construction inédite sans précédent, plusieurs exemples similaires existent et ont été réalisés au travers du monde.

La technologie du pont à haubans à travées multiples autostables est une bonne réponse au problème posé. Elle présente un compromis avantageux entre le nombre de fondations, la hauteur des pylônes et la longueur des travées. Elle avait été développée lors du concours de 1994 sur le tracé Reposoir – Genève Plage, elle a par ailleurs été appliquée à plusieurs reprises, notamment pour la construction du grand viaduc de Millau en France. Il s'agit donc à nouveau d'une solution connue et maîtrisée.

De par son aspect architectural fort, l'ouvrage marquera une nouvelle identité de Genève et de sa région. La traversée courbe apporte souplesse et élégance à l'ouvrage. La lecture saine et claire de ses lignes et de sa structure apportée par sa dynamique favorisera son insertion. L'ouvrage traverse l'espace d'une rive à l'autre avec une expression sereine de transparence tendue entre les deux rives. L'ouverture visuelle laissée en rive gauche par la création de l'ile favorise l'émergence et l'élancement de la structure.

14.8. Plafond aérien

En ce qui concerne les exigences aéronautiques en matière de plafond aérien et de gêne aux instruments de navigation, l'Aéroport International de Genève a été consulté.

Le résumé des préavis à ce sujet, est donné dans la réponse de l'AIG, ci-après.

Aéroport International de Genève

MEMO

DE	Valentina Barbé, VBA / TGP	Sujet / Projet	Avant-projet de faisabilité pour une traversée du lac Léman à Genève
À	DCTI, Génie Civil, M. Pierre Steiner, chef de projet.	Date	24.06.2010
CC	NGA / DT, EBR / TG, PGY / TGP	**CONFIDENTIEL**	

1. Historique :

Mandat confié par le Grand Conseil au DCTI – Office du Génie Civil, pour l'étude de faisabilité d'une traversée lacustre de Genève.

Demande de préavis à l'Aéroport international de Genève en janvier 2010, sur la base de deux variantes en pont étudiées par le bureau T ingénierie SA :

- Variante 1 : Solutions haubanées courbes, plan général TL-17.0-141 du 26.03.10.
- Variante 2 : pont suspendu, plan général TL-17.0-144 du 26.03.10.

2. Expertises SkyGuide

Analyse de l'impact de deux variantes de la traversée du lac à Genève sur les procédures de vols aux instruments (IFR) pour l'aéroport de Genève. Voir les documents annexés.

Le document Annexe A présente les conclusions des services techniques SkyGuide des impacts sur les équipements de navigation et de surveillance.

L'impact sur les systèmes de radioguidage aéronautique (LOC23) devrait être mineur pour la variante 1, mais pourrait s'avérer assez fort pour la variante 2.

SkyGuide recommande donc la solution 1 "haubanées courbes".

3. Respect des zones de sécurité de l'Aéroport (conformes à l'Annexe 14 de l'OACI).

Les hauteurs des zones de sécurité de l'Aéroport sont représentées dans le tableau de la Page 3.

Variante 1 : solutions haubanées courbes, les pylônes P5 et P6 (rive gauche, Vengeron) dépassent légèrement le plafond aérien de 0.30m et 1.20m respectivement.

Variante 2 : pont suspendu, les pylônes Vengeron et Pointe-à-la-Bise percent largement le plafond aérien, de 93.3m et 30.9m respectivement.

4. Indicateurs d'approche de précision PAPI-23.

Pour les deux variantes, le pont est situé en dehors de la surface de visualisation des feux PAPI-23, les feux ne seront pas masqués par les pylônes.

5. Préavis et conclusions.

Variante 1, solutions haubanées courbes, préavis favorable sous réserves du léger percement du plafond aérien pour les pylônes P5 et P6.
Les pylônes devront être balisées.

Variante 2, pont suspendu, préavis défavorable, les pylônes percent largement le plafond aérien et représentent un obstacle et donc un risque à la sécurité aérienne.

La variante 1 est privilégiée, solutions haubanées courbes, qui respecte les zones de sécurité, en plus de ne pas avoir d'influence sur les procédures de vols aux instruments pour l'Aéroport International de Genève.

6. Annexes

Expertise SkyGuide du 22.06.2010, LSGG : Traversée du lac (« pont suspendu ») Impact on flight procedures for Geneva.

Expertise SkyGuide du 22.06.2010, LSGG : Traversée du lac (« solution haubanées courbes ») Impact on flight procedures for Geneva.

Annexe A impacts techniques, SkyGuide.

Surface de visualisation des feux PAPI-23.

15. TRAVERSEE DU LAC - Variante TUNNEL et TUNNEL DE COLLONGE

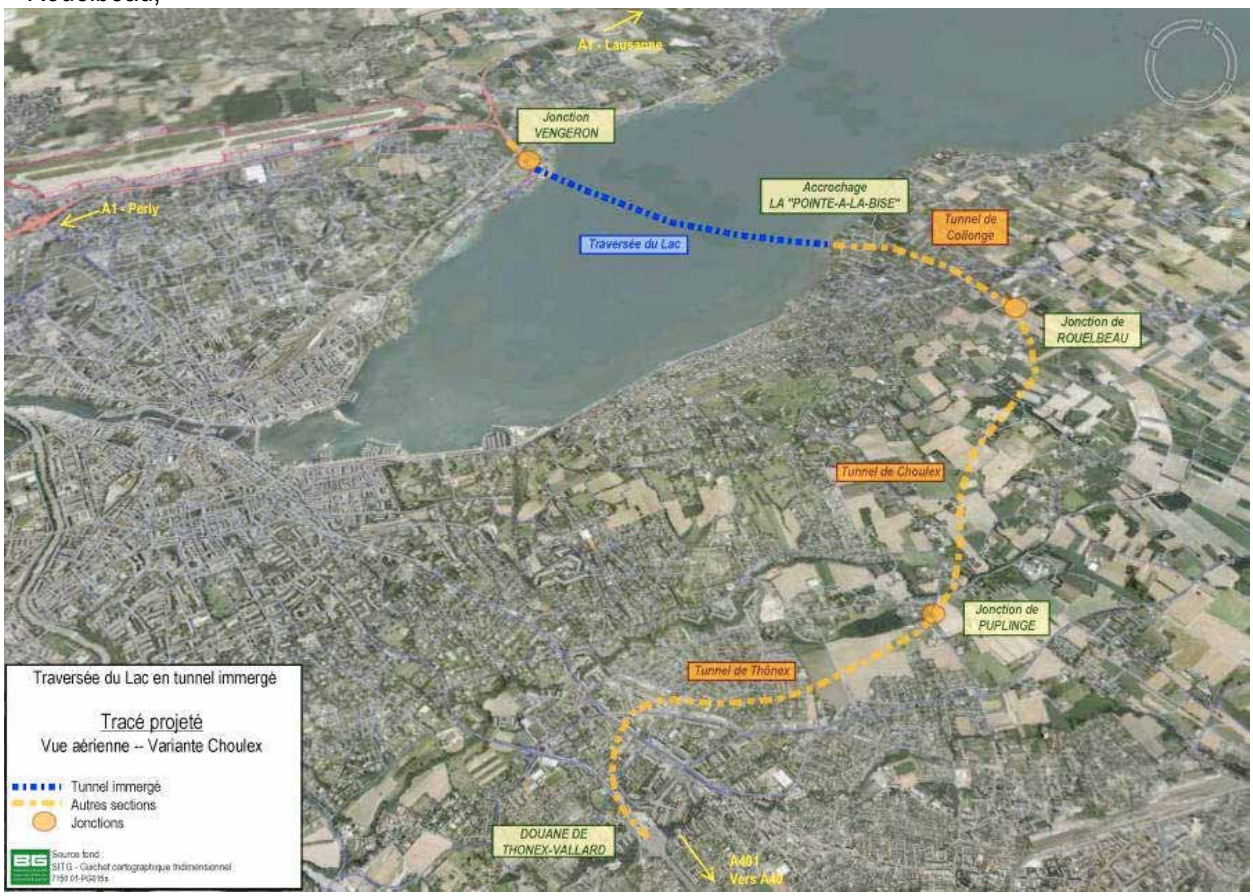
15.1. Objet et contraintes du projet

15.1.1. Objet

Ce rapport constitue une synthèse de l'étude préliminaire de faisabilité technique de la variante tunnel immergé du projet de traversée du lac, hors considération de coûts et délais - éléments faisant l'objet d'une synthèse globale au niveau du contournement complet projeté.

Le tronçon étudié est le tronçon entièrement souterrain situé entre le raccordement du projet sur l'A1a existante côté Vengeron et la jonction Rouelbeau côté Haut de Vésenaz, soit un souterrain d'environ 5 150 m de longueur décomposé en :

- tranchée couverte côté raccord avec l'autoroute A1a existante;
- ouvrage principal sous-lacustre en tunnel immergé de 2 800 m de longueur;
- prolongement en rive gauche sous Collonge-Bellerive en tunnel foré jusqu'à la jonction à ciel ouvert de Rouelbeau;



Fonction de l'ouvrage

Les études de trafic fournies prévoient un trafic journalier moyen (TJM) de l'ordre de 71 200 véh./j. à l'horizon 2030. L'ouvrage est à fonction autoroutière spécifique pour une vitesse de projet VP = 100 km/h. A la demande du Maître d'Ouvrage, un dimensionnement de principe à 2x2 voies est retenu.

Il n'y a pas de jonctions dans la partie en souterrain. Celles encadrant le tronçon étudié (jonctions du Vengeron et de Rouelbeau) sont situées à l'air libre et traitées dans le cadre des autres lots de l'étude.

Référentiel

La faisabilité du projet est étudiée en respectant les principales normes et directives suivantes :

- normes SIA, notamment la SIA 197, 197/2 et 198;
- directives et recommandations OFROU sur l'élaboration des projets et construction des routes nationales et des tunnels, en particulier directive "Ventilation des tunnels routiers" 2004-V1.2 (31.07.2006);
- normes VSS relatives à l'établissement du projet pour le tracé.

15.1.2. Contraintes

15.1.2.1. Topographie bathymétrie

Le tracé du projet s'inscrit dans une zone ou le fond du lac forme une large cuvette présentant les caractéristiques suivantes (voir plan et profil en figures 1 et 2) :

- depuis le Vengeron, pente lacustre relativement régulière (3,5% - 4%);
- puis, sur 1600m, zone de faible pente avec une profondeur supérieure à 40m et un point bas à -48m (z fond mini = 324m);
- remontée "raide" côté Pointe-à-la-Bise (pente de l'ordre de 20-25% sur 130m environ) se terminant par un "plateau" lacustre de 300m environ (fond entre 371m et 368m).

Dans le sens transversal, la zone est en très légère pente du sud vers le nord.

15.1.2.2. Contexte géologique, géotechnique et hydrogéologique

Les caractéristiques des terrains et les conditions hydrogéologiques sont décrites à partir des rapports de synthèse et profils établis par les bureaux géotechniques spécialisés mandatés pour la présente étude.

Zone lacustre

La succession lithologique au fond du lac est constituée des couches suivantes entre les deux rives, du haut vers le bas (voir profil en figure 2):

- **couche de vases lacustres (5d2/5f2)** contenant de la matière organique et de la craie avec des argiles très molles à inconsistantes, sur une épaisseur d'environ 10m sauf en rive droite (absence de sédiments) et en rive gauche où la couche atteint près de 30m d'épaisseur. Ces vases sont à l'état liquide jusque vers 10 à 20 m de profondeur.
- **couche de dépôts de retraits glaciaires (6)** constituée de limon plus ou moins argileux avec généralement peu de graviers, de consistance très molles à molle (6d2, "sous-consolidés") puis moyennement molle à ferme (6d12). L'épaisseur totale de cette couche varie de 15m environ sur les rives à près de 55m au milieu du lac.
- **couche de moraine (7)** constituée de limon argileux avec des graviers, de consistance ferme à dure, contenant localement (particulièrement en rive gauche) des intercalations très graveleuses et caillouteuses (dépôts d'Esker siège d'une nappe en charge). La moraine est atteinte entre 50 et 63 m de profondeur environ.
- A noter qu'en rive droite, on atteint extrêmement rapidement la roche en place (**15 - molasse rouge**). Celle-ci est constituée de grès et marno-grès assez durs à durs en moyenne, très peu fracturés. Elle est surmontée de dépôts de retraits en faible épaisseur.

A noter que des objets non identifiés, qui pourraient être des munitions stabilisées dans des caisses avec du béton, des débris ou des câbles non répertoriés sont visibles sur certains profils sismiques. Enfin, la présence dans les dépôts de retrait de blocs erratiques ou de drop-stones est évaluée à la fréquence d'une pièce par million de m3.

Tracé Tunnel de Collonge (tunnel foré)

Le coteau depuis la Pointe-à-la-Bise jusqu'à la jonction de Rouelbeau est constitué d'une moraine de retrait würmien limono-argileuse de bonne qualité (7d/e), consolidée, reposant côté lac sur les formations de retrait rissien et côté Rouelbeau sur le substratum rocheux (14 - molasse grise).

Hydrogéologie

Les conditions hydrogéologiques sont en général dictées par le lac qui sature les formations en place. A noter toutefois la présence en rive gauche de nappes captives dans les dépôts graveleux et caillouteux. L'existence de nappes superficielles dans le coteau de Vésenaz (Collonge-Bellerive) est également attestée.

15.1.2.3. Tracé

Axe en plan

L'axe en plan du projet est défini en coordination par le DCTI pour l'ensemble du projet en cohérence avec les normes VSS. Le tracé se déduit des contraintes de raccordement :

- sur l'A1a en rive droite côté Vengeron;
- sur la parcelle du camping en rive gauche côté Pointe-à-la-Bise.

Profil en long

Le profil général en tunnel immergé est contraint par la méthode de fondations, induisant un calage préliminaire à mi-hauteur par rapport au fond actuel dans les zones profondes.

On a veillé par ailleurs à respecter les pentes minimales en tunnel pour l'évacuation des eaux (0,5%) et à ne créer qu'un seul point bas (voir profil en annexe 2). La hauteur d'eau maximale atteinte au dessus du toit de l'ouvrage est de 42m au niveau du point bas.

En rive droite, le profil remonte au mieux du fond actuel de façon à limiter les volumes d'excavation tout en restant compatible avec le rétablissement de la route du lac au dessus du projet.

En rive gauche, le profil reste très enterré du fait :

- de la remontée rapide du fond du lac (le profil en long du tunnel ne peut dépasser 5%);
- des contraintes de raccordement sur le tunnel foré de Collonge : le front d'attaque (ou de sortie) doit être situé sur la parcelle du camping actuel. Compte tenu des hauteurs de couverture nécessaires, le profil reste très enterré.

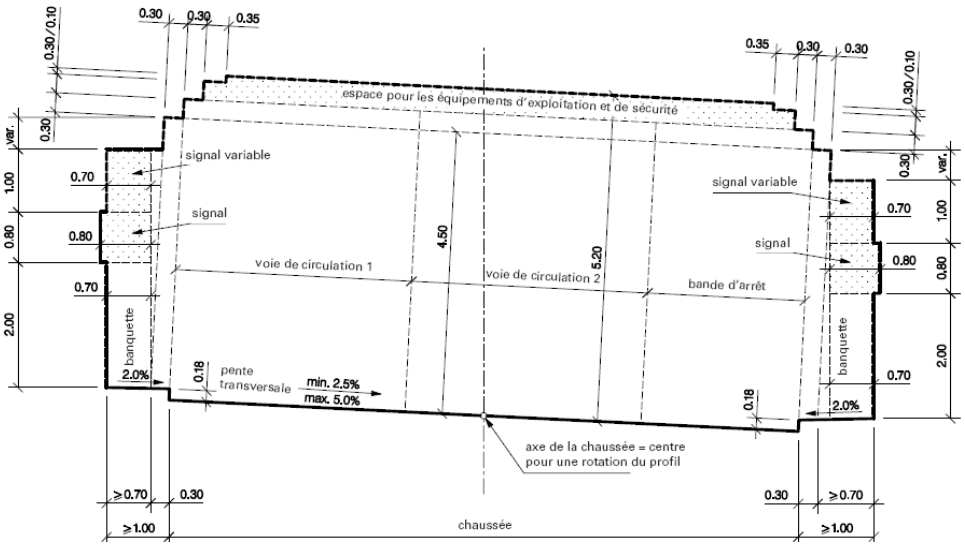
15.1.2.4. Profil en travers Type – Espaces utile

En souterrain, en conformité avec les normes SIA, le projet prévoit un espace trafic avec :

- 2 voies par sens sans bande de stationnement;
- largeur utile de la chaussée fixée à 7,75m;
- hauteur libre de 4,50m.

Au-delà de cet espace trafic, le projet intégrera les contraintes liées :

- aux espaces nécessaires pour les équipements de ventilation (accélérateurs, canal d'extraction des fumées);
- aux espaces utiles des autres équipements de sécurité (signalisation verticale, trottoirs, signalisation latérale, niches SOS, hydrants, garages, etc.);
- aux revanches de protections de ces équipements.



Espaces utiles selon les normes VSS et directives OFROU

A noter que la rampe et le dénivelé cumulé du projet côté rive gauche (3,9% sur 2000m) ont conduit à vérifier l'absence de nécessité d'une voie supplémentaire en rampe au sens de la norme VSS.

15.2. Solutions techniques envisagées

15.2.1. Tunnel foré

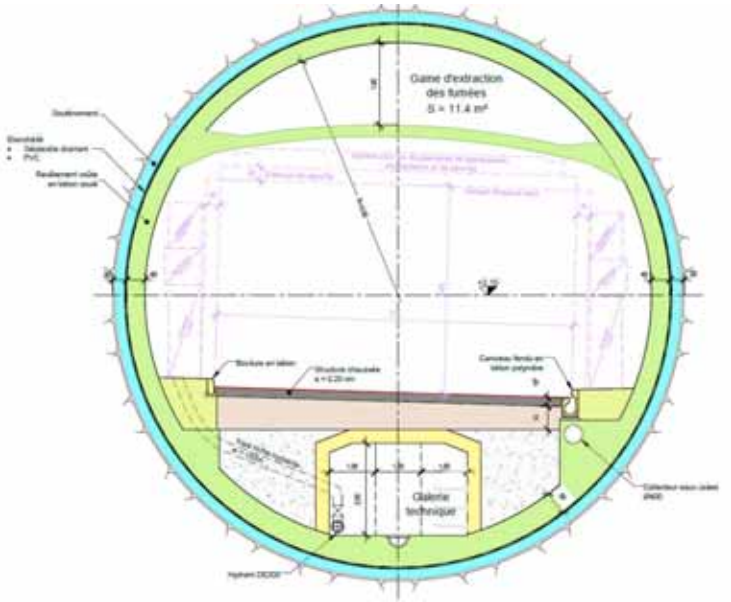
Le tunnel foré assurant la continuité de l'ouvrage immergé entre l'accrochage Rive Gauche et la jonction de Rouelbeau est un tunnel bitube, chaque tube recevant un sens de circulation. Il a pour principales caractéristiques :

- longueur 1 660 m environ;

- pente moyenne quasi constante à 3,9%;
- tracé en plan inscrit dans une courbe de rayon R=2000m.

Les conditions géotechniques et hydrogéologiques conduisent à retenir pour chaque tube un profil de section circulaire (R=5,50m) apte à reprendre la pleine poussée hydrostatique sous la nappe phréatique. Il reste pertinent au dessus compte tenu de son implantation en terrain meuble dans une zone urbanisée et de la présence de nappes captives.

La prise en compte des contraintes de ventilation et de sécurité conduit à prévoir une gaine d'extraction des fumées dans la partie supérieure (sur dalle) et une galerie technique sous chaussée :



Profil type – Tunnel Foré

15.2.2. Tunnel immergé – Concept

La conception du projet repose sur l'utilisation de la technique des **tunnels immergés**. Rappelons à ce stade :

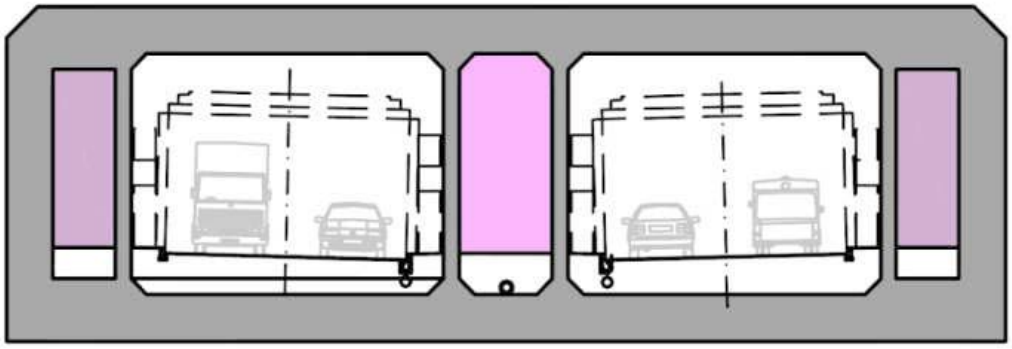
- que cette technique est désormais largement éprouvée, avec plus d'une centaine de réalisations de part le monde et un grand nombre de projets en cours de travaux ou en cours d'étude, y compris pour des profondeurs et longueurs équivalentes à celles envisagés par la Traversée du lac.
- que des solutions techniques maitrisées (bien que parfois coûteuses) existent pour résoudre les (habituelles) difficultés principales liées à la profondeur, à la nature des terrains et à la préparation (dragage) de l'assise, ainsi qu'à la maîtrise de l'étanchéité de la structure.

15.2.3. Caissons

La partie en tunnel immergé du projet est réalisée en juxtaposant des éléments préfabriqués de tunnel appelés "caissons", éléments de profil rectangulaire et de longueur 150m.

Le dimensionnement retenu est basé sur :

- les contraintes de réalisation lors de la préfabrication;
- les contraintes d'espaces utiles nécessaires aux deux sens de circulation;
- les contraintes d'espaces utiles nécessaires aux équipements de sécurité et de ventilation (gaine technique centrale, gaine d'extraction des fumées,…);
- le dimensionnement structurel, essentiellement conditionné par le poids nécessaire pour contrebalancer la poussée d'Archimède avec un coefficient de sécurité généralement admis à 1,1. Les importantes épaisseurs de béton nécessaires à l'obtention de ce coefficient permettent d'assurer la résistance de l'ouvrage aux pressions de terre et d'eau avec une armature d'environ 100 kg/m3.



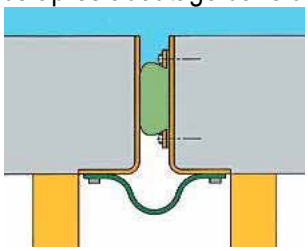
Profil type – Tunnel Immergé

Préfabrication

Joints

Des cloisons temporaires sont mises en place lors de la préfabrication aux abouts des éléments. Après immersion et démontage des cloisons, l'étanchéité entre éléments est assurée par un double système de joints :

- Joint protubérant souple (type GYNA) mis en compression dès l'assemblage des éléments et restant toujours en compression;
- Joint souple type oméga mise en place après aboutage dans un évidement.



Joints

15.2.4. Préfabrication et Transport

Les caissons sont préfabriqués dans une darse qui prévoit généralement la réalisation d'au moins 4 à 6 caissons par cycle. Le contexte et l'ampleur du projet incitent à délocaliser la production des éléments sur un site aménagé et aux impacts maîtrisés, le transport par voie lacustre ne présentant quasiment aucun inconvénient au regard des avantages de la délocalisation.

Exemple de darse de préfabrication

Transport d'un caisson

Pour cette étude il a été projeté une darse délocalisée permettant la préfabrication conjointe de 4 caissons :

- sa surface est d'environ 5 ha;
- la profondeur de la darse (environ 11 m sous le niveau du lac) est calculée en fonction des conditions nécessaires à la flottabilité des éléments pour leur transport;
- la digue est carrossable et protège le site des houles du lac;
- le site de préfabrication est noyable par pompage et un bateau-porte permet la sortie des éléments par flottaison;
- un site possible présentant des atouts certains pour l'approvisionnement (béton / acier) a été identifié au Bouveret ; parmi les compléments d'études à projeter, l'analyse géotechnique permettra d'évaluer si ce site permet d'envisager des conditions raisonnables (coûts / délais) pour l'étanchéïification du fond de l'enceinte.

Un cycle complet de préfabrication (durée estimée à 5 mois) comprend les étapes suivantes:

- mise en place des équipements;
- coffrage / bétonnage de 4 caissons;
- mise en place des cloisons temporaires;
- mise en eau de la darse / ouverture de la darse (bateau-porte) et halage des caissons vers le site de mise en place ou vers un site de stockage;
- fermeture du bateau porte / pompage et mise à sec)

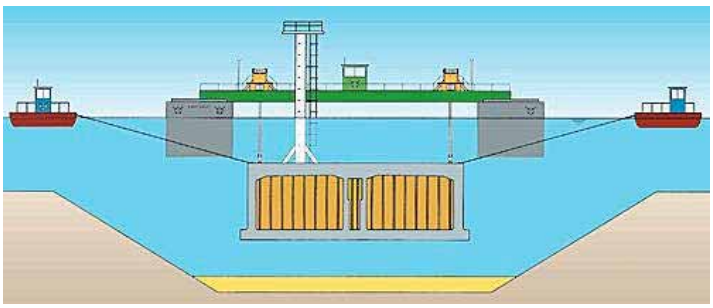
Suite à une expertise par une entreprise spécialisée, il a été suggéré de ne pas écarter des solutions avec réalisation de cette darse sur le site de l'accrochage du tunnel au Vengeron.

Le transport des éléments est assuré par halage vers le lieu de mise en place. La flottabilité des caissons lors de cette phase est maîtrisé à l'aide de pontons flotteurs, de réservoirs d'eau placés dans les caissons et en jouant sur les épaisseurs de béton à mettre en place sous la chaussée.

15.2.5. Immersion des éléments

Les éléments sont coulés à leur emplacement définitif par lestage hydraulique. L'immersion est réalisée à partir de pontons d'immersion assemblés en catamarans, équipés de portiques et de moufles.

Immersion (tunnel de la MedWay)



Immersion

En fin d'immersion d'un élément, la vidange de la chambre constituée entre les deux cloisons temporaires de l'élément en cours et de celui précédemment posé est assurée depuis le dernier élément en place. Des immersions aux profondeurs similaires ont été effectuées sur les tunnels du Bosphore et de Busan, dans des conditions de courant élevé.

L'ensemble de ces équipements est démobilisé par plongeurs ou par robots. L'impact sur la batellerie reste largement maitrisable compte tenu de la largeur totale disponible.

15.2.6. Fondations du tunnel immergé

Le contexte géotechnique constitue un des enjeux principaux pour la faisabilité du projet notamment pour le choix d'une solution de fondation des éléments du tunnel immergé.

Les caractéristiques médiocres des sols supports exigent en effet une analyse approfondie des solutions permettant de maîtriser :

- la stabilité générale de l'ouvrage vis-à-vis du poinçonnement (résistance au cisaillement);
- les tassements de consolidation à long terme sous l'effet des charges induites ou sous l'effet du propre poids des sols (horizon de dépôts de retrait glaciaire 6d2/6d12 considéré comme "sous-consolidé")

Par ailleurs, bien que les sollicitations du caisson sur le sol support soient relativement faibles (du fait de la poussée d'Archimède), la prise en compte de l'ensemble des contraintes (remblai latéraux voire remblai de couverture) est nécessaire.

A ce stade d'étude, toute solution de pose sur les couches inconsistantes des vases étant écartée, différentes variantes ont été imaginées :

Type A (variantes 1 et 2) :

- Modification des caractéristiques de la couche de vases par déversement de matériaux sélectionnés propres à constituer un remblai de préchargement;
- Une fois obtenu le tassement de consolidation primaire, dragage dans le terrain plus compact ainsi obtenu et constitution d'un lit de pose;
- La variante n° 2 consiste à prévoir des inclusions rigides au droit des joints des éléments de tunnel immergé.

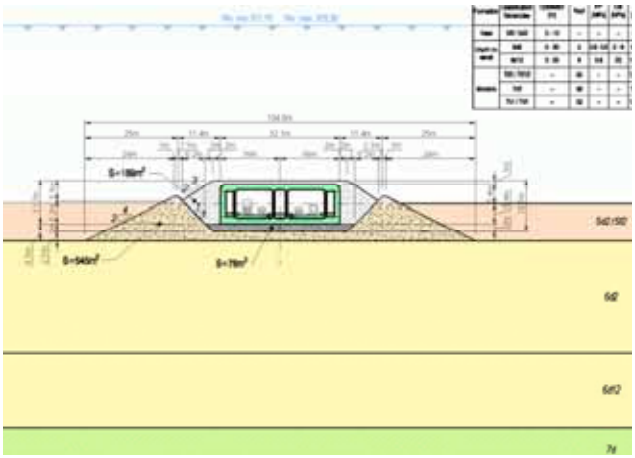


Schéma synoptique – Variante 1

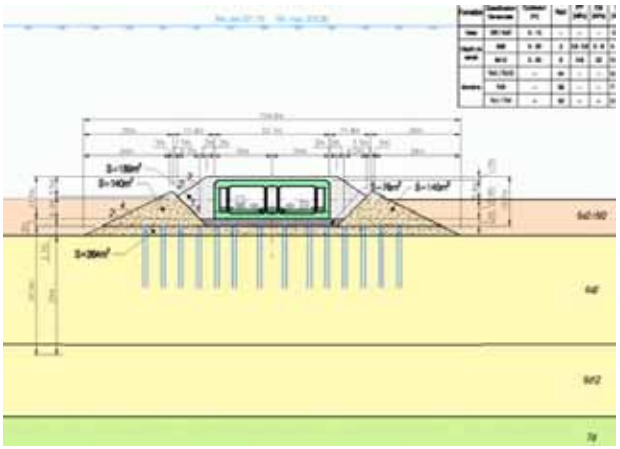


Schéma synoptique – Variante 2

Type B (Variante 3) :

Cette variante prévoit :

- une purge des vases inconsistantes après réalisation d'un chenal constitué par deux "digues" de protection constituées de matériaux sélectionnés et coulés;
- le transfert des charges par des inclusions rigides afin de limiter les tassements de consolidation primaire et secondaire ultérieurs préjudiciables à l'ouvrage (réduction des tassements différentiels sous le tunnel).

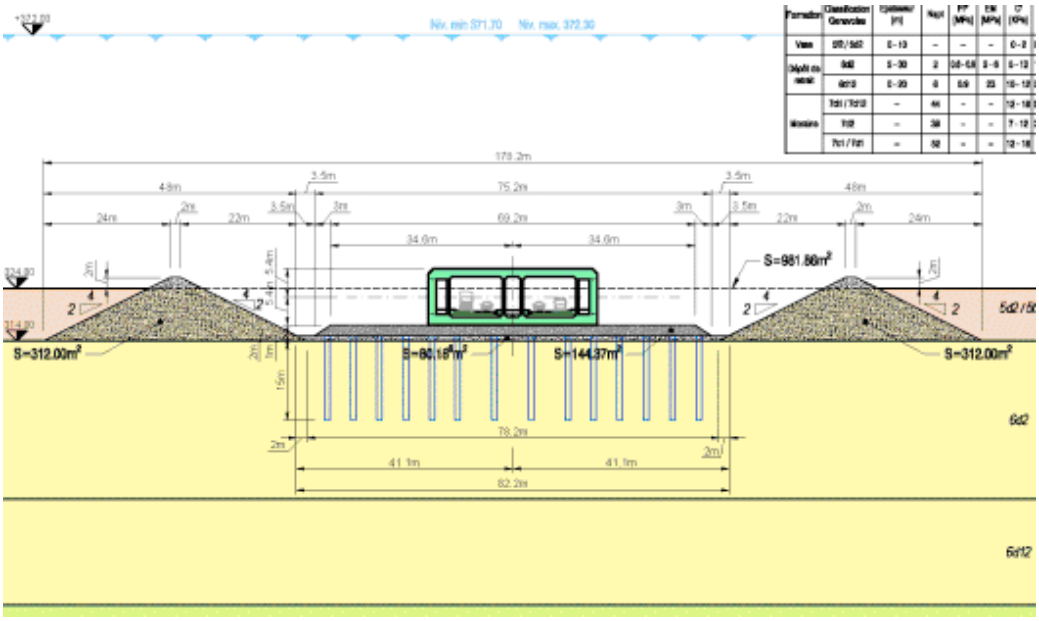


Schéma synoptique – Variante 3

Que ce soit pour apprécier la pertinence des solutions sur le plan du cisaillement ou de la maîtrise de la consolidation à long terme, il sera nécessaire de compéter les données géotechniques actuelles (notamment mesure des caractéristiques de cisaillement, mesure des modules des sols d'assise).

A ce stade et après expertise menée par une entreprise indépendante spécialisée Travaux Maritimes, la variante 3 semble la plus prometteuse pour assurer la portance de l'ouvrage sur les couches 6d2/6d12. Ce sera d'autant plus plausible si les études complémentaires mettent en évidence une différence dans les mécaniques des couches 6d2 et 6d12 (meilleur comportement de la couche 6d12 recherché). Ceci présenterait un intérêt d'une part dans le calcul (et la maîtrise) de l'amplitude des tassements et d'autre part dans la recherche d'un niveau d'ancrage en pointe pour les éventuelles inclusions rigides projetées.

Développements

En considération du caractère exceptionnel de l'ouvrage et du contexte géotechnique, des solutions innovantes ne devraient pas être écartées a priori dans la recherche de solutions de fondations du tunnel.

Une variante considérée lors de l'expertise consiste à envisager une fondation sur pieux métalliques battus tous les 25m. Cette solution probablement économique permettrait de limiter considérablement les mouvements de matériaux (pas de remblai de confinement, suppression du pompage des vases). Elle reste à développer en ce qui concerne la préparation des appuis et la justification de la stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux.

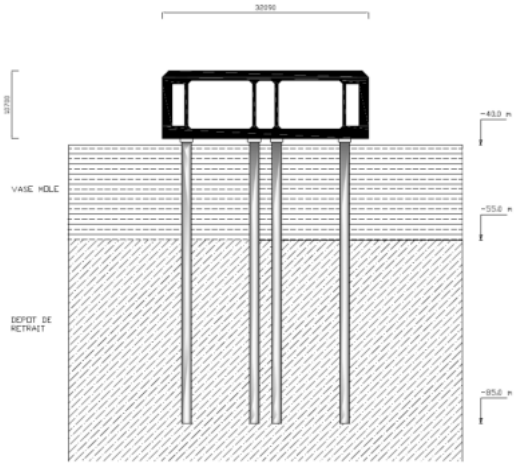


Schéma synoptique – Variante sur pieux

Elle fait appel à des techniques disponibles dans les sociétés offshores et en partie appliquées, par exemple, lors des travaux de la digue de Monaco.

Une variante plus innovante encore de **tunnel "flottant"** a été écartée par principe. Ce concept est en gestation depuis longtemps dans l'industrie du tunnel immergé mais n'a jamais été réalisé. L'ancrage serait ici contrôlé par des "ancres de succion" telles que développés pour des plateformes pétrolières.

15.2.7. Réalisation des accrochages

Les transitions entre les derniers éléments de tunnel immergé et les profils traditionnels de part et d'autre du tunnel immergé sont construits à l'air libre dans des enceintes provisoires protégées. On parle des "accrochages" rive gauche et droite.

Rive Gauche

L'accrochage rive gauche est construit au sein d'une vaste enceinte provisoire réalisée à l'aide de parois moulées (voir plan en figure 3) :

- les parois prévues sur le lac sont construites à partir de batardeaux constitués d'une double enceinte de palplanches;
- une fois les terrassements effectués la construction des structures en béton s'effectue par plots successifs;
- l'enceinte prévoit une écluse qui permet de préparer l'accrochage du dernier élément de tunnel immergé;
- une fois les travaux terminés, l'enceinte est remblayée, les batardeaux sont démontés et l'on peut restituer, après renaturation, une rive identique à l'état avant travaux.
- Une cinématique simplifiée de ces travaux est proposée en figure 4.

Rive Droite

Le même principe de réalisation dans une enceinte est à prévoir côté Vengeron.

15.2.8. Equipements

Une fois les éléments de tunnel immergés et positionnés, les phases suivantes de travaux suivent avec un décalage d'au moins 2 éléments. Les travaux comprennent:

- mise en place des remblais latéraux et remblai de protection;
- mise en place des chaussées et ballastage définitif;
- mise en place des équipements d'exploitation et de sécurité.

Tunnel immergé - exemple ouvrage construit

15.2.9. Concept de sécurité

Le concept de sécurité envisagé repose sur un ensemble de dispositions constructives, d'équipements et de système de contrôle commande, dont les principales sont :

- aménagements en cas d'urgence et de fuite (niches, intertubes, galerie technique, téléphones SOS,…);
- signalisation, marquage, système de gestion dynamique du trafic;

- installations d'extinctions et système de détection incendie, systèmes de mesures (air, trafic);
- surveillance vidéo, éclairage;
- ventilation : le concept de ventilation a fait l'objet d'une étude spécifique conduisant à prévoir une ventilation longitudinale avec aspiration des fumées en cas de sinistre.

Aux stades ultérieurs, du fait de la succession de tunnels très rapprochés, il conviendra de traiter ce concept en considérant le projet dans sa globalité.

15.2.10. Mobilisation des moyens

Avec l'appui d'une entreprise spécialisée en travaux maritimes, il a été procédé à une analyse du contexte lacustre du projet et à ses conséquences sur la mobilisation des moyens nautiques importants nécessités par un projet de tunnel immergé.

Cette analyse a considéré les moyens relatifs à l'ensemble des phases du projet de tunnel immergé : mise en place des remblais de confinements, dragage, inclusions, lit de pose, remorquage des éléments, immersion des éléments, etc.

Sous réserve de recourir à des modules spécifiques assemblés sur site après transport, l'expertise conclu à la faisabilité de la mobilisation de ces moyens.

15.3. Conclusions et recommandations

- Dans son ensemble, la maîtrise du processus de conception et de réalisation du tunnel immergé semble globalement acquise au regard des capacités techniques d'ingénierie et de travaux disponibles au niveau mondial.
- La faisabilité technique du projet en ce qui concerne la méthode de fondation des éléments nécessite un recueil complémentaire de données jugé indispensable pour conclure à une solution réaliste vis-à-vis de la maîtrise des tassements à long terme dans les zones profondes avec une importante épaisseur de vase. Le contexte géotechnique du fond du lac conduit à ne pas négliger des solutions innovantes.
- Le contexte lacustre du projet n'est pas un obstacle à la mobilisation des moyens nécessaires à la réalisation d'un tunnel immergé.
- Les avantages principaux du recours à la technique de tunnels immergés, dans le contexte spécifique de la traversée du lac au nord de Genève, sont les suivants :
  - limitation des besoins d'emprises dans un contexte foncier sensible;
  - limitation des impacts aussi bien en phase exploitation qu'en phase travaux;
  - maîtrise des conditions de réalisation du génie civil des éléments préfabriqués, avec possibilité de choisir un site de préfabrication optimisé vis-à-vis des approvisionnements et des impacts.
- En fonction ou à l'origine de la solution de pose à choisir, la gestion des matériaux sera l'un des enjeux principaux du projet, à la fois en terme économique mais aussi en terme environnemental.

Figure 1 : Plan de situation du tunnel immergé

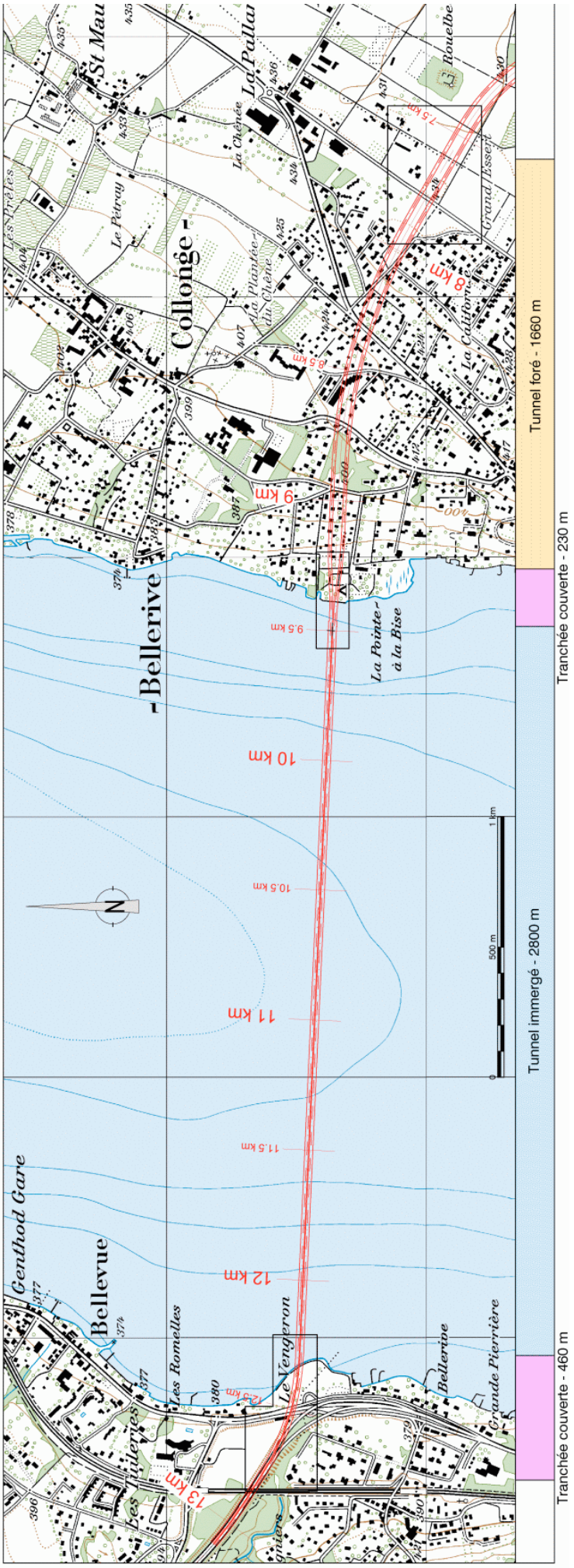


Figure 2 : Profil en long et maquette géotechnique

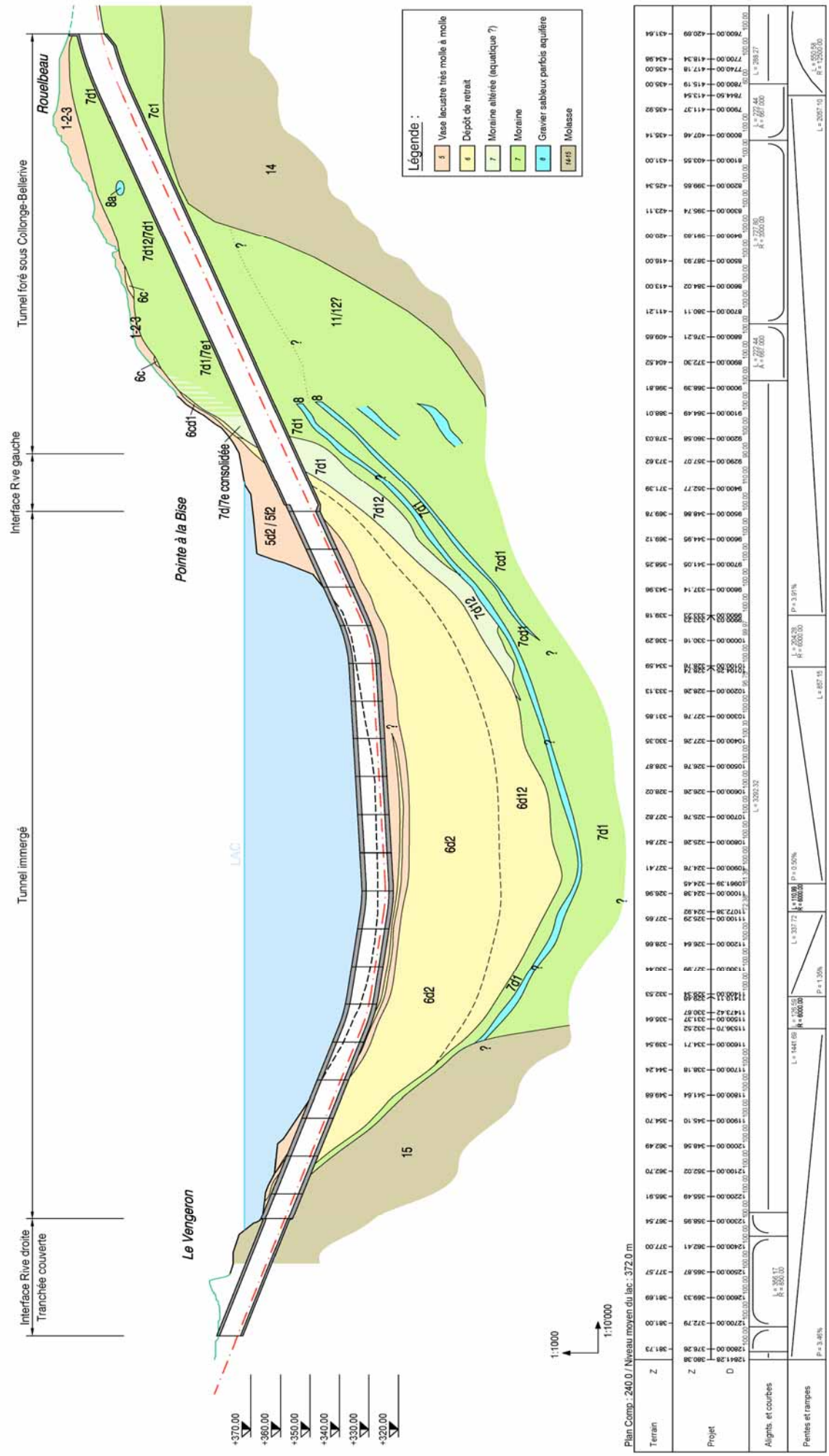


Figure 3 : Enceinte provisoire des travaux en rive Gauche – Pointe-à-la-Bise

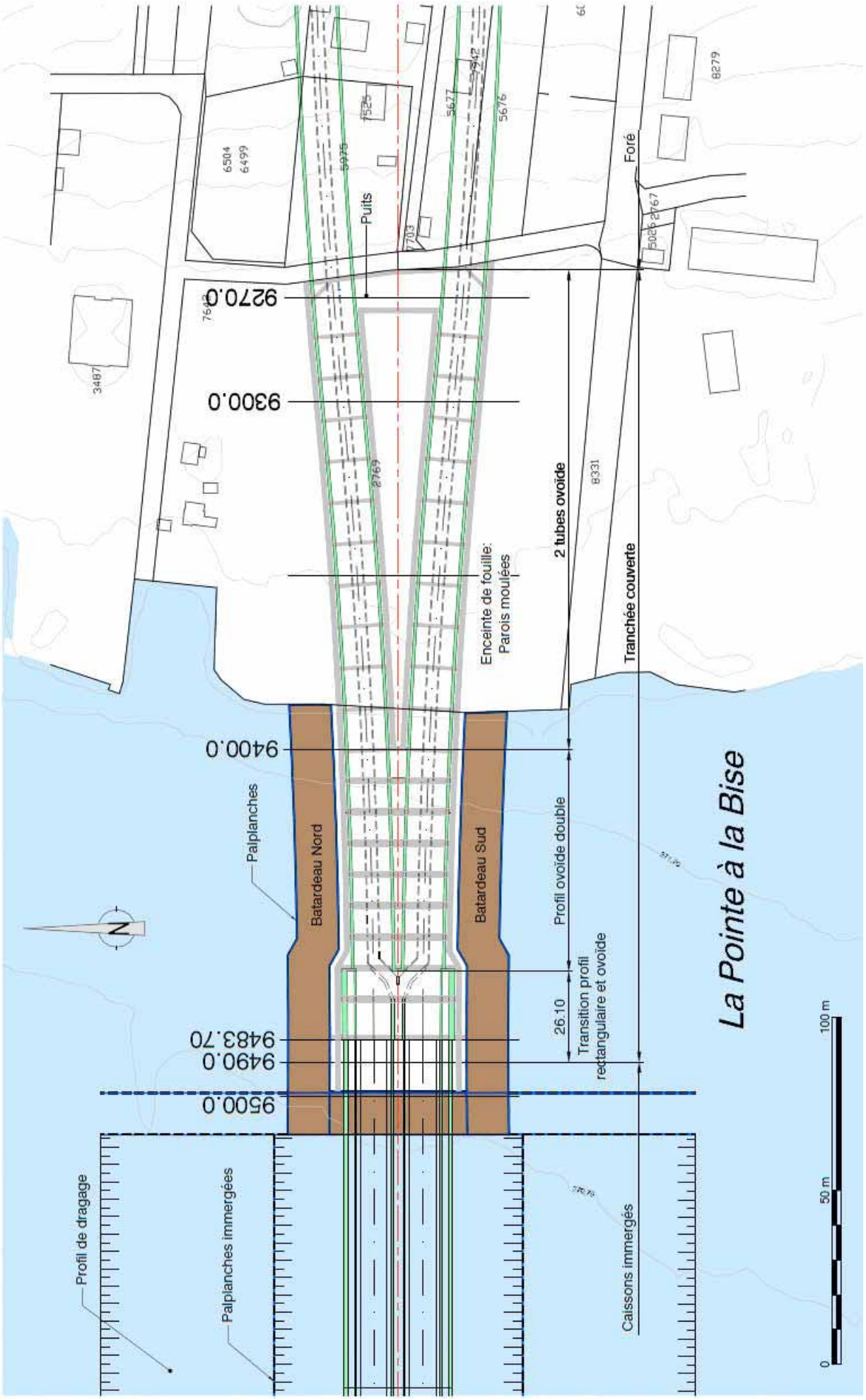
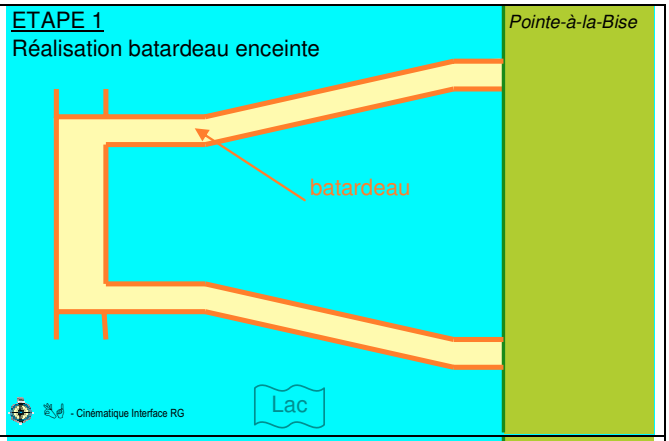
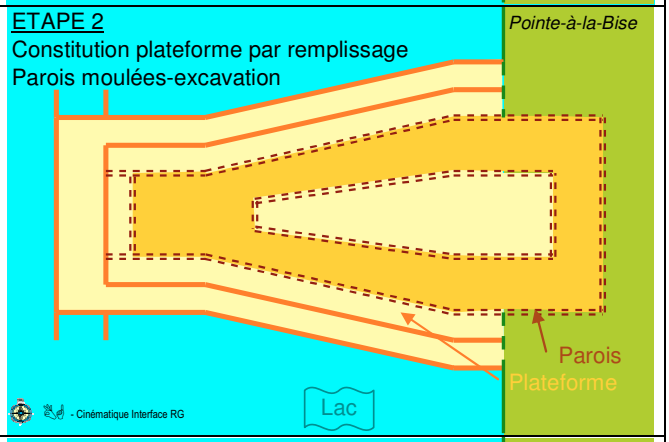
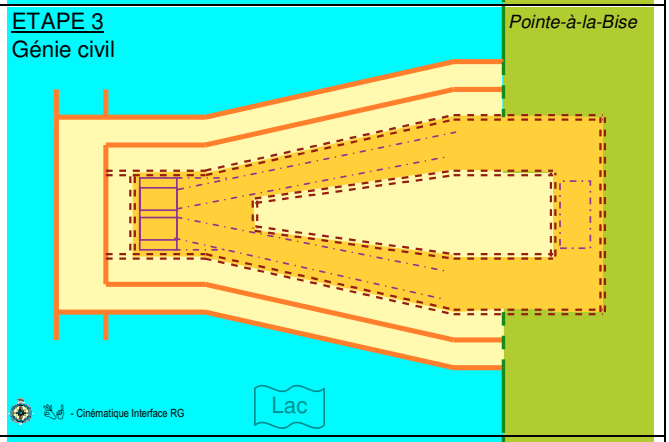
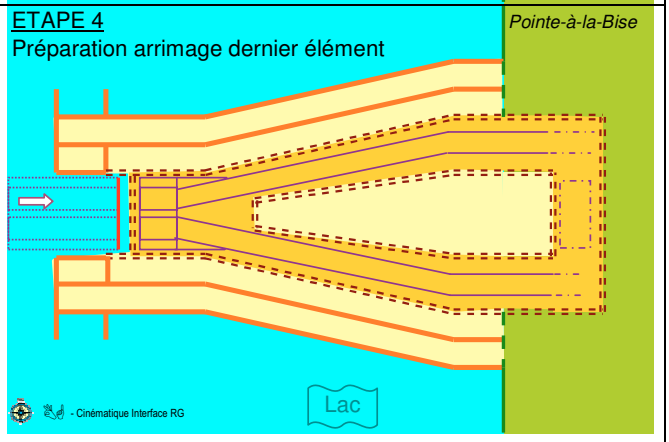
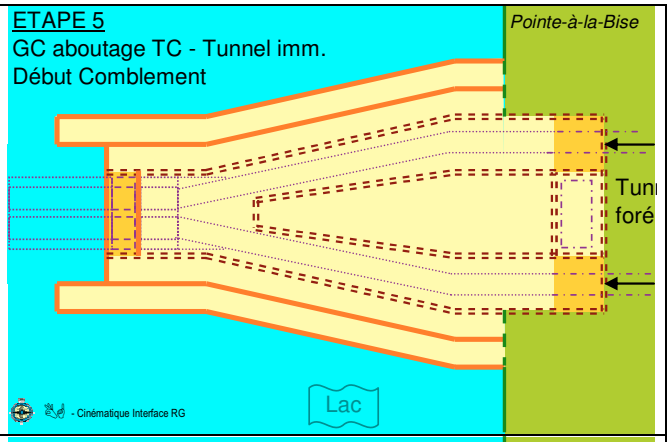
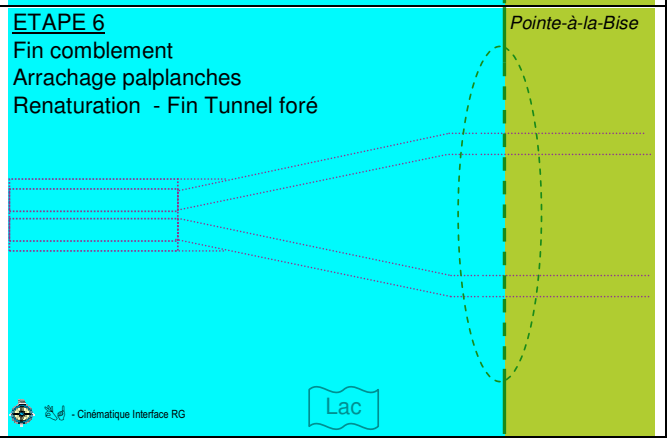


Figure 4 : Cinématique des travaux en accrochage Rive Gauche

Etape 1 Réalisation d'une enceinte de batardeaux constitués de deux rangées de palplanches comblées à l'avancement par du matériau tout-venant. Les travaux commencent depuis la rive.	
Etape 2 Mise à sec de l'enceinte et constitution d'une plateforme de travail carrossable à l'intérieur des batardeaux par remplissage avec matériaux concassés de démolition. Réalisation des parois moulées. Début de l'excavation en phase descendante, par étapes verticales et longitudinales (gradins). Etayage à l'avancement.	
Etape 3 Poursuite de l'excavation en gradins (4 étapes) avec étaiement en descendant. Bétonnage des éléments de la tranchée couverte par plots du lac vers la rive. Constitution d'une écluse entre une paroi de palplanches adossée au batardeau ouest et une paroi moulée transversale. Excavation du terrain à l'intérieur.	
Etape 4 Mise en eau de l'écluse après coulage du préradier. Immersion du dernier caisson à l'intérieur de celle-ci. Fermeture de l'écluse côté lac par éléments préfabriqués descendus entre les parois moulées et le caisson. Poursuite des travaux de béton armé de la tranchée couverte. Nota : la conception des profils de tranchée couverte permet à ce stade le test préalable de l'étanchéité par noyage avant son remblaiement définitif.	

Etape 5 Vidange de l'écluse et réalisation de l'élément d'aboutage (faisant transition entre la tranchée couverte et le tunnel immergé). Remblayage des tranchées couvertes. Fin du génie civil du puits côté rive. Percement avec le tunnel foré depuis Rouelbeau.	
Etape 6 Démontage des batardeaux. Remise en eau et travaux de renaturation. Restitution des emprises.	

16. ACCROCHAGES DU TUNNEL OU DU PONT SUR LES RIVES DU LAC

Les accrochages sur les rives du lac des ouvrages étudiés, seront d'une grande importance aussi bien du point de vue technique, constructif, écologique que paysager et vision sur le lac.
De plus, diverses mesures d'accompagnement ou compensatoires pourraient être réalisées avec le projet de la traversée du lac.
Diverses solutions de réalisation de ces accrochages données ici à titre indicatif, ont été étudiées.

16.1. Le Vengeron - Variante Pont et Port

16.2. Le Vengeron - Variante Pont et Port

16.3. Le Vengeron - Variante Tunnel et Port

16.4. Le Vengeron - Variante Tunnel et Port

16.5. La Pointe à la Bise - Variante Pont

16.6. La Pointe à la Bise - Variante Pont

16.7. La Pointe à la Bise - Variante Tunnel

17. ECHANGEUR ET JONCTION DU VENGERON

17.1. Introduction

La future traversée du lac entre le Vengeron, La Pallanterie et la douane de Vallard s'accrochera sur la rive droite à l'échangeur du Vengeron. Le lot concerné comprend les études des échangeurs de l'aéroport et du Vengeron, soit tous les ouvrages entre les km 12,700 (bord du lac actuel) et km 14,200 (début échangeur aéroport), c'est à dire 1'500 mètres linéaires de l'autoroute principale.

Afin de confirmer la faisabilité des ouvrages projetés, les principales contraintes du site ont été analysées : extraits cadastraux avec propriétaires des parcelles, principaux réseaux de services, Gazoduc, réseau de pompage de l'eau du lac, principaux cours d'eau à ciel ouvert et canalisés, notamment le Gobet.

D'autre part, les infrastructures nécessaires au fonctionnement du futur ouvrage (tunnel ou pont) ont été identifiées : centre d'entretien et d'intervention, station de ventilation pour les ouvrages enterrés. Ces infrastructures sont mentionnées de manière schématique dans les plans et devront faire l'objet d'études ultérieures.

Le principe retenu pour le choix de la variante proposée est le suivant : minimiser l'impact du projet sur le site, maintenir au maximum des infrastructures existantes, maintenir le trafic actuel pendant toutes les phases de réalisation, minimiser les emprises sur les parcelles privées, concentrer le trafic sur les axes principaux. Deux variantes d'ouvrage ont été analysées: une variante en tunnel immergé et une variante en pont haubané légèrement courbe. Pour le lot concerné, les deux variantes présentent une situation pratiquement identique et seul le profil en long varie à proximité du lac.

En ce qui concerne le trafic, la vitesse de dimensionnement sur l'axe autoroutier est de 100 km/h pour deux fois deux voies. Pour les ouvrages d'accès, la vitesse de dimensionnement est de 60 km/h au minimum, sauf pour la boucle de rebroussement souterraine située sous l'échangeur de l'aéroport dont la vitesse est de 50 km/h pour éviter des emprises sous les parcelles privées.

Le tracé présenté est le résultat de différents choix et options d'études. Succinctement les options d'études non retenues sont :

- tracé autoroutier par-dessus la route de Lausanne pour la variante pont (impact) ;
- liaison directe entre la route de Lausanne et la Traversée du lac (dénivelé trop important) ;
- augmentation de la vitesse sur boucle de rebroussement (emprise sous parcelles privées) ;
- suppression de la boucle de rebroussement Genève – Chambésy ;
- variantes de passages supérieurs ou inférieurs

En fin de rapport, des pistes pour la poursuite du projet recommandent en particulier, de procéder à des études géotechniques plus détaillées du secteur car la présence de molasse à faible profondeur pourrait considérablement compliquer les travaux prévus.

17.2. Descriptif du lot

Le lot, soit l'échangeur du Vengeron et l'échangeur de l'aéroport, est divisé en plusieurs sections d'aménagements:

Route principale de l'échangeur, 3 sous-sections:

- tranchée couverte, plage du vengeron km 12,700 au km 13,100
- raccordement en tranchée couverte, km 13,100 au km 13,350
- élargissement et mise en conformité autoroute actuelle, km 13,350 au km 14,200

Routes secondaires de raccordement, 7 sous-sections :

- pont sortie Bellevue
- pont d'accès P+R Bellevue
- bretelle d'accès Bellevue
- sortie P+R Bellevue
- bretelle entrée Genève
- bretelle sortie Genève
- boucle d'accès aéroport (70% en tranchée couverte)

Bâtiments et infrastructures
- transformation du bâtiment de la station de pompage SIG en centrale de ventilation, à confirmer selon tracé et compatibilité du croisement des altitudes de la tranchée couverte.
- centre d'entretien routier et d'intervention implanté sur les parcelles de l'Etat.

Le projet engendre les modifications des infrastructures suivantes :
- prolongement du pont de la voie CFF
- suppression de la liaison accès aéroport / rte des Romelles
- suppression des accès rte des Romelles / aéroport
- projet de déviation et/ou maintien du gazoduc dans le cadre de l'aménagement
- déviation de services

En parallèle, d'autres projets connexes sont envisagés:
- réaménagement et agrandissement éventuel de la plage du Vengeron
- P+R Bellevue en liaison avec la desserte ferroviaire
- port du Vengeron

17.3. Descriptif des ouvrages projetés

Le projet a été élaboré en prenant en considération les objectifs suivants :
- minimiser l'impact du projet sur le site en privilégiant les ouvrages enterrés ;
- garantir tous les mouvements de circulation ;
- concentrer le trafic sur les axes principaux ;
- maintenir et minimiser l'impact sur les ouvrages existants ;
- minimiser les emprises sur les parcelles ;
- maintenir les circulations routières et ferroviaires ;
- prendre en compte le projet du P+R de Bellevue avec un accès directe sur les aménagements de l'échangeur, de même que la création d'un centre d'entretien routier et d'intervention.

17.3.1. Tranchée couverte, plage du Vengeron km 12,700 au km 13,100

Dans les deux variantes de l'ouvrage principal (tunnel immergé ou pont haubané), l'autoroute passera sous la route de Lausanne et la plage du Vengeron par un ouvrage réalisé en tranchée couverte de 400 ml. Dans les deux cas l'axe en plan ne change pas, par contre les profils en long sont différents. La limite de lot est au km 12,700 et la position du tracé en situation est imposée par la présence de la boucle de rebroussement Genève-Chambésy qui doit être maintenue.

Le tunnel principal passe sous la station de pompage du Vengeron et l'interaction avec le réseau de conduites du pompage d'eau du lac alimentant le CERN devra faire l'objet d'études détaillées. Dans la variante tunnel immergé, la tranchée couverte sert également de tunnel de ventilation jusqu'à la station de pompage.

Le profil en travers type applique les mêmes caractéristiques que l'ouvrage du projet de tunnel, soit une section hors tout de 29.50 m de largeur par 9 m de hauteur, avec une gaine technique centrale de 3 m suivie de deux espaces de circulation de 10 m et fermée de part et d'autre par une gaine d'extraction des fumées de 2m.

17.3.2. Raccordement tranchée couverte, du km 13,100 au km 13,350

Cette section correspond à la trémie en raccordement à la section courante d'élargissement et de mise en conformité ; (entrée/sortie de la tranchée couverte), soit sur une longueur de 250 ml. L'ouvrage comporte les mêmes caractéristiques que la tranchée couverte mais sans la dalle supérieure et les galeries techniques.

17.3.3. Elargissement et mise en conformité de l'autoroute actuelle, du km 13,350 au km 14,200

Cette section à l'étude correspond au raccordement à l'existant avec la mise en conformité et l'élargissement sur une partie des chaussées existantes. La reprise complète de la structure de 1/3 des chaussées existantes et/ou à créer a été prise en compte. Dans les deux autres tiers on ne reprend que le tapis final et les reprofilages éventuels ainsi que les signalisations correspondantes.

On peut observer qu'il y a deux voies sortantes direction Lausanne et qu'il n'y a plus qu'une voie entrante direction Genève, la deuxième étant condamnée par un marquage spécifique pour permettre l'insertion

provenant de l'aéroport en direction de Genève, ainsi que la boucle de retournement provenant de la traversée du lac (accès aéroport).

17.3.4. Pont sortie Bellevue

Le pont sortie Bellevue permet de prendre la route du bord de lac en direction de Lausanne. Le pont passe par-dessus la bretelle d'accès à Genève, la bretelle de sortie de Genève, la route du bord de lac entre Genève et Lausanne et la tranchée couverte de la traversée du lac à l'étude.

17.3.5. Pont d'accès P+R Bellevue

Le pont d'accès P+R Bellevue permet de se rendre au Parc-Relais de Bellevue, projet connexe à créer. Le pont franchit les mêmes routes que le pont de sortie Bellevue mais sur une distance aussi courte que possible, soit 70 m de longueur.

17.3.6. Bretelle d'accès Bellevue (provenance Bellevue)

La bretelle d'accès Bellevue permet aux véhicules en provenance de Bellevue de s'insérer sur la bretelle de sortie Genève en direction de l'autoroute A1. Cette voie nouvelle a une longueur de 182 m.

17.3.7. Sortie P+R Bellevue

La sortie du Parc-Relais de Bellevue s'étend sur 522 m de longueur. La sortie se situe en parallèle de la route principale à l'étude entre le km 13,100 et km 13,500 et s'insère en premier lieu sur la bretelle de sortie de Genève et ensuite sur l'autoroute A1.

17.3.8. Bretelle entrée Genève

La bretelle d'entrée sur Genève se développe en deux sections, la première entre le km 13,700 et km 13,200 jusque sous le pont CFF et la deuxième entre km 13,200 et km 12,800. La différence entre les deux sections est l'intégration d'une voie supplémentaire.

17.3.9. Bretelle sortie Genève

La bretelle de sortie Genève se développe en deux sections, la première entre le km 12,800 et le km 13,100 et la deuxième entre km 13,100 et km 13,500. La première sur 200 m de longueur est la rectification de la courbe de sortie actuelle et la deuxième sur 630 m de longueur est parallèle à la voie principale.

17.3.10. Boucle d'accès aéroport

La boucle d'accès à l'aéroport et aussi boucle de retournement des véhicules provenant de la traversée du lac et voulant se rendre à Genève, se compose d'une tranchée couverte qui se développe sur 655 m de longueur et 98 m supplémentaires en direction de l'aéroport. Les voies de raccordement hors tranchée couverte représentent une longueur de 278 m de longueur.

17.3.11. Prolongement Pont CFF

La réalisation des voies d'accélération (en direction de Lausanne) et de décélération (en direction de Genève et de Bellevue) impose la prolongation du pont CFF en direction de Lausanne et en direction de Genève.

Les conséquences du projet dans son ensemble imposent un élargissement de 28 m de part et d'autre de l'ouvrage existant, ce qui représente une longueur globale de 96 m.

17.3.12. Démolition d'ouvrages existants

Afin de diminuer au maximum le trafic sur les routes secondaires comme la route des Romelles, il a été décideé de proposer de démolir les liaisons entre cette route et l'aéroport. A noter que ces suppressions d'ouvrages ne sont pas indispensables au bon fonctionnement du projet de raccordement autoroutier. Il s'agit des deux ponts suivants :

- suppression de la liaison accès aéroport / route des Romelles
- suppression de l'accès routes des Romelles / aéroport

17.4. Planning intentionnel des travaux

Le programme des travaux se base sur le montant global des travaux et les spécificités des entreprises aptes à réaliser une partie des prestations. D'autre part, les travaux de l'échangeur du Vengeron doivent prendre en compte les contraintes de réalisation de l'ouvrage principal de la traversée du lac, en tunnel immergé ou en pont haubané, en particulier les zones d'installation de chantier devront être étroitement coordonnées.

Au vu du projet deux nœuds routiers bien distincts pourraient se partager en deux lots différents entre le km 12,700 au km 13,400 et le km 13,400 au km 14,200.

17.5. Estimation des coûts

Le coût des différents ouvrages et routes sont estimés en fonction d'ouvrages similaires exécutés récemment. Les coûts des travaux comprennent :

- Installation de chantier
- Démolitions et démontages
- Construction de réseaux enterrés
- Génie civil d'une batterie de nouveaux tubes et protection de tubes existants pour différents services.
- Amélioration des sols de fondations
- Parois moulées prévues uniquement pour la réalisation des tranchées couvertes. Par contre il n'est pas prévu d'amélioration du sol puisque il n'existe pas de rapport géotechnique sur les terrains en place
- Fouilles et terrassements
- Evacuation (sans réutilisation) des déblais et taxes de décharges
- Couches de fondation et exploitation de matériaux
- Pavages et bordures
- Chaussée : couches, revêtement/mise en œuvre, réfection
- Canalisations et évacuation des eaux
- Nouveau réseau d'évacuation des sacs grilles des surfaces aménagées, non compris le développement ou la modification éventuelle du bassin versant imposant un dimensionnement d'un collecteur plus important.
- Constructions en béton coulé sur place
- Conduites souterraines, eau et gaz
- Il est prévu un tube pour l'arrosage de zone verte

D'autres articles sont non définis à ce jour dans les chapitres CAN. Ils représentent un pourcentage des articles CAN chiffrés précédemment. Ce pourcentage n'est pas toujours régulier, il varie en fonction des difficultés de l'ouvrage ou la route concernés. Il s'agit des éléments principaux suivants :

- signalisation horizontale, marquage, signalisation verticale, panneaux
- mobilier
- travaux connexes: travaux en limite du domaine public demandant des négociations et travaux chez les privés
- réaménagements zone paysagère
- ventilation : uniquement pour les tranchées couvertes
- éclairage : Réseau et mobilier d'éclairage

D'autre part, l'estimation des coûts ne comprend pas les éléments suivants :

- La transformation de la station de pompage
- La déviation du gazoduc
- La déviation et la renaturation éventuelle sur le cours d'eau le Gobet
- Le réaménagement de la plage du Vengeron
- Les frais d'achat des terrains engendrés par le projet.
- Les projets connexes des Communes qui pourraient se révéler nécessaire suite aux conséquences des différents aménagements.
- Les projets SIG intéressés par le développement et modification de la zone.
- Les frais de perte d'exploitation pour les CFF suite au prolongement de l'ouvrage existant.
- Les mesures de protection anti-bruits particulières.
- Les études et les travaux spécifiques de géotechniques de reconnaissance des terrains et consolidation liés aux ouvrages, pieux, micro-pieux,…
- Les travaux d'abattage des arbres et suivi avec le DGNP
- Les études et travaux de dépollution éventuels
- Les études et travaux de mise en valeur des zones vertes
- Les études et travaux de coordination et sécurité de cohabitation des différents acteurs concernés.
- Les relevés topographiques pour chaque étude d'ouvrages.

Finalement, l'estimation du coût du lot 18 comprend les honoraires de l'ingénieur civil. Les montants d'honoraires des autres mandataires (géomètre, environnement, sécurité, électromécanique, …) devront être définis ultérieurement.

17.6. Conclusions

La future traversée du lac se raccordera sur la rive droite à l'emplacement de l'échangeur du Vengeron. Le présent rapport technique résume les principales études de faisabilité effectuées.

Le projet présenté se raccorde au nord sur l'autoroute Genève-Lausanne avant la jonction de l'aéroport et au sud, soit sur une variante de traversée du lac en tunnel immergé, soit sur une variante de pont haubané courbe. Pour les deux variantes étudiées, la situation est identique alors que seul le profil en long change à proximité du lac.

Les principes de réalisation des ouvrages suivants ont été fixés :
- minimiser l'impact du projet sur le site,
- maintenir au maximum les infrastructures existantes,
- maintenir le trafic actuel pendant toutes les phases de réalisation,
- empiéter au minimum sur les parcelles privées,
- concentrer le trafic sur les axes principaux.

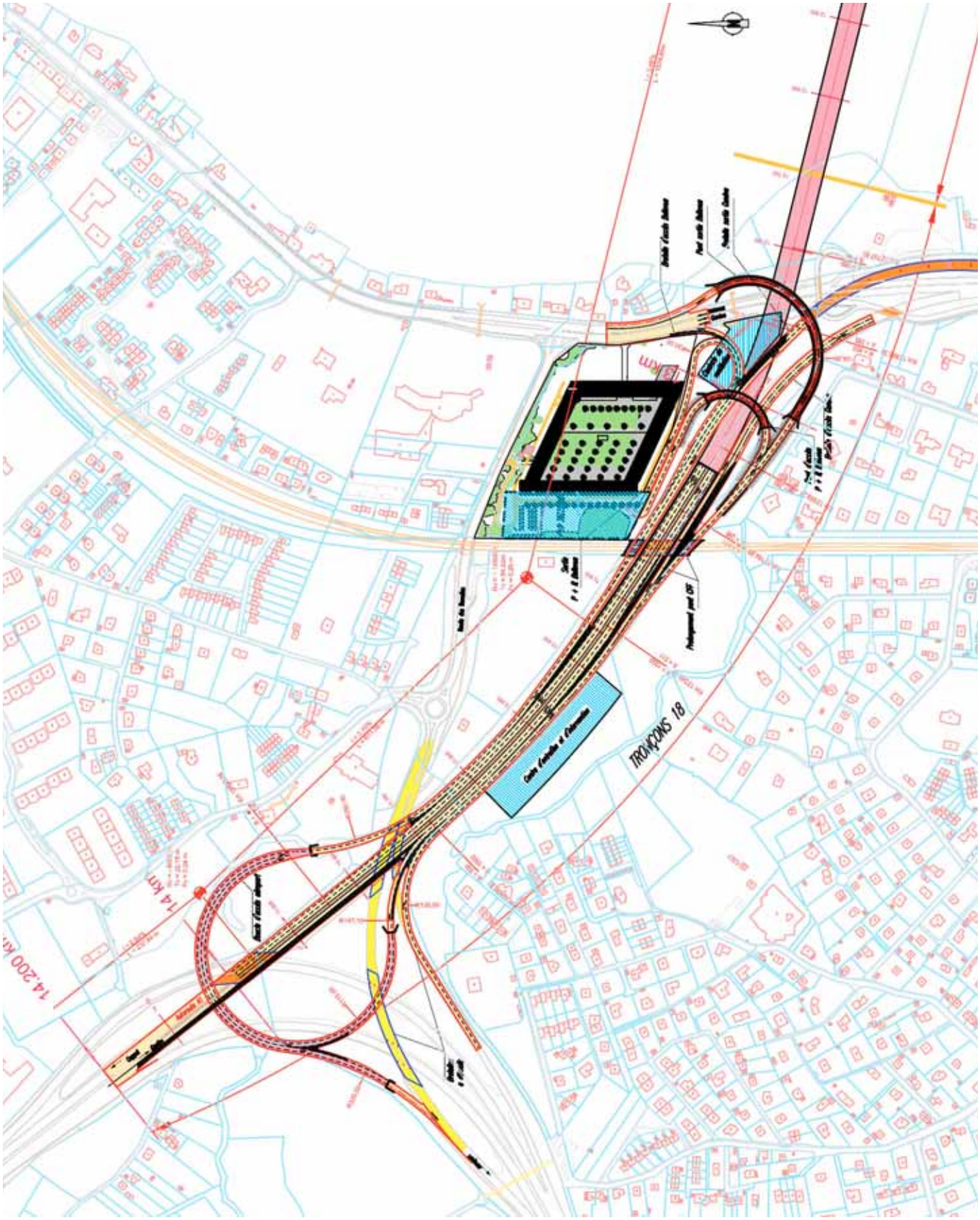
L'étude de faisabilité a mis en évidence de nombreuses études ultérieures à effectuer lors des études d'avant-projet et de projet définitif :
- étude géotechnique
- analyse de la prolongation du pont CFF
- impact du projet sur le pompage d'eau du Vengeron (SIG)
- déviation du gazoduc
- mise en valeur des cours d'eau

D'autre part, plusieurs ouvrages connexes doivent encore faire l'objet d'études détaillées
- centrale de ventilation (dans le bâtiment de pompage)
- centre d'entretien et d'intervention
- P+R Bellevue
- réaménagement de la plage du Vengeron

Le planning des travaux fait état d'une durée de réalisation d'environ six ans. Ce délai doit être coordonné avec les installations de chantier et la durée des travaux de l'ouvrage principal de la traversée du lac en tunnel immergé ou en pont haubané courbe.

Finalement, le coût des ouvrages projetés a été estimé sur la base d'ouvrages similaires réalisés récemment. De nombreux éléments de projet doivent encore faire l'objet d'études détaillées avant de pouvoir cerner avec précision l'enveloppe budgétaire du projet.

Echangeur et jonctions du Vengeron



18. ETUDE URBANISME-MOBILITE-PAYSAGE

L'objet et le but de l'étude visait à documenter, à travers une approche rapide, en 2 étapes, le volet urbanisation, mobilité, espaces naturels et paysage du projet de traversée du lac.
La 2ème partie de l'étude a été réalisée sur la base des chiffres obtenus dans l'étude du chapitre 19. ETUDE DE MODELISATION DES DEPLACEMENTS.

Par l'esquisse de scénarios élaborés autour des variantes de tracé retenues à ce stade, il s'agissait de montrer les liens entre l'infrastructure de la traversée du lac, les options possibles de développement territorial et l'organisation multimodale de la mobilité sur l'agglomération transfrontalière, notamment sur la rive gauche.

La comparaison de ces scénarios doit permettre d'évaluer les conséquences de la traversée du lac sur le projet d'agglomération de deuxième génération, sur le futur plan directeur cantonal et sur les planifications cantonales et transfrontalières en matière de mobilité et de développement territorial, ainsi que d'évaluer l'impact sur les espaces naturels et le paysage.

L'étude consiste en une première approche sommaire et rapide, qui a permis d'identifier les orientations à approfondir dans la suite des démarches par une étude plus approfondie tenant compte des constatations de la première analyse, que ce soit au niveau du projet de traversée du lac du projet d'agglomération (PA) et du plan directeur cantonal (PDC).

Seule la synthèse de cette deuxième partie d'étude est donnée ci-après, la première n'ayant servi qu'à élaborer un cahier des premières constatations et des domaines à étudier.

Remarques préliminaires :
La synthèse ci-après, tirée du rapport des mandataires urbanistes, a été élaborée pour tenir compte de l'évolution des études en cours (Etude d'opportunité des RN par l'OFROU, Plan directeur cantonal, projet d'Agglo 2 et plan directeur du réseau routier) et implique donc de la possibilité d'études ultérieures.
Le rapport des urbanistes comporte aussi certains aspects qui devront encore faire l'objet d'études et d'analyses, en liaison avec l'élaboration du projet d'Agglomération 2 incluant la traversée du lac, ce que ne faisait pas le projet d'Agglo 1 .
Certains propos ont été nuancés et adaptés pour être mieux pris en compte dans les futures études.

18.1. Une étude sur un tracé proposé dans un contexte en évolution

Les études actuellement menées sur la traversée du lac consistent à analyser la faisabilité technique ainsi que les effets sur l'urbanisation, la mobilité, le paysage et l'environnement d'un tracé défini en grande partie par la loi 10015.

Ces études s'intègrent dans un contexte plus large de réflexion sur le devenir de l'agglomération et du fonctionnement des réseaux de mobilité à Genève et dans sa région. Il s'agit notamment de citer, outre le cadre cantonal fixé notamment par la loi susmentionnée, les deux échelles suivantes :

- au niveau fédéral, il faut tenir compte du programme de suppression des goulets d'étranglement sur le réseau des routes nationales, que mène l'OFROU. Les différents tronçons de l'A1 dans la région genevoise sont de plus en plus saturés et sont reconnus comme goulets d'étranglement (de degré III, le plus élevé, en entrée d'agglomération entre Coppet et le Vengeron et de degré II sur le contournement actuel). La Confédération va ainsi évaluer l'opportunité de différentes variantes de suppression de ce goulet d'étranglement. A noter que, pour l'heure, seul le tronçon Coppet-Le Vengeron fait l'objet d'une proposition de financement dans le cadre du fonds d'infrastructure, dont les ressources financières ne permettent pas à ce jour de financer l'ensemble des mesures de suppression des goulets d'étranglement identifiés au niveau suisse.

- au niveau régional, le projet d'agglomération est actuellement en phase d'approfondissement et d'évolution en vue de sa deuxième génération. Les réflexions menées dans ce cadre incluent la notion de traversée du lac, qui constitue une des bases à considérer pour les études de mobilité ou de développement territorial. La présente étude et ses résultats portent sur le tracé défini par la loi 10015, mais en évaluent les effets à des échelles de réflexions plus larges notamment celles du projet d'agglomération.

A la même échelle, les CFF, le Canton de Genève et la région Rhône-Alpes étudient l'évolution à moyen et long terme du réseau ferroviaire avec capacités suffisantes pour tous les types d'offres.

Le plan directeur cantonal (PDCn) du canton de Genève est en cours de définition pour la période 2015-2030. Il intégrera les orientations du projet d'agglomération ainsi que celles de l'étude d'opportunité de l'OFROU sur le goulet d'étranglement et les études ferroviaires.

A un horizon temporel plus rapproché, le plan directeur du réseau routier (PDRR) de l'Etat de Genève, également en cours de définition pour la période 2011-2014, propose déjà des éléments d'anticipation d'un concept de réseau routier compatible avec une traversée du lac.

Un des objectifs fondamentaux guidant les études en cours et qui doit également motiver les prochaines étapes, consiste à garantir la cohérence d'approche et de solutions entre toutes les démarches de planification.

18.2. De multiples objectifs

Les objectifs identifiés dans la présente étude pour guider l'évaluation des effets de la traversée du lac sont issus d'une part des débats politiques ayant conduit à l'adoption de la loi 10015, d'autre part des différents documents de planification en vigueur ou en cours de révision. De plus, les réflexions des dernières décennies concernant la traversée de la rade et du lac ont été prises en compte de manière indicative dans les considérations de l'étude actuelle, tout en relevant que le tracé de la loi 10015 est un tracé autoroutier, tandis que les tracés précédents ne l'étaient pas et s'arrêtaient tous au plateau de Frontenex. Une attention a en outre été portée à l'intégration des objectifs des partenaires suisse et français regroupés dans le projet d'agglomération.

Ces objectifs sont présentés, sous les trois aspects du développement durable dans le tableau ci-dessous :

	Enjeu majeur	***Objectif opérationnel***
Aspects économiques	Renforcement de l'attractivité du centre-ville (cœur d'agglomération) pour les activités commerciales et économiques	Amélioration de l'accessibilité par les TP, la MD et les TIM
	Développement économique de la couronne de l'agglomération, principalement les centres régionaux, y inclus les parties françaises	Accessibilité facilitée entre tous les pôles de développement de l'agglomération et vers le cœur de l'agglomération
	Valorisation du cadre de vie régional (pour le développement, notamment de la main-d'œuvre qualifiée et du tourisme de la région)	Augmentation de la valeur d'image des secteurs denses de l'agglomération
		Garantie de l'intégrité du paysage (facteur d'image)
		Amélioration du système de transport multimodal, notamment pour les visiteurs
	Valorisation de l'agriculture comme facteur économique	Garantie de surfaces suffisamment grandes et d'un seul tenant
Aspects environnementaux	Amélioration des valeurs environnementales au centre de l'agglomération et en milieu urbain en général	Renforcement des valeurs paysagères et récréatives des rives du lac autour de la Rade
		Valorisations urbaines
		Réduction des nuisances sonores causées par le trafic motorisé et amélioration de la qualité de l'air
	Amélioration de la qualité environnementale et récréative dans les quartiers suburbains et dans la périphérie urbaine	Préservation des secteurs présentant une valeur environnementale majeure et des secteurs agricoles ainsi que des continuités vertes transversales, contre une extension de la zone bâtie et une fragmentation
	Amélioration de la qualité environnementale d'ensemble de l'agglomération	Action sur les mouvements pendulaires afin d'influencer les parts modales dans le but de diminuer les nuisances environnementales
Aspects sociaux	Participation à l'effort de partage des gains de la croissance entre le centre et la périphérie de l'agglomération	Diminution des déséquilibres dans la répartition des habitants et des emplois
	Garantie d'accès à la mobilité pour chacun	Garantie d'accès à la mobilité pour tous types de déplacements
	Prise en compte des intérêts nationaux et internationaux	Garantie du transit sur le réseau autoroutier dans l'agglomération franco-valdo-genevoise
		Garantie du fonctionnement du système de contournement de Genève (p.ex. en cas d'incendie dans un tunnel de l'A1 ou de travaux de gros entretien)

18.3. Considération sur la faisabilité

Sous réserve de leurs conclusions définitives et de quelques études complémentaires, les études techniques démontrent la faisabilité du tracé étudié, tout en relevant qu'il existe encore une marge d'amélioration.

La présente étude cherche à apporter un éventail plus large d'éléments permettant de s'interroger sur l'acceptation du tracé par tous les acteurs du territoire: Confédération, Canton, communes, partenaires français à toutes les échelles administratives, population et groupements de la société civile.

Pour ce faire, il semble nécessaire d'aborder la question de la traversée du lac dans une logique intégrée interrogeant les aspects d'urbanisme, de mobilité, d'environnement et de paysage et de mettre en relation ces différents domaines avec les objectifs exprimés par les acteurs et les documents de planification.

Sur la base des objectifs généraux tirés notamment des débats politiques des dernières années, des questions clés ont été formulées comme suit :

- La traversée du lac permet-elle de répondre aux attentes quant à la suppression du goulet d'étranglement de l'autoroute A1 à Genève ?
- La traversée du lac contribue-t-elle à une modification de la répartition modale en faveur des transports collectifs et de la mobilité douce dans le cœur de l'agglomération ?
- La traversée du lac contribue-t-elle à une distribution spatiale des habitants, des emplois et des services dans l'agglomération correspondant à la vision du projet d'agglomération?
- La traversée contribue-t-elle à une meilleure qualité de vie en matière de quantité de trafic dans les zones d'habitat et à une densification des centralités et axes de développement de l'agglomération ?
- Les effets spatiaux de la traversée s'inscrivent-ils dans une politique de développement urbain planifiée ? La traversée diminue-t-elle la pression d'urbanisation sur des zones destinées à l'agriculture et à une fonction d'équilibre écologique ?
- La traversée contribue-t-elle à des objectifs environnementaux et à une politique du développement durable ? Dans quelle mesure s'inscrit-elle, dans le réseau existant en termes de qualité urbanistique et paysagère ?
- Dans quelle mesure la traversée du lac est-elle capable de répondre aux grands principes suivants :
  - garantir le transit suprarégional ?
  - diminuer le trafic dans les quartiers sensibles (capter du trafic OD) ?
  - participer au fonctionnement de l'agglomération (connecter des secteurs entre eux) ?
- Dans quelle mesure la traversée satisfait-elle les objectifs en termes de politique spatiale, environnementale et de transports des différents partenaires (canton de Genève, ville de Genève, partenaires français et suisses, confédération suisse) ?

Les réponses à ces questions clés permettront d'orienter la poursuite des décisions et des études.

18.4. Des effets importants

Etats des réseaux (variantes) évalués

Il s'agissait d'évaluer dans la présente étude l'opportunité de mettre en place des mesures au centre-ville de Genève ou ailleurs dans l'agglomération pour mieux atteindre les objectifs visés. Pour en distinguer les effets, les états suivants ont été modélisés avec le modèle multimodal transfrontalier (MMT):

Etat 1 : état 2030 sans traversée du lac (infrastructures et données socio-économiques selon le projet d'agglomération de première génération, avec un système RER complété).

Etat 2 : état 2030 avec traversée du lac seule.

Etat 3 : état 2030 avec traversée du lac et mesures d'accompagnement.

Etat 3+ : état 2030 avec traversée du lac et mesures d'accompagnement renforcées, en complément de l'état 3.

Les mesures d'accompagnement de l'état 3 ont été élaborées sur la base des objectifs généraux assignés à la traversée du lac et des résultats d'une modélisation sommaire des effets de la traversée du lac seule, ayant permis d'identifier les grandes lignes de ses effets.

Les mesures d'accompagnement renforcées (état 3+) ont été développées en cours d'étude sur la base du constat que les mesures d'accompagnement de l'état 3 n'étaient pas encore suffisantes pour atteindre certains objectifs au centre-ville de Genève et au niveau du bon fonctionnement du ring autoroutier. Ces mesures consistent en un élargissement de l'autoroute entre Le Vengeron et la jonction de Ferney où un important goulet d'étranglement a été observé, empêchant le bon fonctionnement du ring autoroutier, ainsi qu'une réappropriation de l'espace public au centre-ville et sur la route de Vernier pour y favoriser la progression des TC et la mobilité douce.

Un état 4 à l'horizon 2030 avec traversée du lac, couplée à des mesures d'accompagnement et des urbanisations importantes autour des jonctions pour anticiper sa réalisation n'a pas pu être modélisé à cause des délais serrés pour l'étude, ainsi que du caractère préliminaire des considérations sur les manières possibles d'aménager le contexte autour des jonctions.

18.4.1. Effets en termes de mobilité et accessibilité

L'évaluation des effets de la traversée du lac s'appuie notamment sur une modélisation des déplacements effectuée à l'aide du modèle multimodal transfrontalier (MMT) élaboré et développé par l'Etat de Genève, l'Etat de Vaud, le syndicat mixte d'étude transports et déplacements (SMETD) des collectivités françaises, la région Rhône-Alpes et l'Etat français sous le pilotage de la Direction générale de la mobilité et du SMETD. Ces modélisations constituent un outil d'aide à la décision et doivent principalement être utilisées pour comparer des états futurs entre eux. Les chiffres produits par le modèle indiquent des tendances et nécessitent une interprétation approfondie.

A noter que toutes les modélisations ont été menées pour l'heure de pointe du soir, considérée comme la plus critique. Les interprétations sur les charges journalières sont menées sur la base de multiplication de la charge horaire en appliquant les mêmes ratios qu'entre le plan de charge 2007-2009 (en cours d'élaboration au moment de l'étude) et l'état de référence 2007.

Les principales constatations suivantes peuvent être tirées sur la base de ces modélisations:

Effets de la traversée du lac seule sur les charges de trafic (état 2 moins état 1)
La traversée du lac permet par elle-même (état 2) des diminutions de charges de trafic de l'ordre de: 18% sur le contournement ouest; 20% sur le tronçon français du contournement au pied du Salève; 8% sur l'autoroute devant l'aéroport; 20% sur les quais urbains et le pont du Mont-Blanc. Sur le reste des axes principaux du réseau urbain, les diminutions restent entre 10 et 15%.

Le délestage du contournement actuel permet de répondre à l'objectif de suppression du goulet d'étranglement de Genève. En ce sens, il est particulièrement intéressant dans la mesure où les diminutions de charges de trafic permettent d'absorber les croissances de déplacements issues de la croissance démographique mais aussi de reporter des flux de trafic du centre vers le système autoroutier.

Les diminutions en ville sont sensibles sur les quais et le pont du Mont-Blanc. A une échelle plus générale, elles devront faire l'objet d'études sectorielles pour envisager la possibilité de priorisation des TP ou de redistributions importantes de l'espace public au centre-ville.

A l'inverse, différents secteurs sont soumis à des augmentations de trafic par rapport à l'état 2030 sans traversée (état 1). Il s'agit principalement du nord de l'agglomération d'Annemasse, du secteur Vésenaz – Pallanterie et des environs de l'échangeur du Vengeron. Sur les axes principaux dans ces secteurs, les augmentations de trafic peuvent parfois aller jusqu'à +30% (à relativiser en valeur du nombre effectif de véhicules en plus).

A noter que le système autoroutier en rive droite atteint des volumes de trafic ne pouvant plus être écoulés avec les infrastructures actuelles. Pour rendre possible la réalisation de la traversée du lac, une augmentation de la capacité, au minimum du tronçon entre la jonction de Ferney et la traversée du lac, s'avèrera peut être nécessaire, ce point devant encore être vérifié.

Dans le reste du secteur d'implantation du tracé (notamment sur la rive gauche suisse, dans la plaine de la Haute Seymaz et en frange nord des trois Chênes), des augmentations locales sont prévisibles. Ces augmentations ne posent pas de problèmes au niveau de la gestion des flux (capacités), mais posent des questions quant à l'acceptation de la variante par les communes concernées.

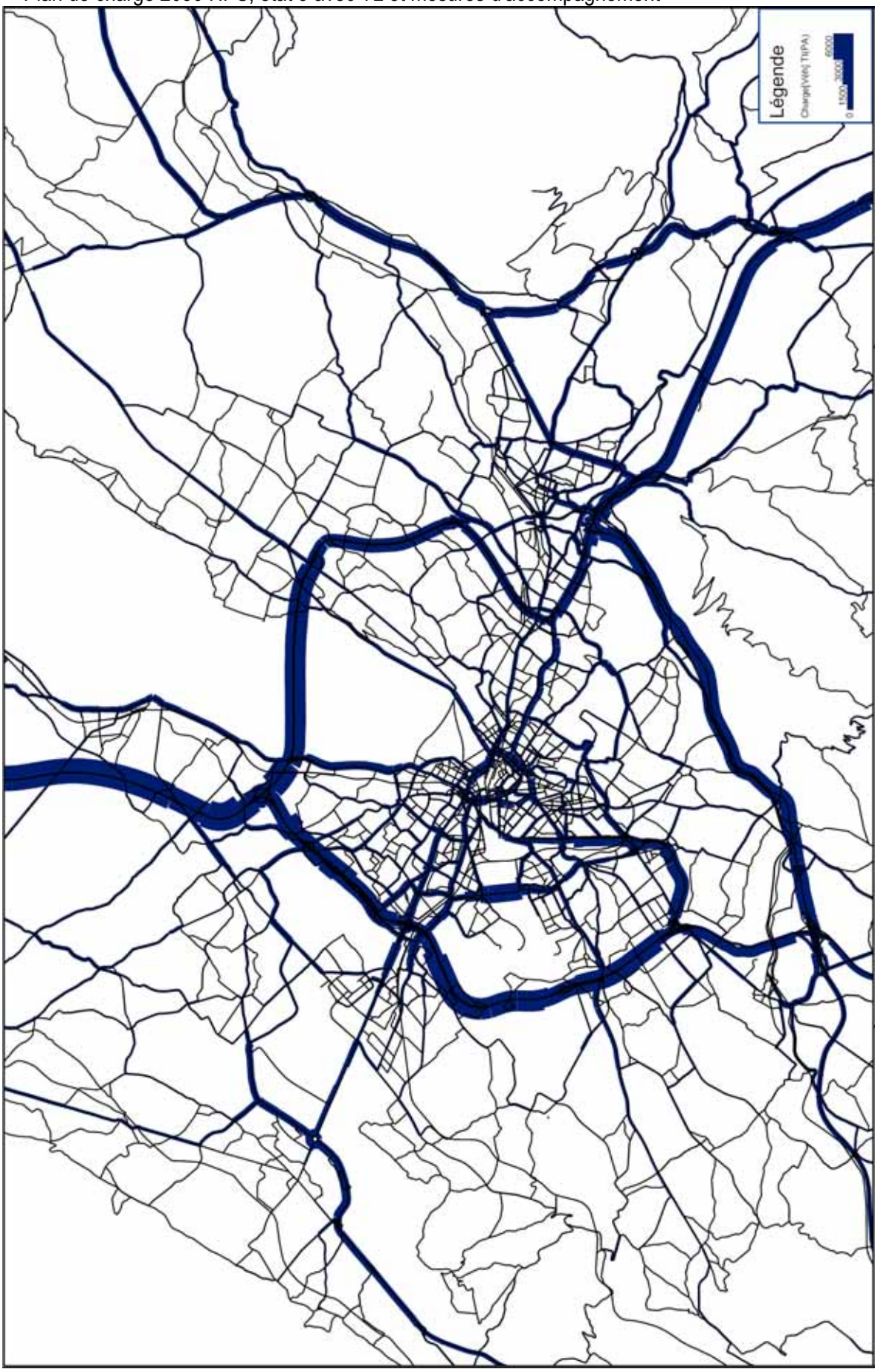
Les mesures d'accompagnement (état 3) ont des effets encore plus importants là où la traversée du lac elle-même (état 2) avait déjà un tel effet. Ainsi, les diminutions prévisibles sont d'environ: 15% sur le contournement ouest; 18% sur le tronçon français du contournement au pied du Salève, 30% sur les quais urbains et le pont du Mont-Blanc. Sur le reste des axes principaux du réseau urbain, les diminutions seront de l'ordre de 20%.

Les modifications d'accès à l'autoroute (à Annemasse sud et à Colovrex) ont aussi un effet important. Elles permettent de limiter les augmentations de trafic dans la moitié nord de l'agglomération d'Annemasse et de réduire les charges sur les réseaux locaux autour de l'échangeur du Vengeron.

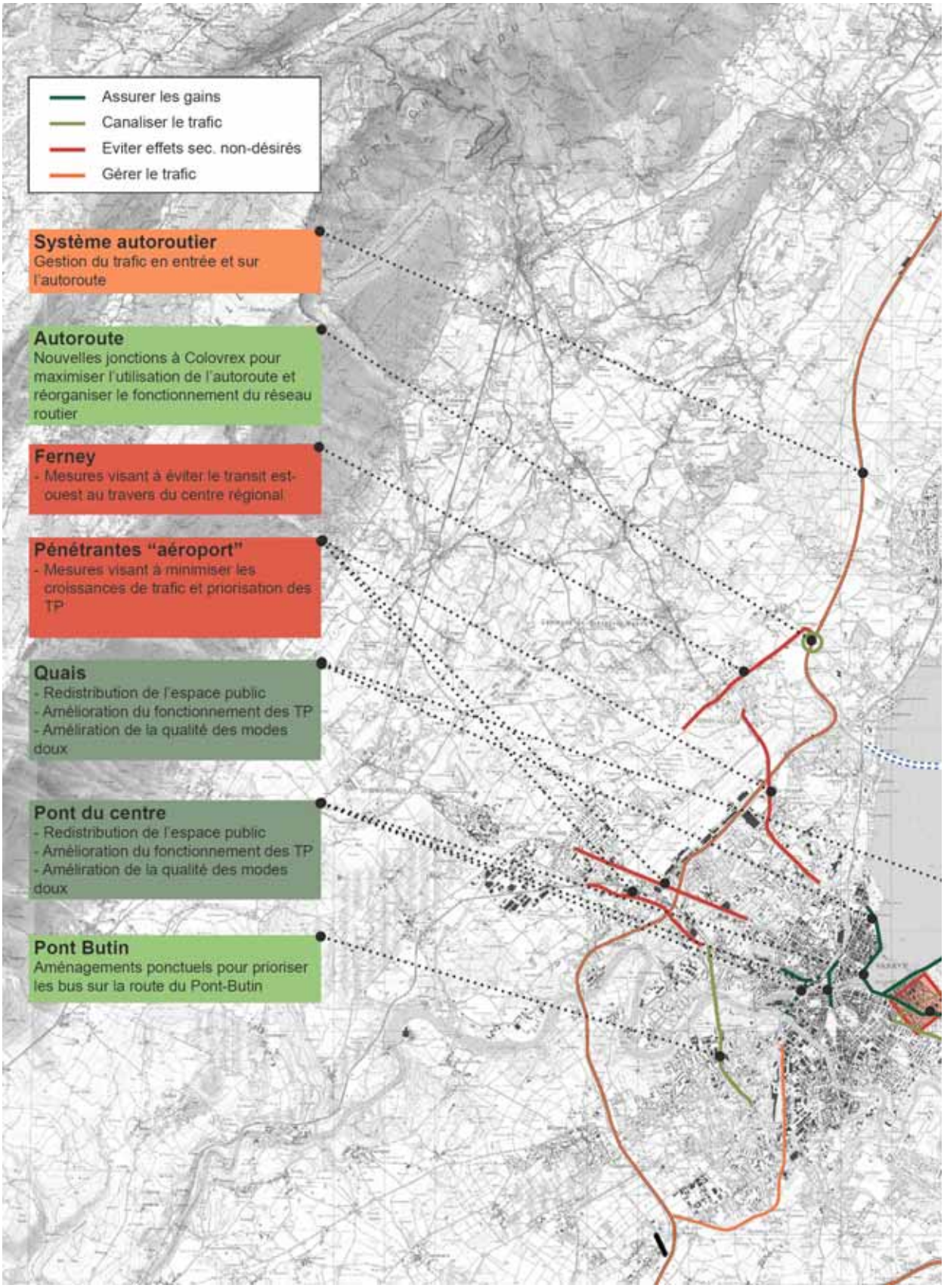
D'une manière générale, les mesures d'accompagnement, notamment les diminutions de capacités engendrées par des priorisations TP sur les axes du cœur de l'agglomération, tendent à renforcer l'utilisation de l'autoroute pour se rendre d'un secteur à l'autre de l'agglomération sans transiter par le cœur de l'agglomération, mais aussi par une certaine diffusion d'une partie du trafic du centre-ville vers les réseaux secondaires.

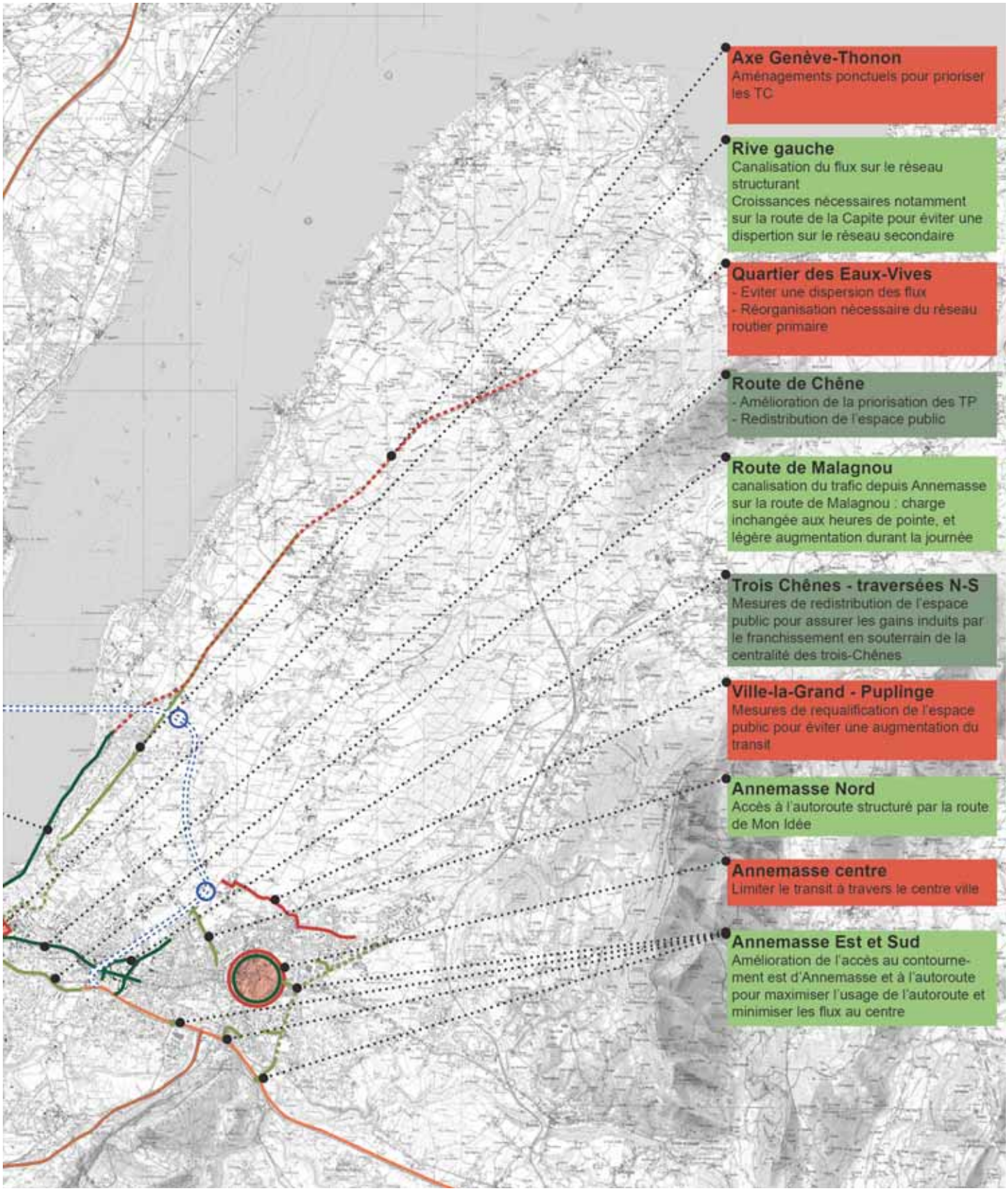
Les mesures d'accompagnement permettent aussi d'atténuer certains effets négatifs et d'améliorer la situation sur les quais jusqu'à atteindre des diminutions qui permettent de vraies mesures de priorisation des TC et de la MD sur les quais de la rade et les ponts du Rhône.

Plan de charge 2030 HPS, état 3 avec TL et mesures d'accompagnement

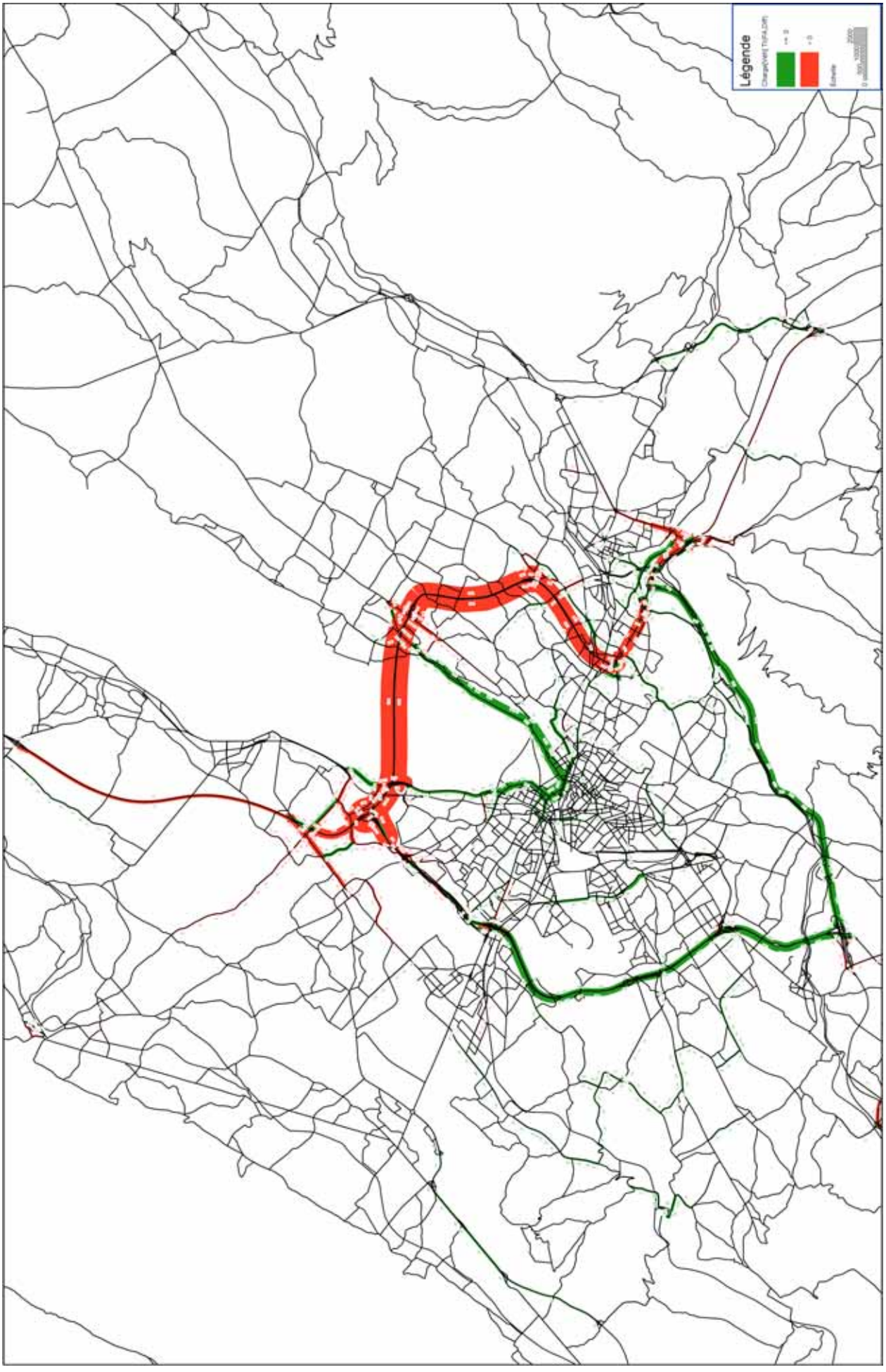


Mesures d'accompagnement : Interventions pour état 3




Axe Genève-Thonon
Aménagements ponctuels pour prioriser les TC
Rive gauche
Canalisation du flux sur le réseau structurant
Croissances nécessaires notamment sur la route de la Capite pour éviter une dispertion sur le réseau secondaire
Quartier des Eaux-Vives
- Eviter une dispersion des flux
- Réorganisation nécessaire du réseau routier primaire
Route de Chêne
- Amélioration de la priorisation des TP
- Redistribution de l'espace public
Route de Malagnou
canalisation du trafic depuis Annemasse sur la route de Malagnou : charge inchangée aux heures de pointe, et légère augmentation durant la journée
Trois Chênes - traversées N-S
Mesures de redistribution de l'espace public pour assurer les gains induits par le franchissement en souterrain de la centralité des trois-Chênes
Ville-la-Grand - Puplinge
Mesures de requalification de l'espace public pour éviter une augmentation du transit
Annemasse Nord
Accès à l'autoroute structuré par la route de Mon Idée
Annemasse centre
Limiter le transit à travers le centre ville
Annemasse Est et Sud
Amélioration de l'accès au contournement est d'Annemasse et à l'autoroute pour maximiser l'usage de l'autoroute et minimiser les flux au centre

Différence de trafic entre l'état 3 avec TL et l'état 1 sans TL à l'HPS en 2030



Les mesures d'accompagnement renforcées (état 3+) permettent un meilleur fonctionnement de l'autoroute et accentuent encore le délestage sur les quais ainsi que sur les axes du centre-ville sur lesquels les mesures plus fortes sont prises. Ces mesures plus importantes semblent avoir un impact fondamental sur les déplacements à l'intérieur du système autoroutier et impliquent une utilisation accrue du système autoroutier au service des déplacements urbains. Avec les mesures d'accompagnement renforcées, les effets sur le centre-ville sont notables, la diminution de trafic sur les principaux axes au centre-ville devant atteindre 30%.

Effet en termes de temps de déplacement
Les évolutions de temps de déplacements entre les états 1 et 2 sont évaluées sur la base de la modélisation (avec et sans traversée du lac et sans mesures d'accompagnement).

La traversée du lac permet des gains de temps importants (plus de 35% de diminution) pour les lieux situés à proximité immédiate des échangeurs et pour les lieux desservis directement par le système autoroutier des deux côtés du lac.

Pour les lieux plus éloignés des échangeurs, les gains diminuent. Pour le quartier des Eaux-Vives par exemple, les gains de temps sont de l'ordre de 20 à 25% pour les destinations situées au sein de l'agglomération.

A l'échelle régionale, les effets sont comparables, les centres régionaux de Nyon, Annemasse, Gex et Thonon bénéficient d'une diminution importante de temps de parcours entre eux.

Effets en termes de structures de réseau
La traversée du lac implique un changement majeur dans la structure fonctionnelle du réseau routier à l'échelle de l'agglomération. Elle permet la connexion des réseaux structurants suburbains de la rive gauche et de la rive droite sans passer par le cœur.
Cependant, cette connexion soulève un certain nombre de questions et d'enjeux :
- en rive droite, la traversée du lac se connecte directement au réseau autoroutier suisse. La structure fonctionnelle du réseau est ainsi bien adaptée. C'est principalement la question des charges de trafic sur le réseau existant qui constitue une problématique à résoudre.

- en rive gauche en revanche, si la nouvelle infrastructure se connecte au réseau autoroutier existant à Vallard, une absence de connexion d'échelle d'agglomération est manifeste au nord-est de l'agglomération d'Annemasse entre les réseaux routiers structurants suisse (TL) et français (Voir pt.1 sur la figure ci-après).

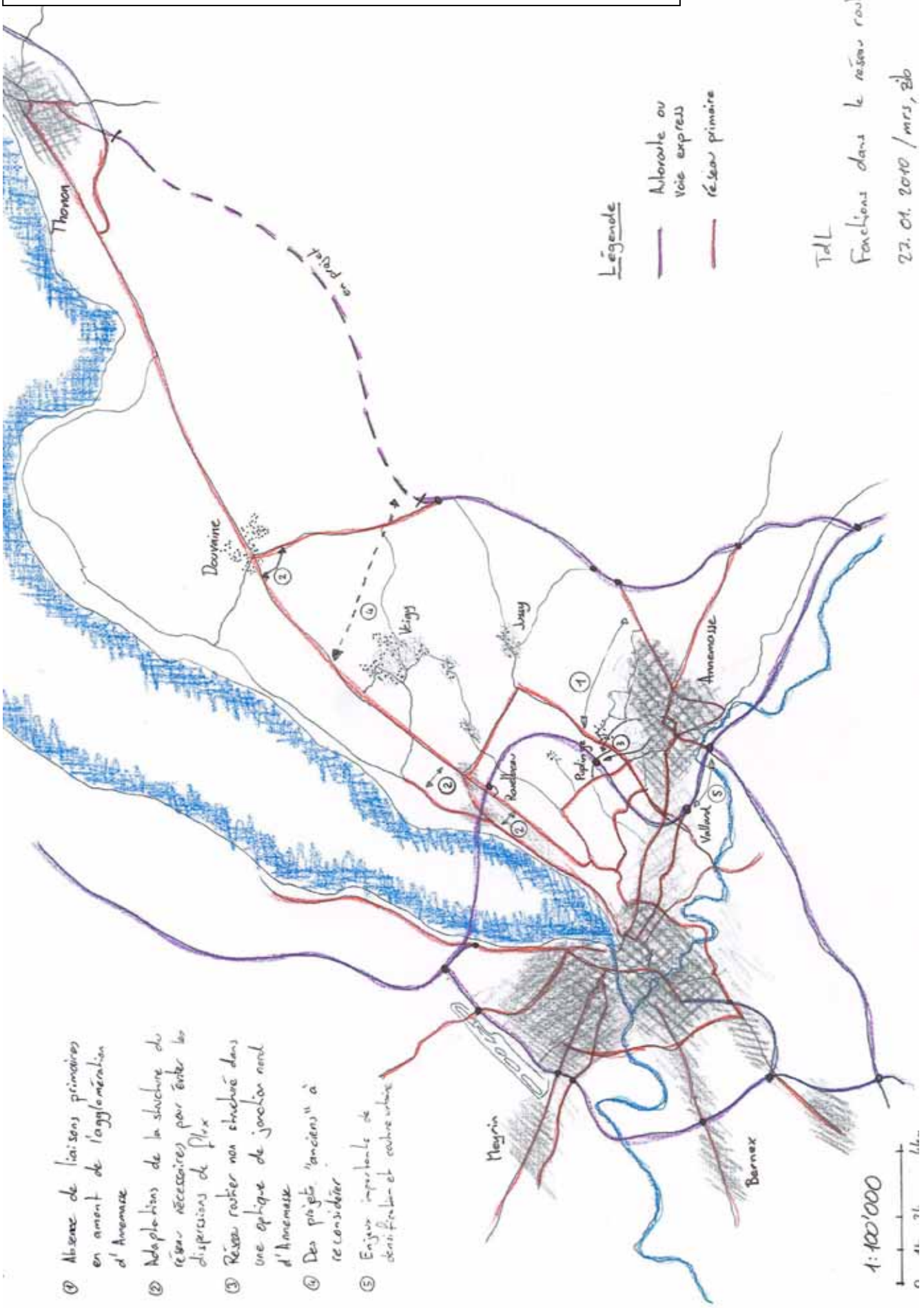
Il y aura donc lieu de planifier avec les partenaires français, la ou les connexions sur cette nouvelle infrastructure si le tracé étudié est confirmé ou d'envisager d'autres solutions de tracés. Ces réflexions devront faire partie de l'étude d'opportunité et variantes menée par l'OFROU.

La **jonction de Rouelbeau** est implantée dans un secteur où la structure fonctionnelle du réseau routier s'articule sur les axes radiaux historiques à destination du centre (route de la Capite et route de Thonon) et tangentiels à destination de Jussy (route de Compois).

L'implantation envisagée de la jonction nécessite des adaptations, de manière à permettre les passages entre les axes radiaux tout en évitant de franchir les cœurs de village et les quartiers résidentiels. Il s'agit notamment de structurer et/ou développer un lien entre la route d'Hermance et la route de Thonon ainsi qu'entre la route de la Capite et le quai de Cologny, ce point restant à vérifier lors de futures études. A plus large échelle, des compléments locaux peuvent être également envisagés à Douvaine. L'attraction de trafic vers la jonction de Rouelbeau peut notamment encourager la réalisation de nouveaux contournements des bourgs sur la route de Thonon dans le Chablais français ou entre l'axe Genève-Thonon et l'axe Annemasse-Thonon (Voir point 2 sur la figure ci-après).

La réalisation de la **jonction de Puplinge**, devenant également de fait la jonction nord d'Annemasse, met en exergue l'absence d'un accès au système autoroutier au nord du couloir Eaux-Vives – Trois Chênes – Annemasse et génère de fait des flux importants sur des réseaux qu'il conviendra d'adapter, surtout à Ville-la-Grand, Ambilly, Puplinge et le périmètre de MICA. Cette croissance du trafic est soit à organiser sur les réseaux existants, soit à capter par la réalisation d'une ou de plusieurs nouvelle(s) infrastructure(s).

Effets de la traversée lacustre sur la structure fonctionnelle du réseau routier



① Absence de liaisons primaires en amont de l'agglomération d'Annemasse

② Adaptations de la structure du réseau nécessaires pour éviter les dispersions de flux

③ Réseau routier non étudié dans une optique de jonction rend d'Annemasse

④ Des pistes "anciens" à reconsidérer

⑤ Enjeux importants de densification et couture urbaine

Les mesures d'accompagnement proposées (états 3 et 3+) permettent certes d'atténuer cette pression grâce à une meilleure connexion de l'agglomération d'Annemasse au réseau autoroutier au sud. Cependant, la nécessité et la faisabilité, notamment financière, de ces mesures d'accompagnement situées intégralement sur le territoire français, sont de la compétence des autorités françaises (voir point 3 sur la figure ci-dessus).

La **jonction de Vallard** est implantée dans un milieu dense fortement doté en infrastructures routières. L'absence de certaines liaisons (notamment entre l'autoroute Blanche et l'avenue de Thônex) implique actuellement l'utilisation de réseaux secondaires par des flux de transit. La structure fonctionnelle du réseau routier de ce secteur devra être coordonnée avec les autorités concernées. La forme exacte de la jonction dépendra des fonctions à assurer.

Les réflexions menées dans le cadre du projet d'agglomération ont identifié, le long de l'axe de l'A411 entre la plateforme douanière et l'échangeur d'Etrembières, des potentiels importants de développement ainsi que des enjeux importants de couture urbaine (désenclavement du quartier de Gaillard). Il était initialement envisagé un déclassement de l'axe en boulevard urbain. L'implantation de la connexion de la traversée du lac au réseau autoroutier existant à Vallard rend caduque la variante du boulevard urbain. Une compensation envisagée pourrait prendre la forme d'une couverture de l'autoroute avec un réaménagement en surface.

Il conviendra d'harmoniser toutes les études liées à cette région (Voir point 5 sur la figure ci-dessus).

Effets multimodaux
Le système autoroutier présente des complémentarités avec les systèmes TP dans la mesure où il répond avant tout à des besoins de déplacements tangentiels et permet des délestages sur le réseau routier urbain en faveur des TP et de la MD.

En revanche, la traversée du lac va pour certaines relations précises, offrir des temps de déplacements nettement plus attractifs que le système des TP, particulièrement sensible entre la rive gauche et le secteur de l'aéroport, ce qui engendre de fait une concurrence avec le réseau RER qu'il s'agira d'atténuer avec des mesures de gestion du stationnement dans les quartiers centraux.

Lors de la suite des études, des analyses détaillées devront mettre en exergue les éventuelles concurrences et les complémentarités des divers modes de déplacements et proposer les mesures d'accompagnement nécessaires et adaptées aux buts recherchés.

18.4.2. Effets en termes d'urbanisation

Evolution de l'accessibilité à l'échelle de la région
L'accessibilité d'un lieu se mesure par le temps consenti par les habitants et les usagers des places de travail qui s'y rendent. Elle est pondérée par l'acceptabilité du temps de parcours.

En termes d'impulsion en développement, si les conditions (affectation, réserves) sur le site le permettent, une forte amélioration de l'accessibilité pondérée aux emplois va générer un développement résidentiel dans d'autres secteurs (régions). A contrario, une forte amélioration de l'accessibilité proposée aux habitants va générer un développement d'emplois dans d'autres secteurs également.

Sur la rive gauche du lac, notamment dans les localités françaises pas trop éloignées du cœur de l'agglomération (Douvaine, Annemasse), mais aussi à Vésenaz, l'accessibilité aux emplois est fortement améliorée par la traversée du lac. Ces lieux connaîtront vraisemblablement une impulsion en développement résidentiel. Les mêmes sites, cependant, ne bénéficieront que très peu d'une accessibilité améliorée aux habitants. Leur attractivité comme emplacement pour les entreprises n'augmentera vraisemblablement pas. En outre, puisqu'elles se trouvent complètement à l'opposé de l'agglomération par rapport à l'aéroport, la diminution sensible des temps de parcours en TIM n'aura qu'un effet d'impulsion au développement très réduit et en tout cas limité aux pôles susceptibles d'accueillir des emplois de qualité (haute valeur ajoutée), à savoir les alentours de la gare des Eaux-Vives, Chêne-Bourg et centre-ville d'Annemasse, ainsi que la Pallanterie.

En revanche, le cœur de l'agglomération ainsi que les parties sud, ouest et nord de la première couronne (St. Julien en Genevois, Bernex, Meyrin, aéroport, Ferney) profiteront surtout d'une attractivité augmentée pour l'implantation d'activités et d'emplois, tandis que leur attractivité comme lieu résidentiel ne bénéficie pas beaucoup de la traversée du lac. De même, Versoix, Gex et Divonne profiteront également d'une accessibilité

aux emplois renforcée, mais, en raison de leur position éloignée du cœur de l'agglomération, ils en profiteront moins fortement (accessibilité relative fortement améliorée; accessibilité absolue améliorée plus faiblement).

Des études détaillées et des modélisations de déplacements approfondies devront déterminer quels pourraient être les pressions induites par la traversée du lac sur les aspects liés à l'attractivité des régions et quartiers et proposer des corrections si les effets constatés vont à l'encontre des buts définis et recherchés.

Urbanisations "préalables"

Outre les impulsions de développement énoncées ci-dessus, l'emplacement même des jonctions aura des effets sur le contexte local.

La modification de l'accessibilité engendrée par l'implantation des jonctions de la traversée du lac va générer une pression foncière sur les territoires jouxtant les jonctions. Pour éviter une occupation des terrains par des activités de faible valeur ajoutée (installations à forte fréquentation, logistique, par exemple), il est dès lors nécessaire «d'occuper le terrain au préalable» en planifiant des développements urbains forts avec une bonne accessibilité TP en orientant la capacité d'accueil en logement et emploi.

Ces développements devraient être réalisés avant la mise en service de l'ouvrage, voire avant que la perspective d'une mise en service de la traversée du lac commence à produire ses effets précurseurs, de manière à assurer un développement urbain cohérent pour lui-même et compatible avec les urbanisations voisines existantes, dans la logique du développement multipolaire, de l'agglomération franco-valdo-genevoise, et non un développement engendré par la seule accessibilité routière.

Pour le secteur de Vésenaz – la Pallanterie, cela signifierait la réalisation de la première étape d'une centralité importante dans un lieu actuellement identifié, dans le cadre des Lignes Directrices du Chablais, comme pôle de croissance, une seconde étape pouvant intervenir après la mise en service de la traversée du lac. En tout cas, une telle évolution de la vision de développement de ce secteur nécessite la planification de dessertes TP lourdes concomitantes avec les réalisations urbaines.

Pour le secteur d'Annemasse – MICA, la cohérence entre le niveau d'accessibilité et les développements urbains, tout en prenant en compte les nuisances produites par les charges de trafic accédant à la traversée du lac, impliquerait de renforcer fortement le rôle de la partie nord de la gare d'Annemasse, notamment en développant une mixité beaucoup plus prononcée qu'à l'heure actuelle. Cela nécessite toutefois de penser cet échangeur comme accessibilité nord de l'agglomération d'Annemasse et de l'étudier en coordination avec les partenaires du projet d'agglomération.

En outre, les développements urbains mixtes dans le secteur Vésenaz – la Pallanterie et au nord de la gare d'Annemasse pourraient avoir pour effet d'augmenter les potentiels d'implantation d'activités dans ces zones. L'établissement au préalable d'un projet urbain permettrait d'orienter les capacités d'accueil en emplois et en logements en fonction des objectifs de répartition emplois/logements entre les différentes parties de l'agglomération et en favorisant de préférence des activités ayant un profil de mobilité nécessitant impérativement un accès autoroutier, ce que le projet d'agglo 2 devra préciser.

Qualité de vie du point de vue de la densité du trafic

Les effets de la traversée du lac sur la qualité de vie du point de vue de la densité et des nuisances du trafic, dans les quartiers urbains et les bourgs ainsi qu'autour des axes structurants du réseau routier peuvent être évalués.

Dans l'état 2, soit celui d'une traversée du lac sans mesures d'accompagnement, la qualité de vie dans tous les quartiers urbains à l'intérieur du ring autoroutier est un peu améliorée, à l'exception des quartiers voisins des jonctions autoroutières (surtout à Vallard et à Ferney) en raison de l'augmentation de capacité du système autoroutier (voir figure page suivante). Le gain est le plus fort sur les quais en milieu urbain.

De manière presque aussi homogène que l'augmentation de qualité de vie dans les quartiers à l'intérieur du ring, les quartiers et bourgs à l'extérieur du ring, notamment Meyrin, Ferney, Bellevue ainsi qu'Annemasse pourraient connaître une diminution de qualité de vie due à l'attraction de trafic vers le ring autoroutier.

Cette péjoration se concentre surtout sur la partie nord d'Annemasse, les quartiers autour de la route de Malagnou aux alentours de la jonction de Vallard, les quartiers (existants et / ou projetés) au nord et au sud de la Pallanterie, ainsi qu'au Grand-Saconnex et pour les quartiers des Nations et de Meyrin.

Compte tenu de ces effets négatifs sur la qualité de vie dans certains quartiers, des mesures d'accompagnement ont été déterminées avec les objectifs suivants :

- éviter et minimiser la diminution de qualité de vie due au trafic dans les quartiers les plus affectés,
- augmenter les gains en qualité de vie due au trafic dans l'hypercentre et les assurer à long terme.

Ainsi, l'état 3 montre :

- une amélioration forte de la situation, en comparaison avec état 2, pour Annemasse et les alentours de la route de Malagnou près de la jonction de Vallard, ainsi que dans les quartiers des Nations et du Grand-Saconnex. La situation reste difficile, cependant, pour les quartiers (nouveaux et / ou existants) au nord et au sud de la Pallanterie.
- des gains importants sur les quais en milieu urbain permettant d'y développer les TC, la mobilité douce et les espaces publics. Cependant, ces gains pour les quais se font au détriment de la grande majorité des quartiers urbains à l'intérieur du ring où les gains légers de l'état 2 diminuent en raison de la dilution du trafic.

L'état 3 et les mesures d'accompagnement permettent d'augmenter en partie la qualité de vie dans l'hypercentre par la mise en valeur des quais et de minimiser les effets négatifs sur la qualité de vie autour des jonctions du ring autoroutier, notamment dans Annemasse, mais impliquent une certaine dilution de trafic dans les quartiers.

L'état 3+ réunit en quelque sorte les avantages des états 2 et 3 (voir page suivante), en ce qu'il :

- étend la zone dans l'hypercentre avec augmentation forte de qualité de vie, surtout autour des grands axes en prolongation des pénétrantes
- évite les diminutions de qualité de vie dans les quartiers autour des jonctions autoroutières du ring et notamment dans Annemasse
- augmente la qualité de vie légèrement de manière plus ou moins homogène sur tous les quartiers à l'intérieur du ring par une diminution générale des charges au centre-ville.

Effet en qualité de vie du point de vue densité du trafic : état 3 - état 1

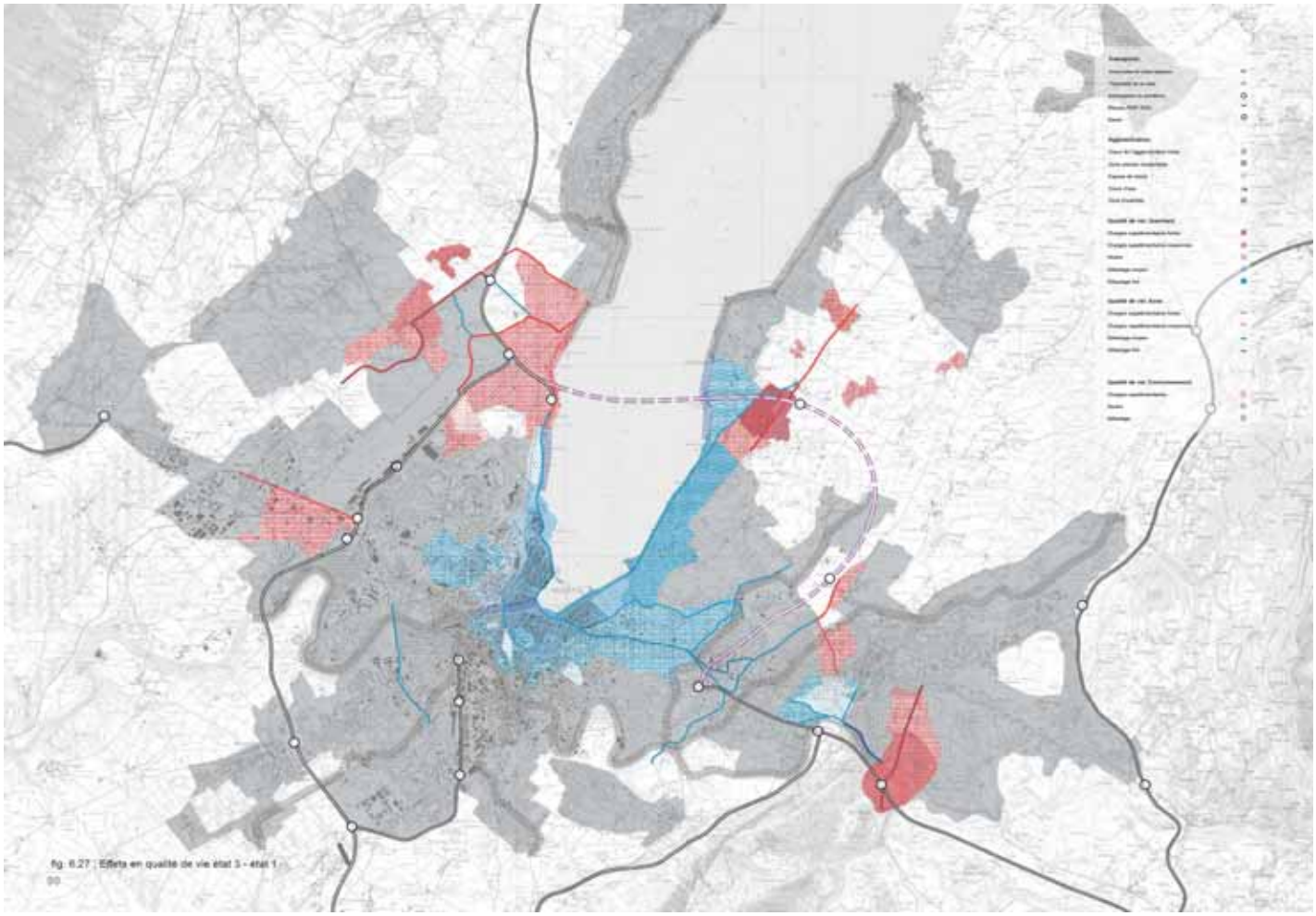


fig. 6.27 : Effets en qualité de vie état 3 - état 1

18.4.3. Effets en termes d'environnement et de paysage

Comme toute amélioration de l'accessibilité en TIM ou en TC dans la périphérie urbaine, la traversée du lac pourrait contribuer au développement des parties de la rive gauche peu denses et aujourd'hui principalement desservies en TIM. L'accessibilité routière fortement améliorée de cette partie du territoire (accessibilité pondérée) devra tenir compte des objectifs identifiés par les lignes directrices du Chablais qui préconisent une concentration du développement dans certains pôles de développement bien desservis par les transports collectifs, ceci bien qu'une voie rapide à 2x2 voies soit prévue reliant Thonon à Annemasse par le pied des Voirons. Des mesures d'accompagnement devront être identifiées et adoptées pour harmoniser cette situation.

A l'inverse, les délestages rendus possibles dans la première couronne de l'agglomération urbaine de Genève et dans l'agglomération d'Annemasse pourront y encourager la densification et un développement compact tel qu'identifié dans les plans de synthèse des périmètres d'aménagement coordonnés d'agglomération (PACA) issus du projet d'agglomération.

Implantation des jonctions

Le tracé envisagé se situe dans des secteurs sensibles en matière de production agricole, de protection du paysage et en matière de délassement. La région Arve-lac, notamment la plaine de la Haute Seymaz, constitue une des grandes surfaces agricoles et paysagères qu'il s'agit de préserver en un seul tenant au profit de l'agglomération. C'est pour cela que le tracé actuel traverse la rive gauche en souterrain et ne se manifeste en surface qu'aux jonctions.

Les vérifications techniques menées sur le tracé retenu considèrent une réalisation de type autoroutier avec les géométries routières correspondant aux normes. Les jonctions et leurs voies d'accès, telles qu'elles sont proposées, génèrent des consommations importantes de terrain et des cloisonnements de ces espaces.

A part l'impact paysager dans un environnement sensible, la structure cloisonnée encouragera à terme l'utilisation des terrains isolés et fragmentés pour des développements urbains ce qui consommera des surfaces encore plus importantes. De plus, du fait de ce fractionnement et du niveau de bruit, il existe un risque que ces terrains soient finalement dévolus à des fonctions peu valorisantes (stockage par exemple). Cela pourrait être évité en développant de manière coordonnée le projet urbain du secteur et celui d'implantation et configuration de la jonction, de même qu'en proposant des affectations adéquates.

Effets environnementaux

Les effets de la traversée du lac sur l'environnement sont étudiés dans un rapport spécifique et ne sont mentionnés ici qu'en raison de leur importance pour la qualité environnementale.

La traversée du lac permet des diminutions de trafic au centre-ville et donc une amélioration de la qualité environnementale. Il est toutefois nécessaire de garantir les gains par des mesures volontaristes sous peine de voir les améliorations disparaître rapidement en raison de nouveaux flux générés par les capacités disponibles à l'instar des effets observés après l'ouverture de l'actuelle autoroute de contournement.

En revanche, dans l'ensemble de la couronne suburbaine ainsi que dans les secteurs résidentiels traversés par du trafic croissant, les impacts environnementaux seront à minimiser.

Le bilan environnemental général devra comparer l'importance attribuée aux gains de qualité de vie en ville avec l'acceptabilité d'effets négatifs sur l'environnement en partie en dehors de zones urbaines et dans des environnements paysagers importants.

18.5. Remarques générales sur l'urbanisation, la mobilité et le paysage

En l'état actuel des études il est possible de dresser les constats généraux suivants :

- La traversée du lac déleste le contournement autoroutier actuel, ce qui permet de collecter les flux issus de l'augmentation prévisible du trafic ainsi qu'une partie des flux utilisant actuellement les réseaux locaux.
- Le tracé évalué permet des diminutions de charges de trafic au centre-ville, principalement sur les quais et le pont du Mont-Blanc, et dans certains secteurs de l'agglomération.
- Des mesures d'accompagnement sont nécessaires pour la traversée du lac, notamment afin d'accentuer les effets potentiels, en termes de qualité de vie, d'amélioration de l'offre TC et des aménagements de mobilité

douce à l'intérieur du ring. Ces mesures pourront être réalisées par étapes, voire anticipées, ce qui permettra un vrai changement dans la gestion de la mobilité dans le cœur de l'agglomération et permettra d'atténuer et contrôler les effets non souhaitables qui pourraient résulter de la réalisation de la traversée du lac.

- En termes de structure de l'urbanisation, le tracé étudié devra être coordonné aux documents en cours d'étude et intégré dans leurs phases d'élaboration.
  La traversée du lac et le projet Agglo 2 devront être mis en cohérence dans le cadre des réflexions menées actuellement pour l'élaboration de ce dernier, ce qui nécessitera des interventions, tant en termes de planification urbaine qu'en termes d'infrastructures de transports (TP, mobilité douce et routière), pour garantir cette cohérence à long terme entre urbanisation et mobilité selon les objectifs définis.
- Une partie des solutions proposées pour les jonctions et le tracé, définies par l'étude technique, représentent des ruptures avec les objectifs de protection du paysage et de l'environnement et devront être approfondies dans la suite des études pour en améliorer l'intégration.

Il en résulte que le tracé étudié a des effets positifs, notamment sur le fonctionnement de l'autoroute.
La traversée du lac est désormais intégrée dans le projet d'agglo de deuxième génération et dans la révision du plan directeur cantonal dans un esprit d'harmonisation et de cohérence entre ces projets.

La plupart des éléments de réflexion et des remarques faites pour améliorer ou modifier le projet, relevés ci-dessus, seront repris par l'étude d'opportunité et de variantes actuellement en cours de réalisation par l'office fédéral des routes (OFROU) dans le cadre de la suppression des goulets d'étranglement et pour définir les mesures à prendre pour garantir durablement la fonctionnalité du réseau des routes nationales dans la région de Genève.
Lors de ces études, les divers offices et directions générales du canton, les communes genevoises et les partenaires français – État, Région, Conseil Général et Communes – seront consultés.

19. ETUDE DE MODELISATION DES DEPLACEMENTS

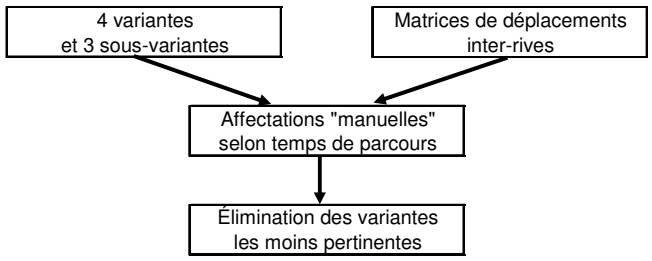
Les chiffres obtenus par cette étude et présentés dans ce chapitre ont servi à l'élaboration de l'étude d'urbanisme-mobilité-paysage selon le chapitre 18.

19.1. Démarche et objectifs

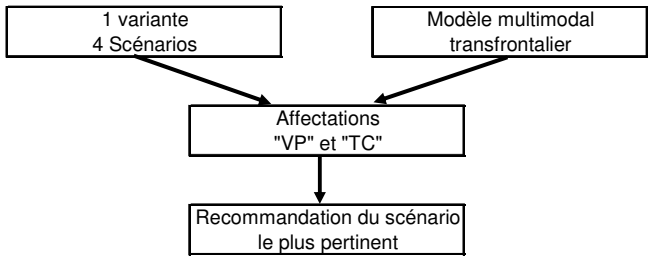
Les estimations de trafic sur la Traversée du lac ont été réalisées afin de répondre aux objectifs suivants :
- Déterminer la clientèle potentielle future de la traversée
- Évaluer son impact sur le trafic de l'autoroute de contournement
- Estimer les potentiels de report de trafic des ponts centraux
- Envisager son insertion dans une politique globale des transports de l'ensemble du bassin franco-valdo-genevois

Ces estimations se sont déroulées en deux phases selon deux méthodologies différentes :

Phase 1 Variantes d'itinéraires



Phase 2 Scénarios futurs



Dans une **première phase**, plusieurs variantes (tracés) et sous-variantes (jonctions) ont été étudiées dans le but de sélectionner les tracés les plus pertinents.
Le modèle multimodal n'étant pas encore disponible au cours de cette première phase d'étude effectuée début 2009, ces analyses ont été réalisées à partir de matrices des déplacements à la journée (lundi-vendredi) issues des scénarios de mobilité du projet d'agglomération pour les horizons 2005 (État actuel) et 2030 (État futur).
Seuls les déplacements inter-rives impactant directement les volumes de trafic sur les traversées du Rhône et du lac ont été examinés et affectés sur les traversées en fonctions d'hypothèses de répartition de trafic tenant compte des temps de parcours et de leur évolution.
Cette première phase a permis d'éliminer deux des quatre variantes étudiées et d'en retenir deux, dont une avec deux sous-variantes de jonctions.

Suite au choix de la variante la plus pertinente (voir chapitre 5), la **deuxième phase** a permis de faire des simulations complètes des trafics à l'horizon 2030 au moyen du modèle multimodal, venant compléter les éléments de réflexions et analyses menées au sein de l'étude urbanisme-mobilité-paysage.
En plus de l'état actuel (état 0), quatre scénarios futurs ont été modélisés :
- État 1 – Horizon 2030 sans traversée du lac
- État 2 – Horizon 2030 avec traversée du lac
- État 3 – Horizon 2030 avec traversée et mesures d'accompagnement
- Etat 3+ – Horizon 2030 avec traversée et mesures d'accompagnement renforcées

Un « état 4 » tenant compte d'une urbanisation liée à la traversée du lac dans le secteur de la Pallanterie devait initialement être modélisé. Cette simulation devait permettre d'estimer les trafics induits par ce développement.
Malgré le grand intérêt à tenir compte des urbanisations et trafics induits par une infrastructure de cette envergure, cet état 4 n'a pas encore été modélisé à cause des délais serrés pour l'étude, ainsi que du caractère préliminaire des considérations sur les manières possibles d'aménager le contexte autour des jonctions. .

19.2. Phase 1 : Études de variantes

Quatre variantes et trois sous-variantes de tracés ont été examinées dans la première phase (Voir chapitre 5).
La **variante 1** boucle le contournement autoroutier de Genève par le nord et l'est entre l'échangeur du Vengeron et la douane de Thônex-Vallard.
La **variante 2** relie de manière plus directe la vallée de l'Arve et l'agglomération d'Annemasse à la Suisse et à l'Aéroport.
Les **variantes 3, 3a, 3b et 3c** offrent un tracé direct entre le Vengeron et Thônex-Vallard, avec pour la variante 3a un seul échangeur au bord du lac à Bellefontaine, pour la variante 3b, un seul échangeur à Frontenex et pour la variante 3c les deux échangeurs.
La **variante 4** est orientée en direction du Chablais. La traversée du lac est légèrement plus au sud, avec un accrochage sur les quais aux environs de la Belotte, puis remonte vers le nord pour se connecter à la 2x2 voies reliant Annemasse à Thonon-les-Bains.

La variante 1 offre les meilleures possibilités d'équilibrage des charges de trafic et de report de circulation du centre vers l'extérieur de l'agglomération.

En conclusion de cette première phase :

Les affectations des déplacements en automobile sur les traversées du Rhône et du lac ont permis de :

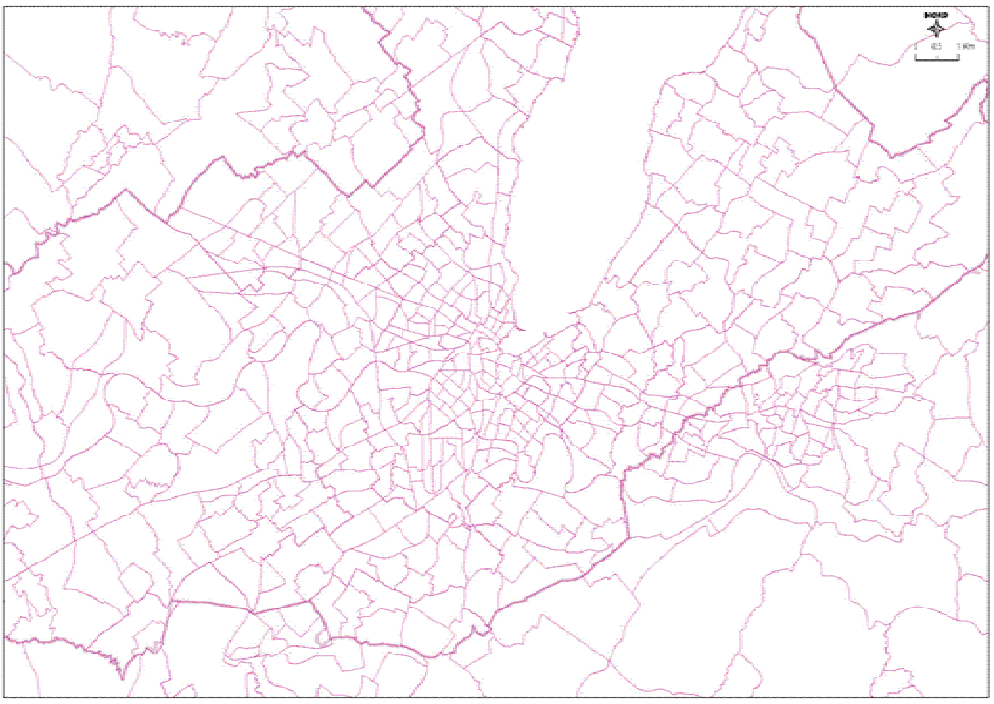
- **Démontrer l'utilité d'une traversée**
- **Écarter les variantes 2, 3, 3b et 4**
- **Montrer l' « effet réseau » des variantes 1, 3a et 3c**
- **Dégager les variantes 1 et 3c comme les plus favorables**

Les variantes 3 ont été éliminées car ne répondant pas à la loi 10015.

19.3. Phase 2 : Modélisation de la variante 1

19.3.1. Le modèle multimodal

La seconde phase d'étude a été rendue possible grâce à la mise à disposition du modèle multimodal transfrontalier.
Contrairement à la phase précédente, qui consistait à affecter « à la main » les flux journaliers inter-rives sur les différentes traversées en fonction de zones élargies d'origine et de destination et des temps estimés de parcours, le modèle multimodal utilise un découpage fin du territoire pour répartir sur l'ensemble du réseau routier régional tous les déplacements effectués par les habitants du périmètre et les « visiteurs » lors d'un jour ouvrable moyen.



Zonage du modèle

Afin de tenir compte des saturations du réseau, le modèle permet de réaliser des affectations durant les heures de pointe du matin et du soir, puis d'extrapoler les résultats sur une journée complète.
Le modèle étant encore en phase de calage et de validation au premier semestre de l'année 2010, seules les affectations à l'heure de pointe du soir ont été réalisées et converties en TJOM.

19.3.2. Les quatre scénarios futurs modélisés

En plus de l'état actuel (état 0), quatre situations futures ont été modélisées :

- État 1 – Horizon 2030 sans traversée du lac
- État 2 – Horizon 2030 avec traversée du lac
- État 3 – Horizon 2030 avec traversée et mesures d'accompagnement
- Etat 3+ – Horizon 2030 avec traversée et mesures d'accompagnement renforcées

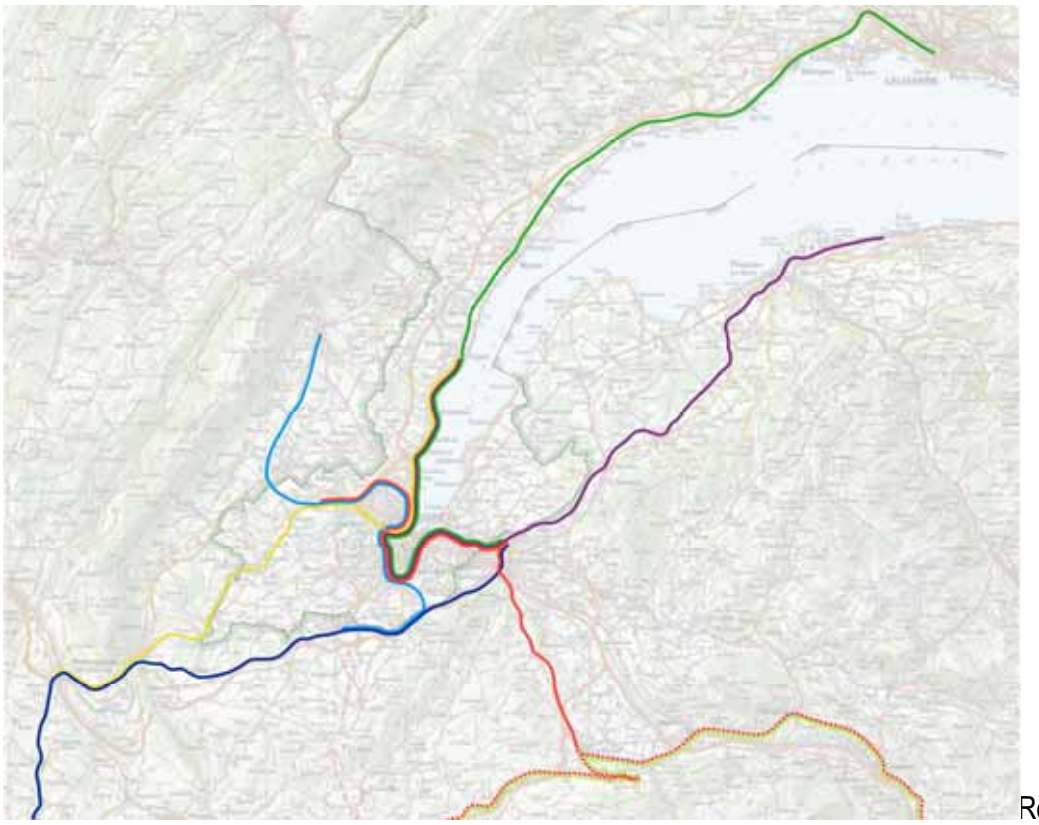
Il faut préciser ici que l'horizon 2030 choisi pour la modélisation est identique à celui utilisé dans la phase précédente (même croissance et répartition de la population et des emplois futurs). Pour chacun de ces états, le modèle recalcule la demande en fonction de l'offre de transports mise en place, tous modes confondus.

19.3.3. Les mesures d'accompagnement « TC »

Afin de favoriser le report modal vers les transports collectifs (TC) et limiter la croissance du trafic individuel, les modélisations futures s'accompagnent d'un développement important du réseau TC, avec entre autres :

- La mise en place d'un RER régional basé sur l'infrastructure CEVA desservant Coppet, Bellegarde, St-Julien, Annemasse, Annecy, Cluses et Thonon.
- Les prolongements des lignes de tramways vers Ferney, St-Genis, Bernex, St-Julien et Annemasse
- L'augmentation des fréquences de passage sur toutes les lignes

Toutes ces améliorations doivent permettre d'atteindre les objectifs ambitieux du projet d'agglomération en matière de report modal, le modèle adaptant les comportements des habitants à l'offre mise en place.
Malgré cela, il a été demandé de compléter le réseau RER modélisé avec de nouvelles lignes de train desservant le Pays de Gex, l'Aéroport et Saint-Julien envisagés dans le cadre du projet d'agglomération 2.

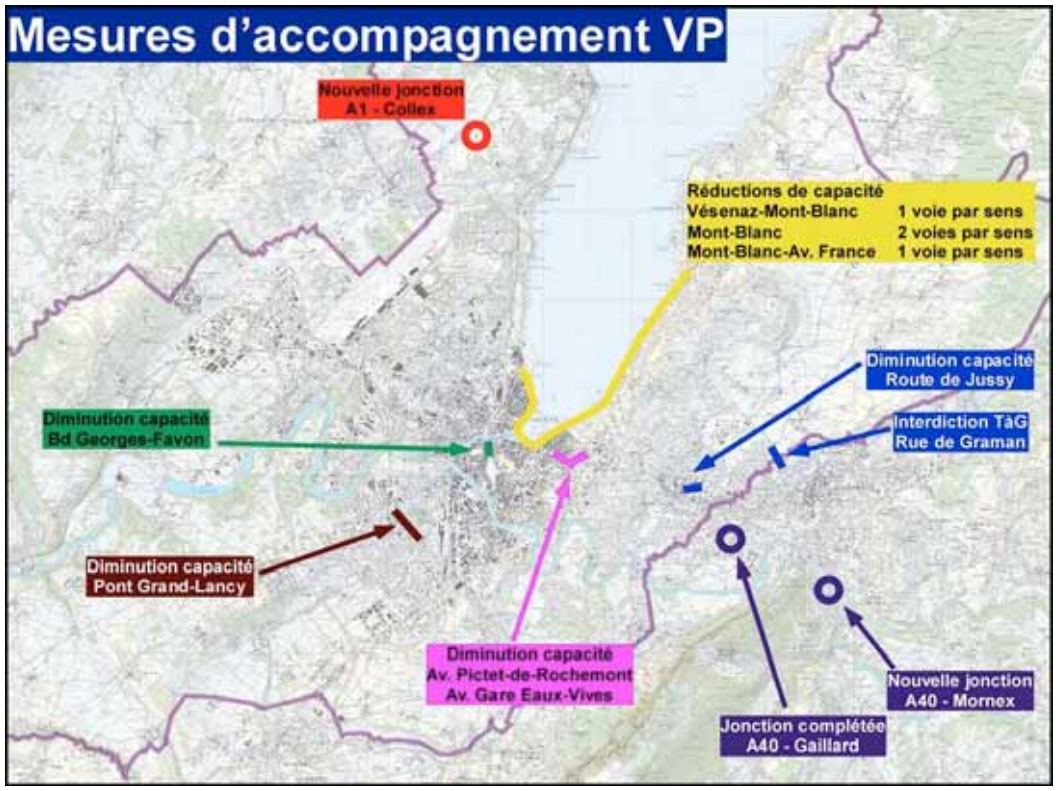


Réseau RER 20??

Toutes les simulations 2030 tiennent compte de ces nouvelles infrastructures, dont la faisabilité à cette échéance n'a pas été évaluée.

19.3.4. Les mesures d'accompagnement

Concernant l'état 3, des modifications ont été apportées au réseau routier pour représenter les mesures d'accompagnement qui pourraient être envisagées au moment de la mise en service de la traversée du lac.
Ces mesures d'accompagnement viennent s'ajouter aux modifications déjà introduites dans le modèle à l'horizon 2030 comme, par exemple, la mise à 2x3 voies de l'autoroute A1 entre Coppet et le Vengeron, le complément de jonction de la Milice, la nouvelle jonction de Ferney avec la route des Nations et bien entendu les réductions de capacités sur les nouveaux axes trams.



Mesures d'accompagnement (véhicules privés VP) introduites dans le modèle

Ces modifications sont donc spécifiques à l'état 3, qui doit être comparé avec l'état 2 pour apprécier leurs effets sur les circulations.

Concernant l'état 3+, des modifications du réseau ont été ajoutées à celles de l'état 3 pour palier à certains problèmes de saturation sur l'autoroute entre la jonction de Ferney et le Vengeron, ainsi que pour renforcer le fonctionnement de ring autoroutier afin de mieux délester le centre-ville et y favoriser le développement des TC et de la mobilité douce:

- mise à 2*3 voies de l'autoroute entre la jonction de Ferney et le Vengeron, avec une mise à 2*3 voies de la TL jusqu'à l'échangeur de la route de Thonon pour permettre un fonctionnement optimum du ring et délester ainsi le trafic au centre (accessibilité par poche : on entre dans le centre depuis le ring (ou inversement) en empruntant l'axe qui permet de rejoindre le ring le plus rapidement possible, en évitant de traverser le Rhône et le centre-ville)
- mise à 2*1 voie la pénétrante vers le centre depuis la route de Vernier pour profiter de la baisse générale du trafic sur les pénétrantes et aménager une voie bus TCSP dans les 2 sens sur cette pénétrante où on n'a pas de mode lourd TC
- réappropriation de l'espace public au centre avec une diminution de la capacité des principaux axes du centre

Ces mesures d'accompagnement, qui viennent s'ajouter aux modifications déjà introduites dans l'état 3 modélisé à l'horizon 2030, sont à comparer avec l'état 2 et/ou l'état 3 pour mesurer leurs effets.

19.3.5. Modélisation de l'état 0 (2007)

La modélisation de l'état 0 est cruciale car elle permet de s'assurer que le modèle répartit correctement les charges de trafic sur l'ensemble du réseau routier genevois, et plus particulièrement sur les ponts du Rhône et l'autoroute.

Le tableau suivant montre les écarts entre les comptages 2007 et la simulation 2007 sur les ponts du Rhône en ce qui concerne les chiffres de trafic à l'heure de pointe du soir (HPS) et les coefficients de passage du trafic HPS au trafic journalier moyen (TJOM) compté.

Traversée	Sens	Comptages 2007		État 0 - 2007	
		HPS	TJOM	HPS	TJOM
Traversée Lac	G->D				
	D->G				
Mont-Blanc	G->D	2'780	78'000	2'840	78'000
	D->G	2'450	*14.9*	2'480	*14.7*
Ile-Coulou	G->D	2'850	78'300	3'300	78'300
Sous-Terre	D->G	2'740	*14.0*	3'010	*12.4*
Butin	G->D	2'640	60'700	2'680	60'700
	D->G	2'880	*11.0*	2'840	*11.0*
A1	G->D	2'800	70'400	2'840	70'400
Aigues-V.	D->G	3'920	*10.5*	3'870	*10.5*
PONTS	G->D	11'070	287'400	11'660	287'400
	D->G	11'990	*12.5*	12'200	*12.0*

Sur le **pont du Mont-Blanc**, les écarts entre comptages et simulation sont minimes dans les deux sens de circulation (G->D = de rive gauche à rive droite). Afin d'obtenir un trafic journalier équivalent aux 78'000 véhicules/jour comptés, le total des deux sens de circulation doit être multiplié par *14,7*. Ce taux sera utilisé dans toutes les simulations futures.

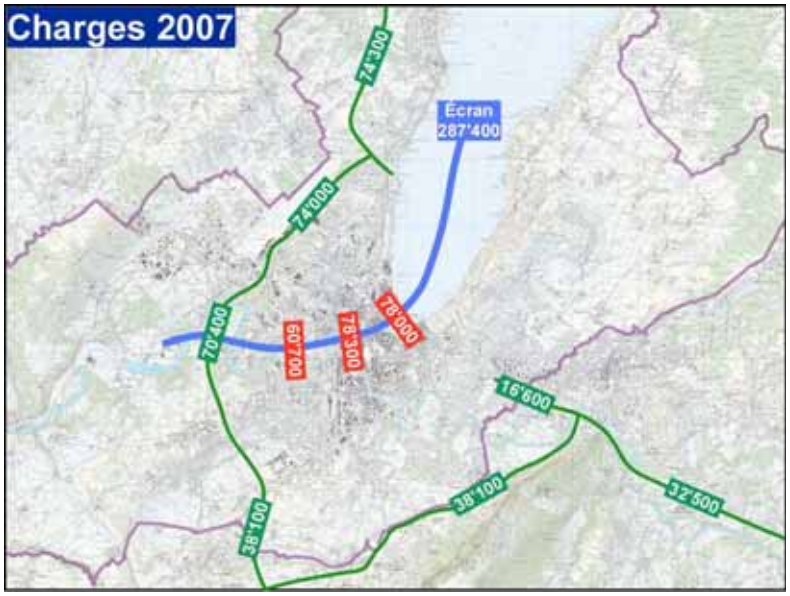
Pour les **autres ponts centraux (Ile-Coulouvrenière-Sous-Terre)**, le modèle surestime légèrement les trafics (environ +10-12%). Le taux de conversion jour est ainsi adapté à la baisse (*12,4* au lieu de *14,0*) pour reconstituer le TJOM.

Sur le **pont Butin** et le **pont d'Aigues-Vertes (A1)**, le modèle reproduit les comptages presque parfaitement. Les taux de conversion jour (resp. *11,0* et *10,5*) sont donc identiques à la réalité.
Les taux de conversion jour plus faible sur l'autoroute de contournement (*10,5*) et plus élevé sur le pont du Mont-Blanc (*14,9*) s'expliquent par la part du trafic de pointe sur l'ensemble de la journée.

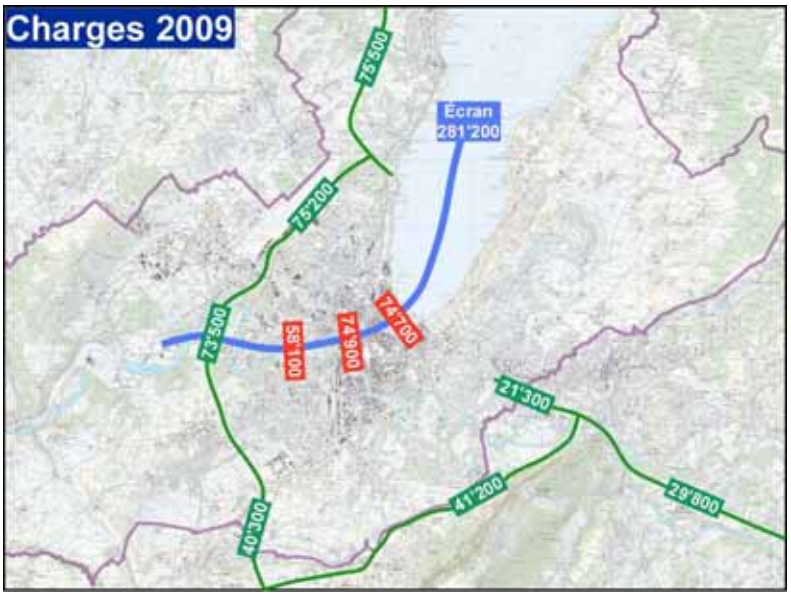
Visiblement, l'autoroute de contournement est utilisée davantage aux heures de pointe que le reste de la journée. Elle a donc une réserve de capacité plus grande, même si les charges sont critiques aux heures de pointe. Le pont du Mont-Blanc est quant à lui bien chargé à toute heure de la journée.

19.3.6. Évolution 2007 – 2009

Avant d'aborder les résultats des simulations à l'horizon 2030, il convient de regarder avec attention l'évolution des trafics sur les ponts du Rhône entre 2007 et 2009. Les deux cartes montrent une diminution importante (- 8'000 vhc/j) du trafic sur les ponts du Rhône en cœur d'agglomération, notamment à cause des chantiers trams. Le trafic réagit à ces baisses de capacités en se reportant sur l'autoroute de contournement, mais seulement partiellement.



Charges 2007 sur les ponts du Rhône et le réseau autoroutier



Charges 2009 sur les ponts du Rhône et le réseau autoroutier

19.3.7. Modélisation de l'état 1 (2030 sans traversée)

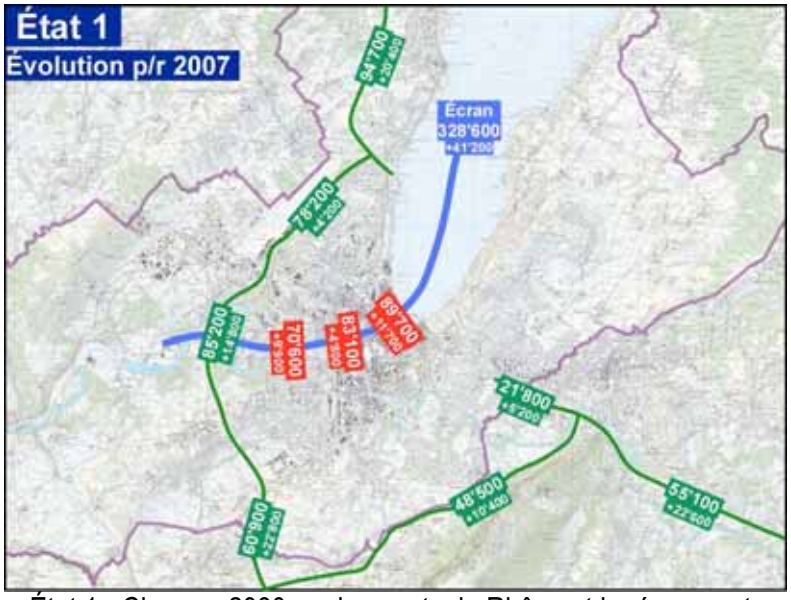
L'état 1 est une simulation « théorique » sans projet destinée, à voir comment le trafic pourrait évoluer sans traversée supplémentaire.

Le modèle envisage une croissance du trafic inter-rives de +41'200 véhicules/jour entre 2007 et 2030, soit une progression de +14% bien inférieure à l'augmentation attendue de la mobilité dans ce même laps de temps (+40%).

Dans l'impossibilité de reporter cette augmentation sur le seul réseau autoroutier, tous les ponts centraux sont sollicités parfois au maximum de leur capacité pour écouler le trafic inter-rives.

La hausse sur l'autoroute Lausanne-Genève est impressionnante (+20'000 vhc/j) et est rendue possible par l'élargissement à 2x3 voies. L'autoroute de contournement est en rupture de capacité.

L'augmentation à Bardonnex (+23'000 vhc/j) est corrélée avec la nouvelle autoroute Annecy-Genève.



État 1 - Charges 2030 sur les ponts du Rhône et le réseau autoroutier

Même s'il est réalisable, ce scénario est bien évidemment peu souhaitable, notamment en rapport au développement des autres modes de transport au cœur de l'agglomération.

19.3.8. Modélisation de l'état 2 (2030 avec traversée)

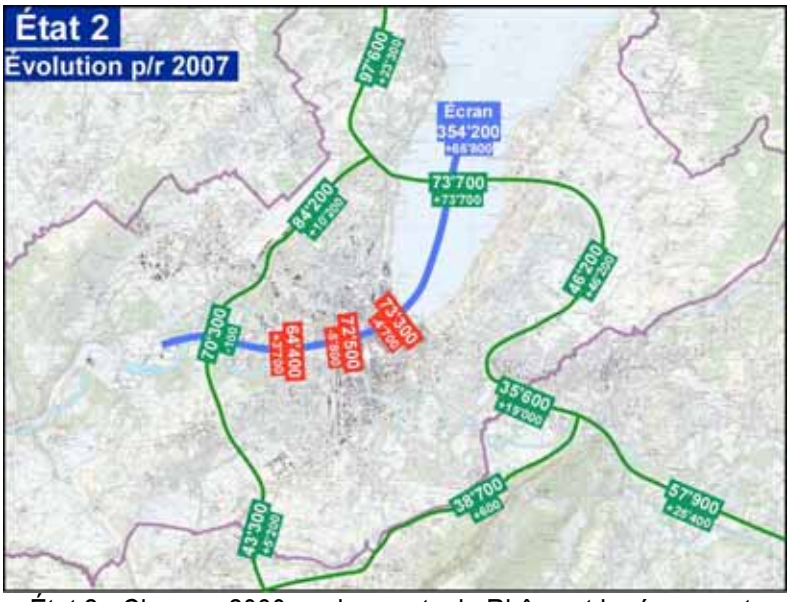
L'état 2 (2030 sans mesures d'accompagnement) diffère naturellement du précédent par le bouclage autoroutier entre le Vengeron et Thônex-Vallard.

L'apport d'une nouvelle traversée fait croître le trafic inter-rives de +66'800 véhicules/jour par rapport à 2007 (+23%), soit une hausse supérieure à celle de l'état 1 (+41'200/+14%), mais toujours bien inférieure à celle de la mobilité dans la région (+40%).

Il faut souligner ici que le nombre total de déplacements de l'état 2 n'est pas nécessairement supérieur à l'état 1, mais que la nouvelle traversée permet de réaliser des déplacements inter-rives, qui dans l'état 1 restent de chaque côté du Rhône faute d'infrastructures adéquates.

Le trafic baisse sur les ponts centraux, mais est à peine inférieur au niveau de 2009. Si le pont Butin augmente un peu, la bonne surprise vient de la stagnation de l'autoroute de contournement.

La nouvelle traversée remplit donc bien sa fonction de délestage de l'autoroute de contournement en absorbant plus que la totalité de la croissance inter-rives.



État 2 - Charges 2030 sur les ponts du Rhône et le réseau autoroutier

La simulation de l'état 2 montre bien que sans mesures d'accompagnement, le contournement est et la traversée du lac ne soulagent pas de manière significative le trafic au cœur de l'agglomération, mais permettent juste d'éviter qu'il n'augmente.

Le grand avantage de ce scénario est d'éviter les saturations du réseau.

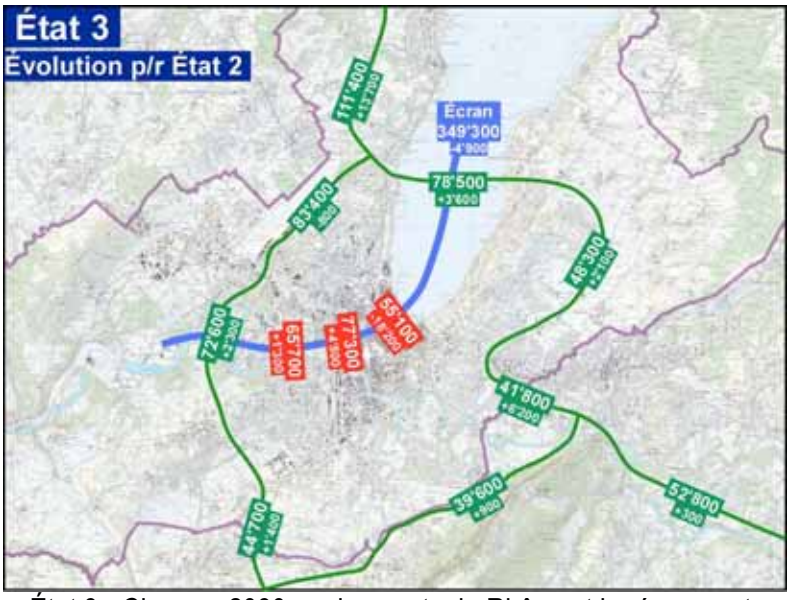
19.3.9. Modélisation de l'état 3 (2030 avec traversée et mesures d'accompagnement)

L'état 3 (2030 avec traversée et mesures d'accompagnement) permet de voir l'effet des premières mesures d'accompagnement prises sur la répartition du trafic.

Globalement, la réappropriation d'une partie de l'espace public sur certains axes du centre provoque une légère baisse du nombre de traversées en automobile, sans doute reportée sur les autres modes. Cette baisse est similaire en valeurs absolues à celle constatée entre 2007 et 2009, mais se répartit avec beaucoup plus de contrastes entre les différents ponts.

La baisse importante des capacités sur le pont du Mont-Blanc a naturellement des effets immédiats (-18'200 vhc/j), qui se reportent aussi bien sur les ponts voisins que sur les traversées autoroutières. Des ajustements de capacités peuvent être réalisés pour mieux répartir les baisses entre les ponts centraux.

Le trafic augmente sur les ponts extérieurs et se répartit à part égales des deux côtés du centre-ville, +3'600 véhicules sur la traversée du lac et +3'600 sur les ponts Butin+A1.



État 3 - Charges 2030 sur les ponts du Rhône et le réseau autoroutier

Une forte croissance est à signaler à l'arrivée de l'autoroute Lausanne-Genève grâce à la nouvelle jonction de Collex. Au-delà de Collex, les charges sont logiquement similaires à celles de l'état 2. Le réseau autoroutier au sud du canton est légèrement plus sollicité que dans l'état 2, mais garde ses réserves de capacités.

Ce scénario propose de tirer partie de la traversée du lac et du ring autoroutier constitués, pour réorganiser les déplacements au cœur de l'agglomération au niveau du pont du Mont-Blanc et des quais plus particulièrement.

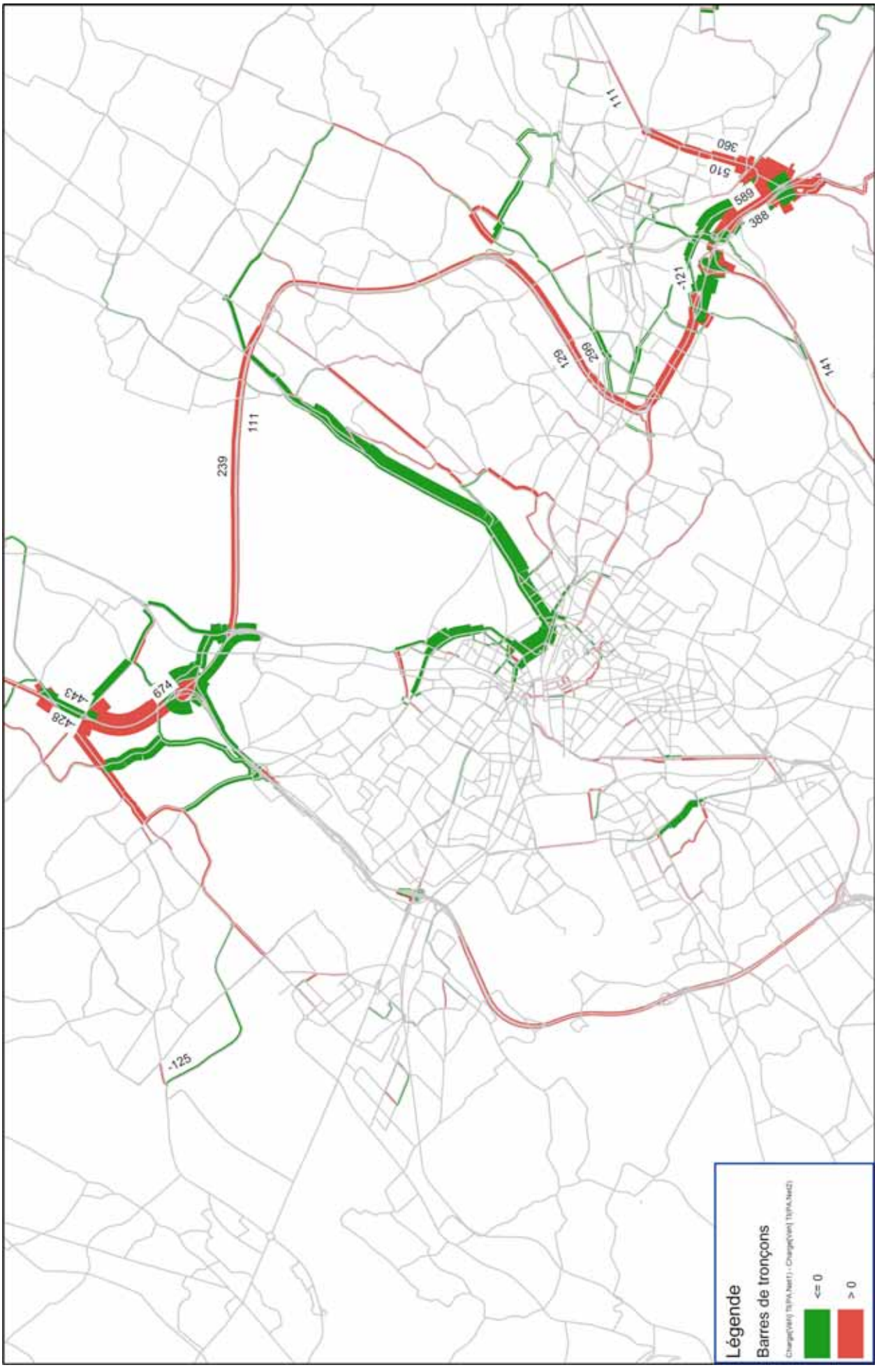
La figure ci-après met en évidence les hausses (en rouge) et baisses (en vert) de trafic consécutives à la mise en place des mesures d'accompagnement. En plus du **ring autoroutier**, trois secteurs sont particulièrement touchés.

Le **secteur centre-ville** bénéficie des baisses de capacités sur les ponts centraux, particulièrement le long des quais entre Sécheron et Vésenaz.

Le **secteur Collex-Bellevue** voit se réorganiser les trafics en relation avec la nouvelle jonction autoroutière, sans grand impact sur le reste du système.

Le **secteur Thônex-Annemasse** est fortement impacté par les nouvelles jonctions de Gaillard et Mornex et les restrictions de capacité dans Annemasse.

État 3 – Différence avec l'État 2 avec traversée du lac à l'HPS



Globalement, les gains et les pertes semblent s'équilibrer. La nouvelle répartition des trafics présente cependant le grand avantage de mettre les hausses de trafic principalement sur le réseau autoroutier et les baisses de trafic dans les deux centres-villes de Genève et Annemasse.

Afin d'éviter les hausse de trafic sur certains axes au cœur de l'agglomération, des mesures d'accompagnement sont sans doute nécessaires aux mesures d'accompagnement.

19.3.10. Modélisation de l'état 3+ (2030 avec traversée et mesures d'accompagnement renforcées)

Afin de profiter des baisses de trafic sur certains axes au cœur de l'agglomération et de mettre en place une politique des déplacements au cœur d'agglomération permettant une meilleure qualité de vie et une meilleure offre pour les TC et la mobilité douce, d'autres mesures d'accompagnement complémentaires se révèlent nécessaires aux mesures d'accompagnement du scénario de l'état 3.

En effet, au sein du ring autoroutier, les diminutions de trafic obtenues grâce à la traversée du lac risquent d'être très vite annulées si aucune mesure de réappropriation de l'espace libéré n'est prise pour améliorer la gestion multimodale du réseau routier et réorganiser la mobilité au centre.

De plus, certains tronçons du ring autoroutier sont complètement saturés dans les états 2 et 3, à savoir entre la jonction de Ferney et le Vengeron, ne permettant pas à l'autoroute d'assurer pleinement son rôle.

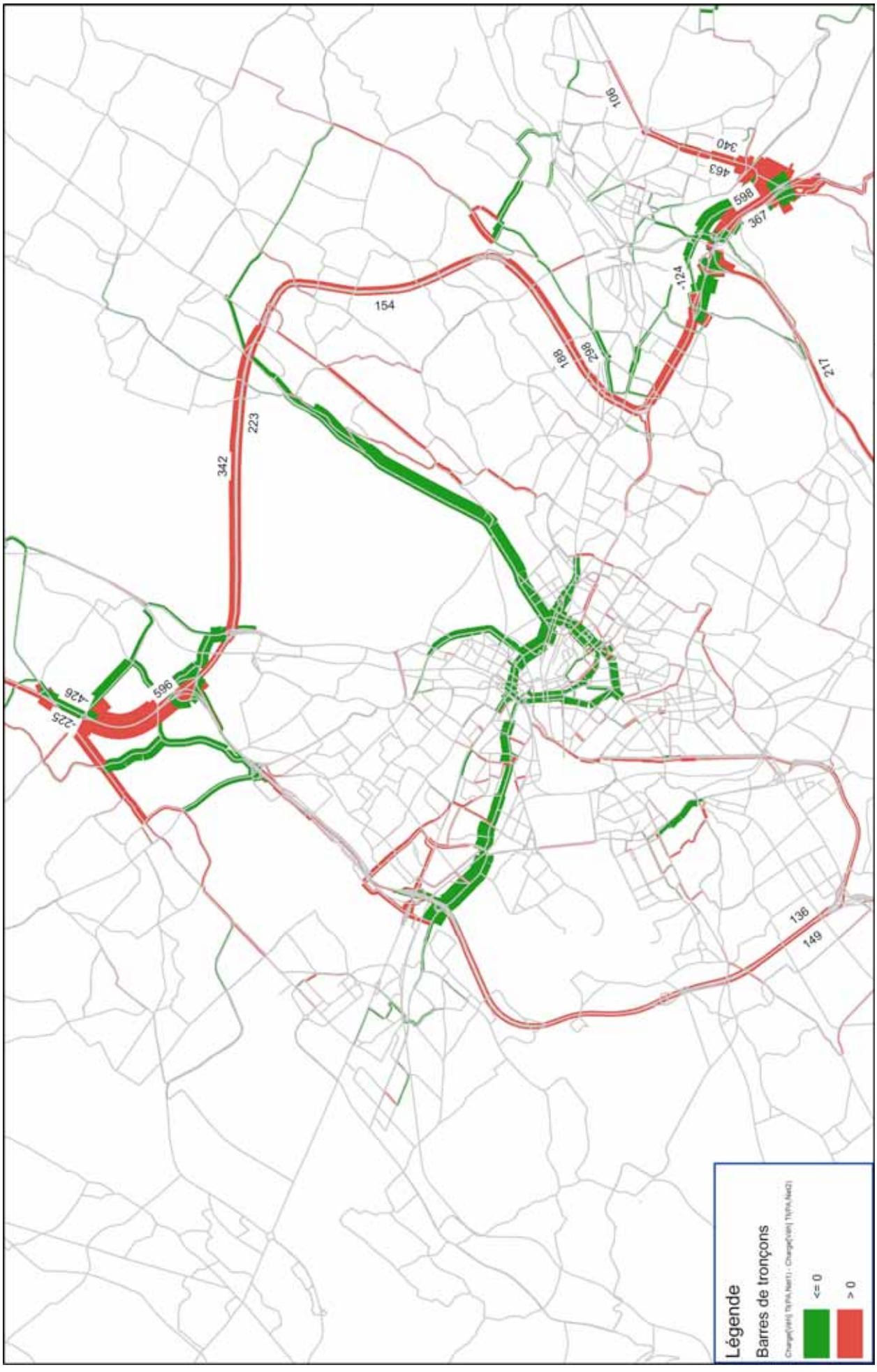
L'état 3+ (2030 avec traversée et mesures d'accompagnement renforcées) permet donc de répondre à ces deux problématiques d'assurer le fonctionnement de l'autoroute en heure de pointe en 2030 et de mettre en place une politique des déplacements au centre profitant de la baisse du trafic pour favoriser le développement des autres modes de transport.

Les résultats de ce scénario montrent des gains importants au centre concernant les diminutions de trafic. Cependant, la traversée du Lac se charge encore plus et arrive en limite de capacité en heure de pointe, notamment du fait de la résolution du problème de congestion entre la jonction de Ferney et le Vengeron qui permet de rejoindre la traversée plus aisément depuis l'autoroute de contournement actuelle.

Ces résultats montrent que la mise à 2x3 voies de la traversée du lac pourrait être envisagée. En effet, la TL arrive à saturation dans un sens à l'HPS dans l'état 3+, ce qui l'empêche de jouer pleinement son rôle de ring avec un fonctionnement d'accessibilité par poche au cœur d'agglomération et de diminuer un peu plus la pression au centre-ville.

Voir la carte de différence de trafic entre l'état 3+ et l'état 2, page suivante.

État 3 + – Différence avec l'État 2 avec traversée du lac à l'HPS



19.3.11. Les réseaux tram et train

Une infrastructure autoroutière comme la traversée du lac ne peut se concevoir sans une vue globale de l'évolution des transports dans la région genevoise, c'est pourquoi les modélisations réalisées ci-dessus ont été accompagnées d'importantes améliorations des réseaux de transports collectifs :

- la liaison Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse (train)
- la liaison Carouge – Archamps – Saint-Julien (train)
- la liaison Aéroport – Nations – Cornavin (train)
- la liaison Meyrin-Satigny – Saint-Genis – Gex
- le prolongement Nations – Gd-Saconnex – Ferney (tram)
- le prolongement CERN – Saint-Genis (tram)
- le prolongement Palettes – Plan-les-Ouates – St-Julien (tram)
- le prolongement Moillesulaz – Gaillard – Annemasse (tram)

Ces infrastructures lourdes contribuent positivement à la hausse modérée du trafic automobile constatée dans les simulations de la traversée du lac et permettent aux transports collectifs d'absorber une part importante de la croissance de la mobilité dans la région genevoise.

Compte tenu des baisses importantes de trafic au cœur de l'agglomération, une amélioration de la vitesse commerciale de toutes les lignes TPG aurait pu également être simulée pour augmenter l'attrait des transports collectifs, et compenser les dégradations des temps de parcours en automobile.

Il était difficile cependant d'estimer les gains de temps réalisables sur les TC avant même d'avoir les résultats des affectations routières. À l'exception des nouvelles lignes de tram, les autres lignes ont donc gardé leurs temps de parcours actuels.

L'objectif de cette étude n'était pas de tester la pertinence des nouvelles infrastructures tram et train, mais simplement de les intégrer dans les calculs de répartition modale des déplacements futurs. Néanmoins, les résultats des affectations TC nous interpellent.

19.4. Conclusion

Malgré les différences de méthodologies, les résultats de la phase 2 d'étude basés sur le modèle multimodal sont relativement proches des premières estimations de la phase 1.

Ils confirment l'utilité de la traversée du lac :

- **dans sa fonction de liaison entre rives**
- **dans sa fonction d'itinéraire complémentaire à l'autoroute de contournement.**
- **dans sa fonction d'itinéraire de délestage du centre-ville rendue possible grâce à ses mesures d'accompagnement indispensables**

À l'exception des routes proches des accès autoroutiers, l'ensemble du réseau routier genevois bénéficie du projet de la nouvelle traversée avec ses mesures d'accompagnement, notamment les centres-villes de Genève et Annemasse.

Une telle infrastructure ne peut cependant s'envisager sans mesures d'accompagnement ni développement simultané d'un réseau de transports collectifs performant.

La modélisation de l'état 4 semble être indispensable pour compléter l'analyse de la variante 1 et de son fonctionnement. en tenant compte du développement urbain autour des nouvelles jonctions et de leur impact en termes de déplacements induits.

Enfin, la question du dimensionnement de la traversée du lac et de l'autoroute existante reste à analyser plus précisément, sachant qu'une mise à 2x3 voies pourrait s'avérer utile sur certains tronçons pour assurer un fonctionnement fluide du ring autoroutier et diminuer la pression du trafic au sein du cœur d'agglomération.

20. SENSIBILITE ENVIRONNEMENTALE

20.1. Préambule

L'objet de cette étude est d'établir une synthèse des contraintes et de la sensibilité environnementale du corridor d'implantation du projet et d'identifier les principaux impacts environnementaux susceptibles d'influencer les conditions de faisabilité.

La mise en évidence des enjeux et contraintes en matière environnementale, paysagère et agricole effectuée à ce stade vise en outre à optimiser l'incidence environnementale du projet dans le cadre des différentes étapes ultérieures d'études et de concrétisation à prévoir.

L'évaluation environnementale effectuée est basée sur une analyse des documents et données existantes disponibles. Aucune investigation ou relevé de terrain détaillé n'a été réalisé à ce stade.

L'approche menée s'est en outre inspirée de la méthodologie définie par le document « Etude d'impact sur l'environnement de 1er niveau – Cahier des charges général », guide pour l'élaboration de rapports d'impact sur l'environnement dans le cadre d'extensions du réseau des routes nationales, édité en mars 2008 par l'OFROU et l'OFEV.

20.2. Eléments relatifs à la justification générale du projet

La justification générale du projet est traitée de manière plus approfondie dans d'autres volets des études préliminaires effectuées. D'une manière générale, l'opportunité de compléter le contournement autoroutier de Genève en cohérence avec les concepts de développement et de mobilité élaborés dans le cadre du projet d'agglomération franco-valdo-genevoise paraît établie, mais ne fait sens sur le plan environnemental qu'à condition que l'implantation de certaines de ses infrastructures n'impacte pas des sites majeurs.

En effet, malgré les objectifs ambitieux du projet d'agglomération en matière de structuration du développement territorial à proximité de centres et d'axes desservis par des transports publics très performants, et de transfert modal en faveur des transports collectifs et de la mobilité douce, une augmentation importante des déplacements automobiles est attendue (+ 8 millions de véhicules x km en 2030 selon les estimations du Schéma d'agglomération n°1 établi en 2007).

En tenant compte également des espaces importants à consacrer au développement des transports collectifs au cœur de l'agglomération, cette croissance de la mobilité ne peut être envisagée sans nouvelle infrastructure routière périphérique.

De plus, le projet répond aux besoins de l'arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et l'allocation des moyens financiers nécessaires. Cet arrêté fédéral prévoit des aménagements et/ou des créations d'infrastructures, pour tout type de transports, dont le but est de délester les routes nationales qui seront surchargées dans une mesure inacceptable en 2020. Il stipule notamment qu' «il demeure urgent d'intervenir au niveau du contournement de Genève». Financé par la loi fédérale sur le fonds d'infrastructure (LFInfr), il n'intègre, selon la planification actuelle de l'OFROU, l'élargissement des tronçons Le Vengeron – Meyrin et Meyrin – Perly, qu'en 3ème niveau de priorité (module 3 : projets dont la qualité est bonne mais de priorité moindre et qui ne pourront de ce fait être financés dans le cadre des moyens actuellement disponibles), sur la base des résultats relativement défavorables de l'analyse coût-avantages effectuée à ce stade par l'OFROU.

La traversée du lac est donc à considérer comme une variante ou une alternative à l'élargissement de l'autoroute de contournement existante.

20.3. Approche générale de l'évaluation des effets du projet sur l'environnement effectuée à ce stade

L'approche menée est inspirée de la méthodologie définie par le document « Etude d'impact sur l'environnement de 1er niveau – Cahier des charges général », guide pour l'élaboration de rapports d'impact sur l'environnement dans le cadre d'extensions du réseau des routes nationales, édité en mars 2008 par l'OFROU et l'OFEV.

L'approche définie dans ce guide doit permettre de répondre aux quatre questions suivantes :

- Du point de vue environnemental, existe-t-il des impacts suffisamment importants pour mettre en danger la concrétisation du projet ?
- Quels sont, selon toute probabilité, les impacts importants sur l'environnement ?
- Est-ce que les coûts estimés des tracés possibles incluent ceux des mesures environnementales nécessaires ?
- Quelle variante de tracé (de couloir d'implantation) produit selon toute vraisemblance, les impacts sur l'environnement les plus faibles ?

Dans le cadre de la présente étude, le couloir d'implantation a été prédéfini par la loi 10'015 votée par le Grand Conseil et une analyse comparative de différentes options de tracé n'a par conséquent pas été effectuée.

De manière générale, pour une infrastructure de transport de cette ampleur les 2 types d'effets potentiels sur l'environnement suivants sont à considérer :

a) Effets sur des problématiques environnementales à appréhender à l'échelle globale de l'agglomération franco-valdo-genevoise étendue en tenant compte des incidences globales sur les flux de trafic et les comportements de mobilité ainsi que les effets potentiels induits sur l'aménagement du territoire. Les problématiques à traiter à cette échelle concernent en particulier les émissions de CO_2 et de polluants atmosphériques ainsi que les effets sur les nuisances sonores à l'échelle du réseau routier global.

b) Effets liés à l'implantation et à l'exploitation de l'infrastructure projetée proprement dite sur son périmètre d'influence, en tenant compte également des mesures d'accompagnement envisagées et des infrastructures connexes nécessaires.

20.4. Evaluation des effets sur les problématiques environnementales à appréhender à l'échelle globale

Les effets à appréhender à cette échelle ont été évalués à partir des études spécifiques réalisées en matière de trafic, d'urbanisation et de mobilité.

Sur cette base, il apparaît que le contournement autoroutier projeté permet d'absorber une partie importante du trafic à l'échelle de l'agglomération avec une charge de trafic estimée de l'ordre de plus de 70'000 véh/j à l'horizon 2030.

La mise en service du projet de traversée du lac et de contournement est de Genève permet en particulier de délester l'autoroute de contournement existante d'environ 15'000 véh/j (-18% par rapport à l'état futur sans projet) selon les estimations effectuées ainsi que les quais et le Pont du Mont-Blanc (diminution de 15 à 25%). Au niveau des axes routiers du cœur de l'agglomération genevoise des diminutions de charges de trafic de l'ordre de 11 à 20% sont attendues en rive gauche, et de 8 à 14% en rive droite.

Des augmentations de trafic seront néanmoins également induites par le projet, à proximité des accrochages du contournement autoroutier projeté et des 2 échangeurs planifiés à Rouelbeau et Puplinge. Une augmentation des charges de 7 à 19% (2'500 à 8'300 véh/j) est également attendue sur l'autoroute actuelle entre le Vengeron et la jonction de Ferney d'une part et la jonction projetée de Collex d'autre part.

Les augmentations attendues avec la mise en service de l'autoroute et la mise en œuvre de mesures d'accompagnement à proximité des 2 jonctions planifiées concernent le réseau situé au nord de la jonction de Rouelbeau, avec en particulier une augmentation de 10'600 véh/j pour la route de la Capite ainsi que les axes en provenance du nord de l'agglomération annemassienne en ce qui concerne la jonction de Puplinge, avec une augmentation de 4'700 véh/j pour la route de Jussy, et d'environ 3'200 véh/j pour la route de Presinge.

À proximité des jonctions de Rouelbeau et de Puplinge, il s'avère nécessaire de réorganiser le réseau en raison des impacts qu'aura la présence de la traversée du lac sur les déplacements en trafic individuel motorisé (TIM).

⇒ Secteur de Rouelbeau : les charges de trafic vont augmenter considérablement sur la route de la Capite mais aussi sur les réseaux secondaires par la présence de l'échangeur de Rouelbeau. Il conviendra d'adapter la structure fonctionnelle du réseau pour permettre les passages entre les axes radiaux et éviter de franchir les cœurs de village et les quartiers résidentiels.

⇒ Secteur de Puplinge : en raison des difficultés de connexion de l'agglomération annemassienne avec le réseau autoroutier d'Etrembières, l'utilisation de la nouvelle jonction au nord d'Annemasse pour accéder à

l'autoroute sera importante. Les réseaux routier actuels étant peu hiérarchisés et peu adaptés à des volumes de trafic importants, des adaptations du réseau routier seront indispensables.

Les effets du projet à l'échelle globale, notamment en termes d'émissions de $C0_2$ et de polluants sont à appréhender à partir des prestations kilométriques du transport individuel motorisé (TIM) à l'échelle du périmètre d'influence du projet.

Les estimations effectuées mettent en évidence une augmentation des prestations kilométriques du TIM de l'ordre de 30% entre l'état actuel (2003) et l'horizon 2030 sans projet, du fait des hypothèses de développement de la démographie et des emplois considérées à l'échelle de l'agglomération.

En ce qui concerne l'effet du projet à l'horizon de planification considéré, les estimations effectuées montrent que la réalisation du contournement autoroutier projeté n'entraîne aucune augmentation des prestations kilométriques par rapport à la situation sans projet. Une légère diminution, non significative, peut même être constatée à la lumière des valeurs calculées par le modèle.

Sur la base de ces estimations, **il apparaît donc que la réalisation de la traversée du lac et du contournement est de Genève n'engendre pas intrinsèquement d'augmentation des prestations kilométriques à l'échelle de l'agglomération** du fait de la restructuration du réseau routier qui est prévue.

Cette constatation permettrait de conclure à la neutralité de l'infrastructure routière projetée en termes d'impact sur le climat (émissions de CO_2) et d'émissions de polluants atmosphériques.

Néanmoins, il faut préciser que ces estimations sont basées sur la localisation des habitants et des emplois définie par le Projet d'agglomération pour l'horizon 2030, qui est considérée comme identique pour l'état sans projet et l'état avec projet. Les développements de l'urbanisation qui seraient induits par la réalisation du projet de traversée du lac et du contournement est de Genève, en termes de nouvelles zones d'habitation et d'emplois qui se développeraient sur des secteurs bénéficiant d'une accessibilité largement et durablement orientée sur les TIM, n'ont donc pas été considérés dans les calculs effectués. Ces éléments seront évalués dans la suite des études.

Cet aspect devra être intégré au prochain stade de concrétisation du projet afin de disposer d'un indicateur lié aux prestations kilométriques du trafic individuel motorisé (TIM) intégrant les effets sur la dynamique de développement territorial suite à la réalisation du projet de contournement autoroutier (développement de nouvelles zones d'habitations et d'activité liées à l'amélioration de l'accessibilité routière d'un vaste secteur de l'agglomération genevoise).

En ce qui concerne la **qualité de l'air** (immissions), le dépassement de la valeur limite d'émission de dioxyde d'azote (NO_2) fixée par l'OPair au centre ville, avec une tendance à la stagnation observée depuis plusieurs années, constitue une problématique importante, qui implique la mise en œuvre d'un plan d'assainissement.

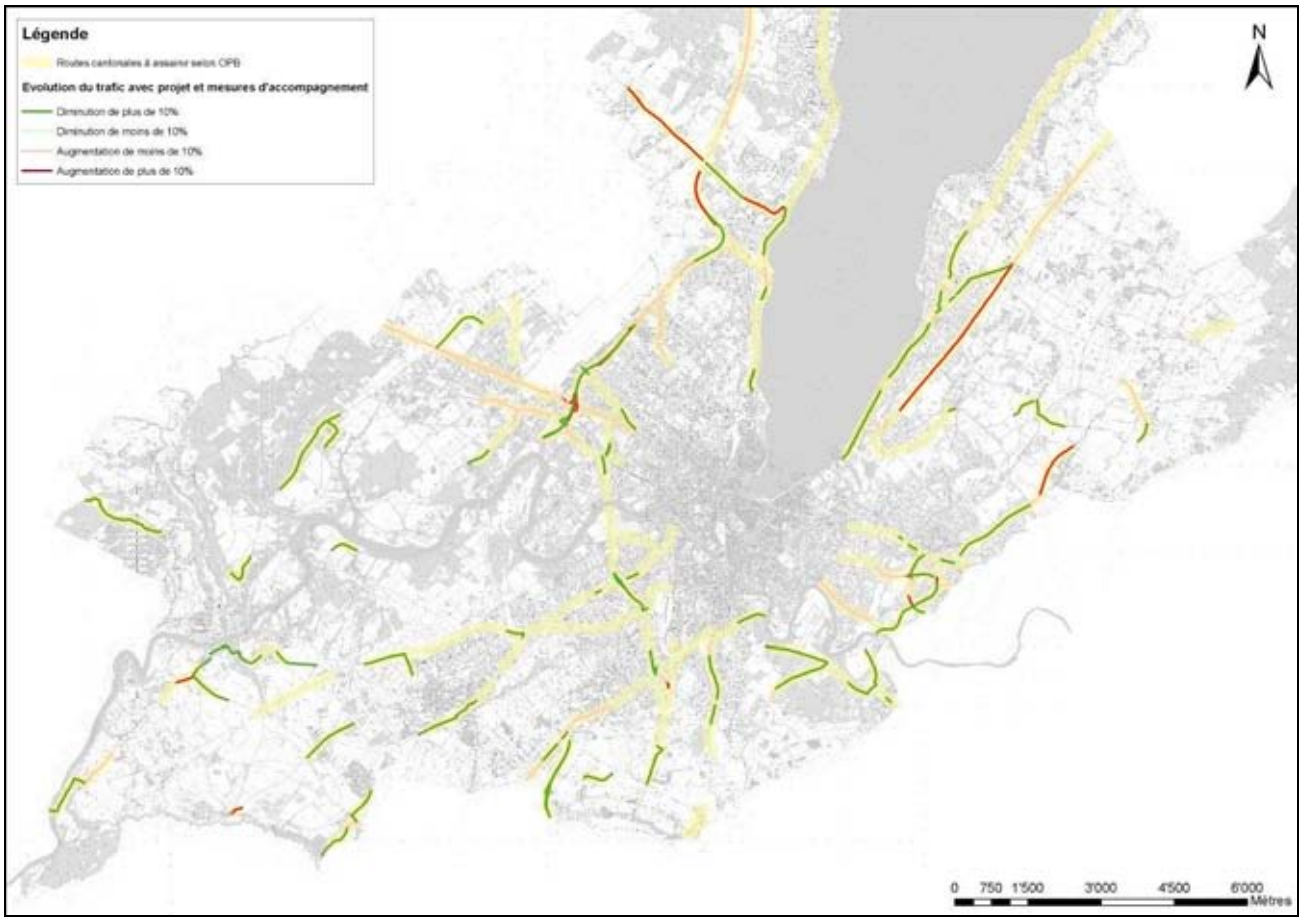
Par rapport à cet enjeu, la réalisation du projet aura un effet positif significatif en relation avec la diminution du trafic motorisé induite au centre ville, estimée entre 8 et 25% pour les axes routiers principaux. Afin que cet effet se concrétise et que le projet de contournement autoroutier puisse effectivement être considéré comme une mesure à part entière d'un plan d'assainissement de la qualité de l'air, des mesures d'accompagnement adéquates (p.ex. priorisation des transports publics ; requalification des espaces publics) sont néanmoins à mettre en œuvre.

En ce qui concerne la problématique des nuisances du **bruit routier** à l'échelle du canton de Genève, le projet pourrait également avoir un effet global positif. En effet l'approche effectuée à ce stade met en évidence que le contournement autoroutier projeté entraînera des réductions de trafic significatives (supérieures à 10%) pour environ un tiers du linéaire de routes cantonales soumises à des nuisances sonores excessives, intégrées au programme d'assainissement des routes cantonales selon l'OPB. Cet effet positif devra cependant être concrétisé par des mesures d'accompagnement adéquates.

Néanmoins, dans ce domaine également, la question du développement urbain induit par l'infrastructure revêt une importance primordiale. En effet, l'enjeu est d'éviter un étalement des secteurs soumis à des nuisances sonores en raison d'une répartition inadéquate des secteurs dévolus à l'emploi.

La réalisation du projet induira cependant également des augmentations de trafic sur certaines routes cantonales figurant au plan d'assainissement du bruit routier. Il s'agit en particulier des axes de la route de

Collex, de l'autoroute N1, de la route de la Capite et de la route de Jussy situés à proximité des échangeurs du Vengeron, de Rouelbeau et de Puplinge, qui verront leur trafic augmenter de manière significative par rapport à la situation sans projet.



Evolution du trafic avec le projet de la traversée du lac sur les axes concernés par le plan d'assainissement OPB des routes cantonales

20.5. Evaluation des effets liés à l'implantation et à l'exploitation du projet sur son périmètre d'influence

Le tracé proposé, d'une longueur totale d'environ 14 km, présente une traversée du lac entre Le Vengeron en rive droite et un accrochage en rive gauche dans le secteur de la Pointe-à-la-Bise, puis le passage au droit d'une zone résidentielle de la Commune de Collonge-Bellerive et l'entrée dans la plaine de la Seymaz au sud de La Pallanterie, dans le secteur de Rouelbeau. Le tracé passe ensuite en tunnel sous la colline de Choulex avant de rejoindre le secteur de Puplinge – Mon Idée. Pour ce tronçon, une option en tranchée couverte partiellement ouverte est également envisagée, variante dont le tracé parcourt la plaine de la Seymaz en contournant la colline de Choulex. Le tracé se poursuit ensuite en tunnel sous l'agglomération des Trois-Chênes pour se raccorder à la plate-forme douanière de Vallard.

Le corridor d'implantation lacustre et terrestre du projet s'inscrit dans un contexte présentant des valeurs environnementales et paysagères de grande importance. Certains tronçons sont également implantés en milieu bâti, sensibles aux nuisances occasionnées par un nouvel axe routier.

Pour la traversée du lac, les 2 options de traversée par pont haubané ou en tunnel immergé ont été envisagées, tandis que les tronçons terrestres seront réalisés sur la majorité de leur parcours en souterrain, cette configuration limitant les impacts en phase d'exploitation mais impliquant la gestion de volumes d'excavation extrêmement importants.

L'implantation générale du projet dans le territoire avec mention des différents tronçons caractéristiques est présentée dans la carte ci-dessous.

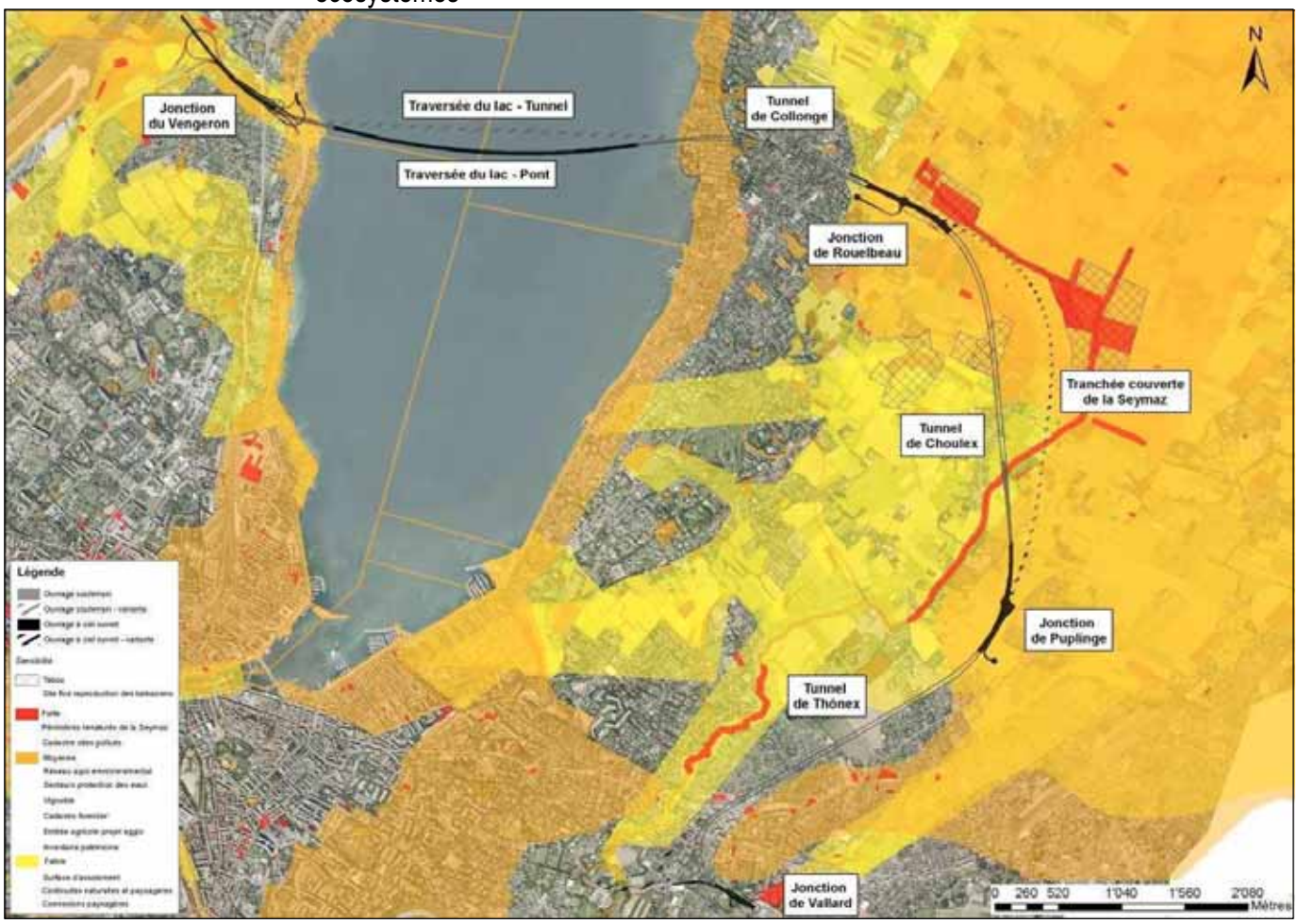
L'indication de la sensibilité du territoire, relative à une implantation en surface, se réfère à la méthodologie définie par l'OFROU/OFEV qui distingue les 4 catégories suivantes :

⇒ Zone tabou : zones protégées (marais et zones alluviales) d'importance nationale

⇒ Sensibilité forte : toutes les autres zones protégées et les objets d'importance nationale, les zones d'habitation, les zones de protection des eaux souterraines S1-S3

⇒ Sensibilité moyenne: toutes les autres zones protégées d'importance cantonale et locale, les zones industrielles, toutes les eaux de surface, y compris les zones riveraines, qui ne sont pas explicitement consignées dans un répertoire comme protégées, les forêts, les corridors faunistiques d'importance régionale

⇒ Sensibilité faible : les surfaces agricoles relativement pauvres du point de vue structure du paysage et écosystèmes



Sensibilité générale du territoire

Les impacts du projet sur les aspects milieux naturels, paysage, cours d'eau et entités agricoles sont résumés ci-après pour les différents tronçons caractéristiques à partir de l'accrochage au réseau autoroutier existant au niveau du Vengeron :

20.5.1. Jonction et accrochage du Vengeron

Au niveau de la jonction autoroutière du Vengeron, le projet implique la réalisation d'une tranchée couverte depuis l'autoroute existante jusqu'à la plage du Vengeron. Un complexe de bretelles complémentaires est également projeté impliquant des emprises importantes implantées à l'intérieur du Bois du Vengeron, estimées à environ 2,5 ha pour les emprises à défricher définitivement auxquels il faut ajouter environ 2 hectares d'emprise provisoire.

Les impacts sur le milieu forestier peuvent être considérés comme importants. Ils devront être atténués par des mesures de compensation et de reconstitution adéquates.

La réalisation du projet en tranchée couverte au droit de la plage du Vengeron implique des impacts transitoires importants pendant la durée des travaux estimée à 5 ans, mais constitue également une opportunité permettant d'améliorer l'attractivité et la valeur paysagère de ce site au moyen d'aménagements connexes adéquats.

L'accrochage lacustre est caractérisé par l'absence de tout élément naturel, le site du Vengeron ayant été réaménagé lors de la construction de l'autoroute A1 dans les années 1960. La beine lacustre présente une pente importante, sur un substrat de type molassique, combinaison peu favorable au développement des macrophytes. Une absence quasi-totale de végétation caractérise le milieu et le rend peu favorable à la faune aquatique. Les impacts de l'accrochage projeté devraient donc être d'une ampleur relativement limitée. L'ouvrage offre en revanche certaines possibilités de valorisation, tout particulièrement avec l'option de presqu'île artificielle de la variante Pont qui présente un bon potentiel de diversification des habitats lacustres et terrestres. La concrétisation de cette option devra être soigneusement planifiée en intégrant une étude détaillée de la courantologie locale.

20.5.2. Traversée du lac

Les impacts liés à la traversée du lac doivent être évalués de manière différenciée entre l'option pont et l'option tunnel.

La **traversée du lac en pont** prévoit un pont multi-haubané, à 6 piles, d'une hauteur variant de 85m. à 126m., impliquant une extension en remblai côté rive droite et une île artificielle d'une surface d'environ 1,5 ha située à environ 200 m de la rive gauche. Les impacts définitifs liés à l'implantation de l'ouvrage concernent avant tout les aspects de la protection du paysage et de l'avifaune :

⇒ Sur le plan paysager**,** la présence du pont modifiera la valeur esthétique du Petit-Lac, du fait de ses dimensions. L'ouvrage de franchissement du lac masquera en partie la vue, suivant la distance à laquelle se trouvera le point de regard. Depuis la rive droite, le Salève se retrouvera en arrière-plan de l'ouvrage. Cependant, cette atteinte est à relativiser de par le recours à un système porteur par haubans qui reste raisonnablement transparent ou en ayant recours à un pont avec plus de piles et des haubans moins important. Les diverses solutions possibles n'ont pas été étudiées et devront faire l'objet d'un concours architecturale, si cette solution de pont était choisie.

⇒ En ce qui concerne l'avifaune, la réalisation d'un pont haubané constitue un obstacle au déplacement des oiseaux. Le Petit-Lac est en effet survolé de jour comme de nuit par une importante quantité d'oiseaux d'eau, en particulier les hivernants qui se rendent de leur site de nourrissage à leur site de repos, et des migrateurs qui survolent le lac à l'automne et au printemps. L'impact du projet sur l'avifaune peut être considéré comme important. La présence du projet entraînera des perturbations importantes sur les déplacements de l'avifaune (franchissement au-dessus du tablier), entraînant des gaspillages d'énergie préjudiciables pour la pérennité des espèces, particulièrement en hiver et des risques de collision.

L'éclairage du pont constituera par ailleurs une gêne pour la faune (insectes et oiseaux notamment) sur toute la largeur du lac. Des dispositions constructives adéquates seront prévues pour exclure toute pollution des eaux en phase d'exploitation normale et en cas d'accidents

La présence des piles sont de nature à induire un impact sur le milieu lacustre, principalement en phase de chantier, où des remaniements localisés des fonds lacustres sont à prévoir. Compte tenu de l'implantation ponctuelle des piles et moyennant la mise en œuvre de mesures de protection adéquates ces impacts devraient pouvoir être maîtrisés.

La **traversée du lac en tunnel immergé** prévoit un tunnel sous forme de caissons rectangulaires de largeur d'environ 30m pour une hauteur de 9 m et comportant deux espaces de circulation distincts. L'émergence de l'ouvrage sera très faiblement au dessus du fond lacustre, ce qui ne devrait pas influencer de manière significative les courants lacustres. Les enjeux environnementaux liés à la phase d'exploitation sont donc avant tout liés à la gestion des eaux à l'intérieur de l'ouvrage et à la protection contre les conséquences d'évènements accidentels ou de dysfonctionnement des installations.

En phase d'exécution en revanche, qui devrait s'étendre sur une durée planifiée de 5 à 7 ans, la réalisation du tunnel nécessitera la mobilisation et l'extraction de volumes considérables de vases lacustres, estimés à ce stade à environ 4 millions de m^3. La problématique de la gestion des vases extraites est abordée au point 20.7

ci-après. Ce remaniement important du fond lacustre est susceptible d'entrainer une libération de sédiments fins risquant d'engendrer une augmentation importante de la turbidité préjudiciable au milieu lacustre. En cas de concrétisation de l'option « traversée en tunnel » cet enjeu devra faire l'objet d'un examen approfondi afin de définir les mesures concrètement envisageables pour limiter ces impacts.

L'accrochage de La Pointe-à-la-Bise est implanté à environ 25 m de la limite de la réserve naturelle sur la commune de Collonge-Bellerive. La réserve est essentiellement constituée de roselières et représente l'unique réserve naturelle lacustre du canton de Genève. Ce milieu constitue un site de nidification privilégiée pour une vingtaine d'espèces d'oiseaux ainsi qu'un relais idéalement situé pour les migrateurs.

En phase d'exploitation, la variante tunnel ne devrait pas engendrer de modifications importantes du milieu lacustre.

La variante pont aura, quant à elle, des impacts supplémentaires, dus notamment à la création d'une île artificielle au large de la rive gauche. La présence de cette dernière sera une source de dérangements pour la faune de la réserve. De plus, elle entraînera la modification de la topographie d'une partie de la beine lacustre et une perte de la surface d'herbiers est prévisible.

Cette île artificielle entraînant des modifications sur les mouvements de sédiments offre néanmoins des opportunités intéressantes de diversification des habitats lacustres et terrestres. Le projet prévoit aussi des mesures d'aménagements compensatoires avec la mise en place d'aménagements naturels sur l'extrémité est de l'île artificielle et la création de deux îlots à destination de l'avifaune dans le périmètre de la réserve. Les incidences sur la courantologie locale devront être évaluées de manière détaillée à un stade ultérieur afin d'éviter toute modification préjudiciable de la dynamique du transport des sédiments.

Par ailleurs, des ouvrages connexes sont à prévoir à proximité de cet accrochage, en particulier pour la gestion et le traitement des eaux. Les dimensions de ces ouvrages seront conséquentes et devront faire l'objet de considérations plus détaillées dans les phases ultérieures des études.

Les travaux d'exécution dureront entre 4 et 7 ans au niveau de cet accrochage selon la variante choisie (respectivement pont et tunnel). Les emprises provisoires dépendront également de l'option de traversée retenue. Pour l'option tunnel, une enceinte de préfabrication est envisagée sur un site éloigné des accrochages et les impacts à proximité de l'ouvrage projeté seront réduits. Pour la variante pont, plusieurs solutions sont envisagées à ce stade dont la réalisation des piles du pont dans une cale sèche implantée sur un site externe adéquat. Les emprises provisoires seront donc réduites sur la rive gauche mais seront néanmoins conséquentes, notamment pour la réalisation de la tranchée couverte de transition entre l'ouvrage de traversée du lac et le tunnel de Collonge.

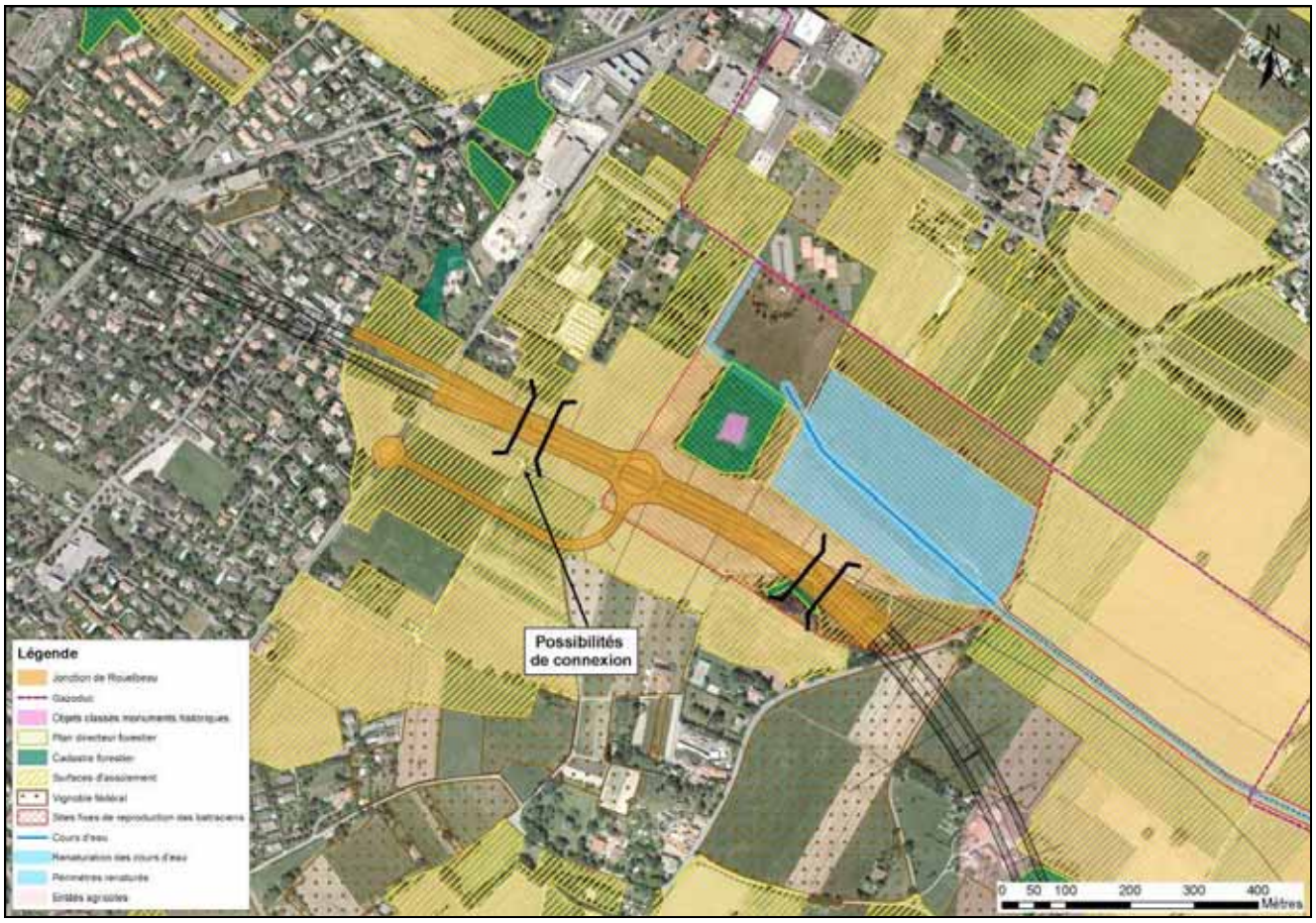
20.5.3. Tunnel de Collonge et jonction de Rouelbeau

Depuis l'accrochage de Pointe-à-la-Bise, le tracé remonte par un tunnel de 1'650 m jusqu'à la jonction de Rouelbeau.

L'implantation de la jonction de Rouelbeau est conditionnée par les contraintes géométriques du tunnel de Collonge qui doit assurer le raccordement à l'accrochage de la Pointe-à-la-Bise avec une pente maximale limitée à 5%. La vitesse de planification considérée est de 100 km/h pour l'autoroute.

La prise en compte de ces différentes contraintes et le respect des normes routières et directives de l'OFROU ont conduit à proposer à ce stade une implantation qui peut être considérée comme non satisfaisante du point de vue environnemental, puisque la section à ciel ouvert empiète de manière significative sur l'entité paysagère et agricole à protéger de la Haute Seymaz, à faible distance du Marais renaturé de Rouelbeau et des ruines du château de Rouelbeau, site classé.

La jonction est constituée d'une tranchée ouverte d'une largeur de 40 à 50 m sur une longueur de 900 m environ et une profondeur comprise entre 6 et 18 m. Le projet, dans sa configuration actuelle, ne répond pas aux objectifs de protection de la nature et doit inévitablement être adapté afin d'être conforme aux exigences environnementales (déplacement de l'implantation, réduction de la vitesse de projet permettant de réduire l'emprise, réalisation enterrée,…).



Contraintes environnementales de la jonction de Rouelbeau

L'emprise définitive de la jonction de Rouelbeau entraînera la perte définitive de 4,8 ha de surfaces agricoles.

Par ailleurs, l'effet de coupure de la tranchée ouverte projetée sera considérable en termes d'impact paysager à l'intérieur d'une entité de grande valeur actuellement bien préservée. Cet effet ne pourra que très partiellement être atténué par les 2 passages d'une largeur de 50 m intégrés à ce stade. De plus, des pertes de surfaces boisées sont prévisibles au niveau du portail du tunnel de Choulex.

Comme déjà mentionné, une adaptation conséquente de l'implantation et des caractéristiques de cette jonction sont indispensables afin d'améliorer la compatibilité environnementale et paysagère de cet ouvrage.

20.5.4. Tronçon entre les jonctions de Rouelbeau et de Puplinge

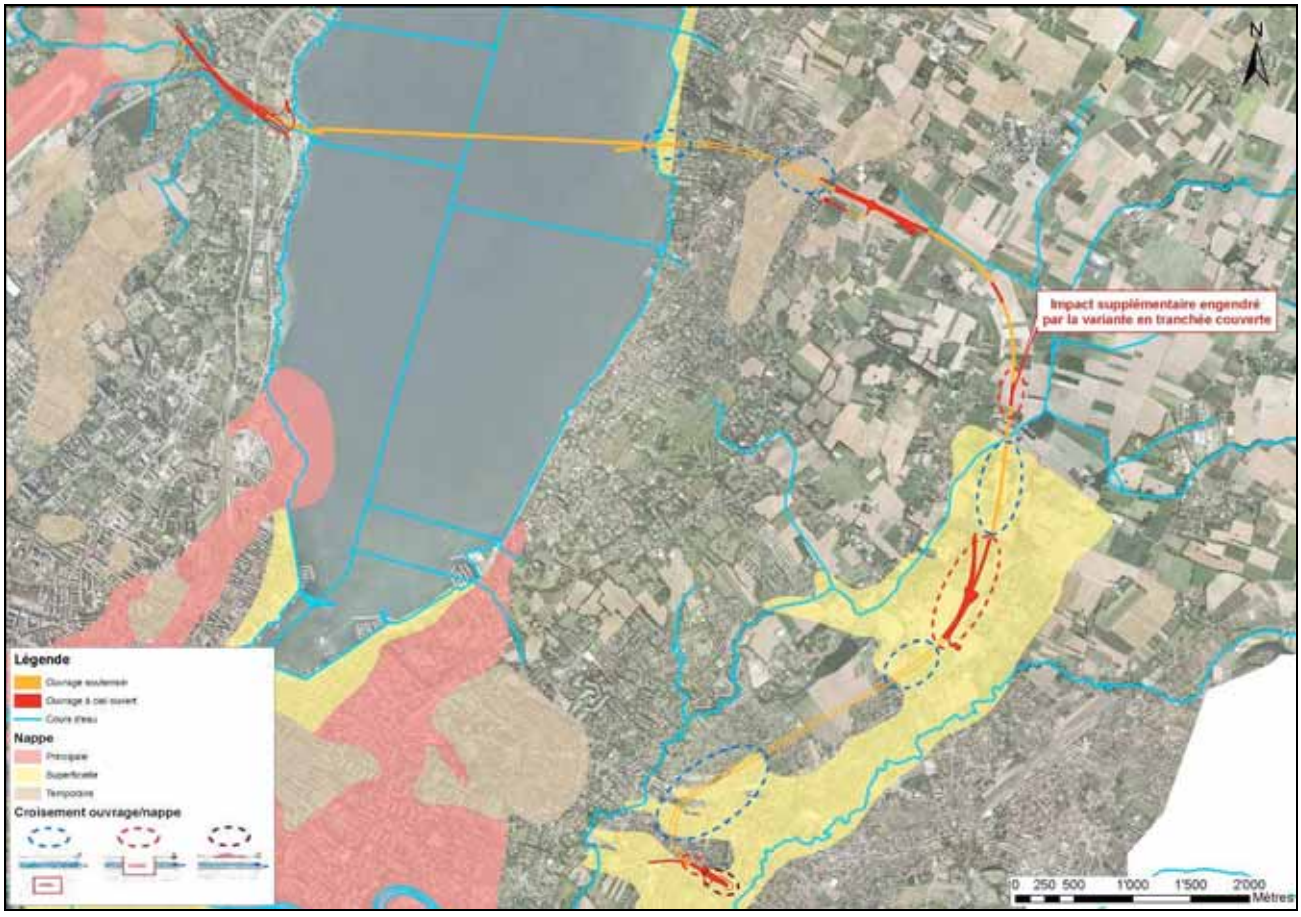
Depuis la jonction de Rouelbeau, 2 options de réalisation sont envisagées en direction de la plaine de Puplinge. La première consiste en la réalisation d'un tunnel de 2,7 km sous la colline de Choulex. Cette option permet de supprimer toute emprise en surface et tout impact sur des éléments territoriaux en phase d'exploitation.

La seconde option consiste en la réalisation d'une tranchée couverte, présentant 2 tronçons à ciel ouvert de 200 m chacun, contournant la colline de Choulex sur une longueur de 3,0 km. Les 2 tronçons en tranchée ouverte impliquent une emprise de 1,6 ha de surface agricole utile ; ils représentent en outre un impact paysager non négligeable depuis différents points de vue caractéristiques, en raison de leur profondeur.

La tranchée couverte et ouverte projetée sera en outre implantée sur la grande majorité de sa longueur à l'intérieur de la nappe superficielle de la Seymaz ou de terrains superficiels saturés en eau qui jouent un rôle central pour l'équilibre du régime hydraulique du cours d'eau situé entre 50 et 300 m de la tranchée. Malgré les mesures techniques envisageables, une perturbation du régime hydrique de la nappe et du cours d'eau ne pourra être évitée, avec des risques d'effet de barrage ou au contraire de drainage excessif de l'aquifère.

Au vu de ces différents éléments, **la réalisation de l'option en tunnel est à privilégier** du point de vue environnemental au détriment de l'option en tranchée couverte qui présente des impacts significatifs en termes de protection des eaux et de protection du paysage.

Les 2 options se rejoignent environ 100 m en amont du franchissement de la Seymaz, À partir de ce point, une tranchée couverte d'une longueur de 700 m est prévue jusqu'à la jonction de Puplinge. Sur ce tronçon, la section définitive de la tranchée couverte sera intégralement implantée en dessous de l'aquifère de la nappe superficielle de Puplinge. Au niveau du franchissement de la Seymaz, la dalle supérieure de la tranchée sera implantée 3 m en dessous du lit du cours d'eau. Les enjeux environnementaux se concentreront donc au niveau de la phase de chantier afin de limiter d'une part les impacts provisoires sur les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines et assurer d'autre part une reconstitution adéquate de l'aquifère lors du remblayage de la tranchée afin de restituer les conditions initiales.



Implantation du projet par rapport aux eaux souterraines

20.5.5. Jonction de Puplinge

La jonction de Puplinge est constituée d'une tranchée ouverte présentant une largeur de 35 et 45 m sur une longueur de 950 m avec une profondeur comprise entre 14 et 20 m. en raison notamment de l'extension nord envisagée du projet MICA. Cet ouvrage implique donc une perte de sol agricole d'environ 4,5 hectares et induit un impact paysager important en créant un effet de coupure dans une plaine agricole formant actuellement une unité paysagère de qualité. Par ailleurs, l'ouvrage coupera un corridor de grande faune.

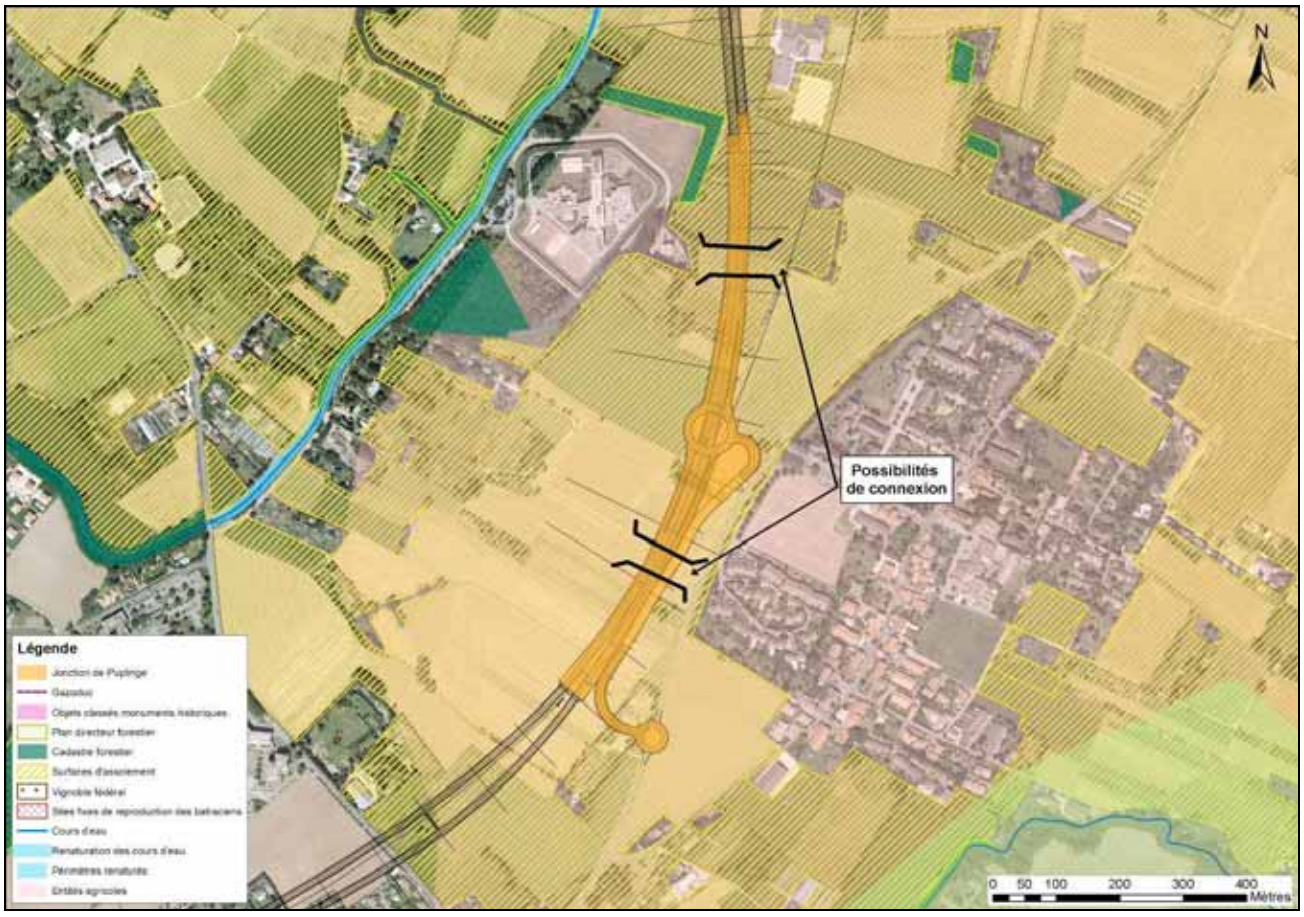
En ce qui concerne la protection des eaux, la tranchée ouverte de 950 m va couper l'aquifère de la nappe de Puplinge sur la totalité de son épaisseur. Afin de maitriser l'effet de barrage ainsi créé des mesures d'accompagnement adéquates sont à envisager, afin de limiter les impacts résiduels.

L'emprise de la jonction est également située à l'intérieur de la zone d'expansion des crues du Foron pour des évènements de temps de retour égal ou supérieur à 100 ans. Par rapport à cette situation, 2 objectifs sont à considérer :

⇒ maintenir la configuration et le fonctionnement actuel de la zone d'expansion des crues qui joue un rôle important pour la protection contre les crues du tronçon aval urbanisé du Foron, en évitant tout effet de barrage significatif

Cet objectif implique la reconstitution de plusieurs passages de terrain reconstitué d'une largeur suffisante répartis sur l'ensemble de la longueur de la tranchée. Ces passages permettront également d'atténuer l'impact paysager et de reconstituer partiellement les connexions biologiques.

⇒ assurer la protection de la route projetée en cas d'inondation depuis le Foron en évitant que les eaux ne puissent s'engouffrer à l'intérieur de l'ouvrage. Une rehausse modeste du terrain est ainsi à envisager sur tout le pourtour de la tranchée.



Contraintes environnementales de la jonction de Puplinge

20.5.6. Tunnel de Thônex et jonction de Vallard

Le **tunnel de Thônex,** d'une longueur de 3,2 km n'aura pas d'impacts sur les éléments territoriaux. Il sera en outre implanté plusieurs mètres en dessous de la base de l'aquifère superficiel de Thônex - Puplinge et n'interfèrera aucunement sur son régime hydrologique.

La **jonction de Vallard** sera implantée en milieu péri-urbain au droit ou en extension latérale des emprises routières existantes. Les enjeux environnementaux concerneront les problématiques de nuisances sonores et d'émissions polluantes considérées au point suivant. Les impacts sur la végétation existante et les sols ne doivent toutefois pas être négligés et devront être précisés à un stade ultérieur.

L'intégration paysagère de cet ouvrage d'envergure, peut être considérée comme particulièrement délicate et peut entrer en conflit avec les objectifs de valoriser ce secteur en tant qu'axe urbain entrecoupé par les pénétrantes vert-bleu que sont le Foron et la Seymaz. .

En matière de protection des eaux, le tronçon de transition réalisé en tranchée couverte entre le tunnel de Thônex et la jonction de Vallard va créer une coupure au droit de l'aquifère superficiel d'accompagnement du Foron. L'impact induit et les mesures d'accompagnement à prévoir devront être approfondis à un stade ultérieur.

En outre l'entrée de la tranchée couverte serait maintenue dans une zone de risques d'inondation conditionnels dans le cadre de l'actualisation récente de la carte des dangers liés aux crues du Foron. Cette thématique

sensible devra également faire l'objet d'une analyse approfondie afin d'identifier les solutions permettant de maintenir les possibilités d'expansion des crues tout en garantissant la sécurité de l'ouvrage. Une rehausse modeste du profil en long est ainsi prévue à ce stade pour empêcher l'écoulement des eaux dans l'ouvrage enterré.

Au terme de l'évaluation des impacts du projet sur les différents aspects de son territoire d'implantation, les **emprises définitives et provisoires sur les sols agricoles**, intégralement inclus en surfaces d'assolement, peuvent être résumées comme suit :

⇒ emprises définitives : 9,3 ha

⇒ emprises provisoires pendant la phase de chantier : 47,0 ha

20.6. Evaluation des effluents, émissions et nuisances induits par le projet

20.6.1. Gestion des eaux

La réalisation du projet va générer des eaux polluées constituées par les eaux de ruissellement et de lavage des tronçons en tunnel et en tranchée couverte et des eaux de ruissellement des tronçons à ciel ouvert, qui devront clairement être attribuées à la classe de pollution élevée en relation avec les charges de trafic estimées.

En fonction du profil en long de l'ouvrage, il est prévu de regrouper ces eaux en 4 ou 5 points du tracé. Les tronçons à ciel ouvert engendreront en outre des débits de pointe très élevés impliquant la mise en œuvre de volumes de rétention importants à l'amont des unités de traitement. Ces ouvrages impliqueront des emprises importantes, non encore intégrées à ce stade du projet, au droit de sites présentant une sensibilité environnementale élevée. La question de la restitution des eaux traitées, qui implique dans la plupart des cas un relevage vers les milieux récepteurs devra également être approfondie, de même que la maîtrise des risques de pollution en cas d'évènements accidentels ou de dysfonctionnements.

Schéma d'évacuation et de traitement des eaux de chaussée

20.6.2. Emissions de polluants atmosphériques

Le projet ne devrait pas engendrer d'augmentation à l'échelle globale et aura un effet positif sur le périmètre du centre ville actuellement sujet à un dépassement de la valeur limite fixée par l'OPair pour les dioxydes d'azote. Du fait de la réalisation majoritairement en tunnel et tranchée couverte, le projet va cependant concentrer les émissions de polluants en 3 ou 4 points constitués par les sorties des tronçons enterrés.

Les longueurs indicatives des tronçons enterrés dont l'air vicié sera extrait aux points mentionnés permet une estimation préliminaire des émissions de NO_2 rejetées:

	Vengeron *: 2,2 km de tunnel	Rouelbeau : 3,1 km de tunnel	Puplinge 3,0 km de tunnel	Vallard : 1,6 km de tunnel
Emissions de NO_x en t/an	18,0	26,5	16,4	4,8

**. Vengeron (uniquement en cas de réalisation de la traversée du lac en tunnel)*

Ces émissions importantes sont de nature à engendrer des dépassements ponctuels de la valeur limite d'émission fixée par l'OPair au droit des portails concernés. Cette question devra être approfondie dans le cadre de la concrétisation du projet afin d'aboutir à des situations conformes.

20.6.3. Nuisances sonores

Les nuisances sonores générées par la route projetée seront globalement limitées du fait de l'important linéaire réalisé en souterrain. La maîtrise des nuisances devra néanmoins faire l'objet d'une attention particulière au niveau des tronçons à ciel ouvert et des portails d'entrée aux tronçons enterrés. Une conception adéquate et des ouvrages de protection intégrés sur le plan paysager sont à prévoir.

Les nuisances induites au droit des 2 accrochages du Vengeron et de Sous-Moulin/Vallard, dont le périmètre d'influence présente une densité relativement élevée de récepteurs sensibles devront faire l'objet d'une analyse approfondie.

Les jonctions de Rouelbeau et de Puplinge présentent une sensibilité au bruit légèrement moindre et une configuration enterrée permettant la limitation de la propagation du bruit et facilitant la mise en œuvre de mesures de protection complémentaires en cas de nécessité.

Les augmentations de trafic attendues sur le réseau existant à proximité des échangeurs du Vengeron, Rouelbeau, Puplinge et Vallard, sont également de nature à engendrer des augmentations perceptibles des émissions de bruit dont la conformité avec les dispositions de l'OPB devra être vérifiée à un stade ultérieur.

Par ailleurs, l'impact des adaptations et compléments au réseau routier qui seront nécessaires à proximité des échangeurs de Rouelbeau et de Puplinge, non définies à ce stade, devra également être considéré à un stade ultérieur pour l'ensemble des domaines de l'environnement concernés.

20.6.4. Accidents majeurs

La route projetée sera soumise aux dispositions de l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs. Les dispositions adéquates permettant de maîtriser les effets de différents scénarios d'accidents et de dysfonctionnements sur la population et l'environnement devront être précisées à un stade ultérieur.

Compte tenu du contexte d'implantation du projet, la protection des eaux de surface et des zones naturelles protégées devra notamment faire l'objet d'une attention particulière.

20.7. Effets liés à la phase d'exécution du projet

La phase de réalisation totale du projet devrait se dérouler sur une durée prévisionnelle globale d'environ 8 ans au maximum, selon les techniques utilisées. Elle va impliquer des emprises importantes au droit de secteurs très sensibles du point de vue environnemental et la gestion de flux considérables de matériaux d'excavation.

Cette phase devra donc faire l'objet d'une attention particulière du point de vue environnemental en tenant compte également des impératifs de reconstitution ou de compensation des milieux touchés (milieux naturels ; aquifères superficiels ; sols agricoles).

Les emprises de chantier, qui présenteront une surface importante (installations de chantier proprement dite ; stockage tampon des matériaux d'excavation et des sols à valoriser) pourraient être implantées au droit des 5 secteurs suivants :

- Vengeron : emprise limitée en raison de la densité des infrastructures existantes et des zones de forêts ;
- Pointe-à-la-Bise : emprise réduite au minimum en raison du secteur particulièrement sensible sur le plan environnemental avec bassin de rétention-traitement pour la récupération des eaux polluées en phase

définitive, la gestion des eaux de chantier et l'aménagement d'une zone de chargement des matériaux dans le cas d'une évacuation par barge ;
- Portail de Rouelbeau : emprise relativement importante dans un secteur particulièrement sensible sur le plan environnemental (zone classée à l'inventaire du patrimoine, proximité immédiate des zones renaturées de la Seymaz, secteur agricole) avec environ 3 ha pour les installations de chantier et les accès ;
- Portail de Puplinge : emprise nécessaire de 15 ha minimum pour la réalisation du tunnel de Thônex avec en plus la réalisation d'un bassin de rétention-traitement pouvant servir dès la phase provisoire à la gestion des eaux de chantier, emprise augmentée de la surface nécessaire pour les installations de chantier du tunnel de Choulex ;

Portail de Vallard : emprise réduite en raison de l'exiguïté de la zone urbaine très dense.

La **gestion des matériaux d'excavation** générés par le projet constitue un enjeu de premier plan du point de vue environnemental.

Après déduction des volumes de déblais dont la valorisation en tant que remblai est déjà intégrée au projet dans sa configuration actuelle, les volumes excédentaires de déblais à gérer sont estimés comme suit pour l'ensemble du projet :
- environ 3,5 millions de m^3 dans le cas d'une traversée du lac en pont
- environ 7,2 millions de m^3 dans le cas d'une traversée du lac en tunnel.

Les flux induits par le projet sont donc considérables. A titre de comparaison, les volumes de déblais générés par le projet CEVA représentent environ 1,2 million de m^3 de matériaux et le volume total de déblai généré sur le canton de Genève en 2007 représentait environ 1,1 million de m^3.

La gestion des volumes de déblais constitue une problématique de plus en plus délicate à gérer à l'échelle de l'ensemble de l'agglomération genevoise du fait de la raréfaction des gravières à remblayer. La gestion durable de cette problématique, conjuguée à la raréfaction des ressources en graviers, implique donc une adaptation des processus de construction afin d'augmenter significativement la part de matériaux d'excavation pouvant être intégrés aux ouvrages de génie civil, le cas échéant après un traitement adéquat. Différents programmes visant à atteindre cet objectifs ont déjà été lancés par la Confédération et la Canton de Genève (p.ex. le projet ECOMAT^{GE}). La valorisation des déblais doit également être envisagée à une échelle territoriale plus large en identifiant des secteurs aptes à recevoir de tels volumes dans le respect des objectifs paysagers, environnementaux et agricoles.

Le potentiel de valorisation est cependant tributaire des caractéristiques intrinsèques des matériaux, qui peuvent être regroupées de manière simplifiée comme suit à l'échelle de l'ensemble du projet pour les 2 variantes considérées :

Type de matériaux	Potentiel de valorisation	Volumes de matériaux d'excavation excédentaires (millions de m^3)	
		Variante Pont	Variante Tunnel
Molasse, moraines limono-argileuses à argileuses, retraits sableux/graveleux, argileux, limono-argileux,	30 à 55 %	3,2	3,0
Vases lacustres	Nul	0,3	4,1
Total à évacuer sans mesures de valorisation particulières		**3,5**	**7,1**

A priori, une valorisation optimale des matériaux pourrait permettre de réduire le volume excédentaire de déblais à évacuer à un peu moins de 2 millions de m^3 dans le cadre de l'option « pont » et à un peu moins de 6 millions de m^3 dans le cade de l'option « tunnel ».

Dans le cadre du présent projet, les vases lacustres, dont un volume d'environ 4 millions de m^3 sera mobilisé par l'option de traversée du lac en tunnel immergé, ne présentent en effet pas de potentiel réel de valorisation. Outre la problématique de mise en suspension de particules fines dans le milieu lacustre déjà évoquée, cet enjeu de gestion des vases lacustres constitue un élément pénalisant pour l'option de traversée lacustre en tunnel.

Une immersion des matériaux dans le lac Léman a été évoquée comme alternative à l'évacuation des matériaux vers des sites de décharge dont la disponibilité à l'horizon de réalisation du projet risque d'être très limitée, cette option est cependant soumise à des bases légales particulièrement contraignantes, notamment l'article 39 de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) qui précise qu'il est interdit d'introduire des substances solides dans les lacs, même si elles ne sont pas de nature à polluer l'eau, l'autorité cantonale pouvant autoriser le remblayage uniquement dans les cas suivants:

- pour des constructions qui ne peuvent être érigées en un autre lieu et qui sont situées dans une zone bâtie, lorsque des intérêts publics prépondérants l'exigent et que l'objectif visé ne peut être atteint autrement.
- s'il permet une amélioration du rivage.

Les remblayages doivent en outre être réalisés le plus naturellement possible en assurant le remplacement de la végétation riveraine détruite.

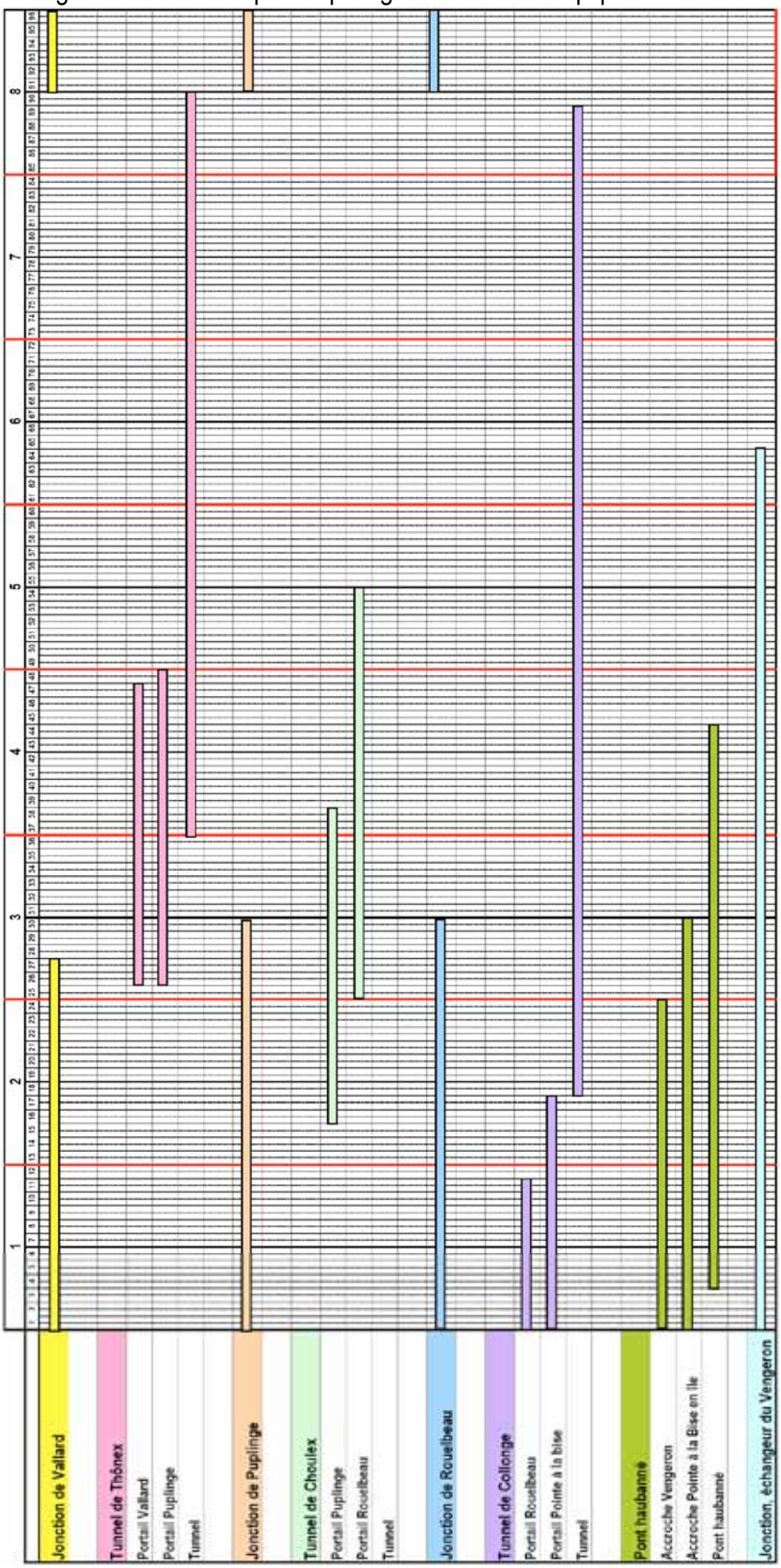
Par ailleurs, au vu des volumes très importants concernés, la possibilité éventuelle d'étendre l'application des conditions d'immersion prévues par les directives relatives à l'immersion de matériaux de dragage de ports et de voies navigables dans les lacs, devra être évaluée sur la base d'une consultation des autorités concernées. Malgré les efforts à déployer en matière de valorisation des volumes excavés, la réalisation du projet va inévitablement engendrer des flux de transports par camions très importants au vu des volumes globaux concernés.

La planification et l'organisation logistique des travaux devront viser une évacuation et un approvisionnement en matériaux à même de limiter les impacts induits. Dans cette optique, les pistes suivantes ont été évoquées à ce stade :

- réalisation anticipée d'un premier tube de tunnel/tranchée couverte afin de l'utiliser pour l'évacuation des déblais en direction de la plate-forme de Vallard raccordée au réseau autoroutier existant ;
- recours au transport par barges lacustres jusqu'à un site de transbordement à définir.

21. PROGRAMME GENERAL DE REALISATION

L'exemple choisi, dont la durée totale est estimée à 8 années, est celui de la construction de la traversée du lac par un pont haubané et variante tunnel de Choulex.
Les contraintes admises, soit la construction des tubes des tunnels les uns après les autres, sont déterminées de manière à réutiliser au maximum les déblais d'excavation ou les évacuer si possible, par le lac.
Les autres solutions constructives envisagées ne modifient pas fondamentalement la durée totale de la construction, sauf en envisageant des travaux par un plus grand nombre d'équipes avec horaires élargis.



22. ESTIMATIF GENERAL DU COUT DE REALISATION

Remarques préliminaires

- L'estimatif général du coût a été établi à partir des devis étudiés par les auteurs des projets par tronçon.
- Les prix de base sont de 2010.
- Un montant pour divers et imprévus de 15% à 20% a été ajouté à chaque ouvrage.

Les hypothèses suivantes ont été admises :

- Les rendements pris en compte pour déterminer l'avancement des travaux de percement des tunnels tiennent compte d'une durée de travail de 70 heures /semaines (2 équipes)
- Possibilité de noyage dans le lac des matériaux de bonne qualité provenant des excavations des tunnels de Collonge et de Choulex. Le transport des déblais se fait par un ruban transporteur jusqu'au quai de chargement provisoire de La Pointe-à-la-Bise. Des barges transporteront les matériaux aux lieux de noyage indiqués par les autorités compétentes.
  Cette solution de noyage n'est pour l'heure pas acceptée et devra encore faire l'objet d'études et surtout d'autorisations (probablement avec dérogation aux lois et règlements en vigueur);
- Les terrassements des jonctions de Rouelbeau et de Puplinge seront réalisées avant le percement du tube nord du tunnel de Collonge. Par conséquent, les matériaux d'excavation devront être évacués par voies terrestres.
- Les déblais du tunnel de Thônex et de la jonction de Vallard seront évacués par voie terrestre.
- Sous réserve des autorisations, la vase provenant des terrassements du pont, sera pompée et évacuée dans le lac. Les autres matériaux seront évacués par voie terrestre.
- Les coûts des mesures d'accompagnement qui seront demandées dans le cadre du projet, aussi bien pour les questions de trafic, qu'environnementales, ne sont pas inclus dans les montants donnés ci-après.

22.1. Variantes présentées

La synthèse des études ne récapitule que les estimations de 3 variantes constructives, à savoir :

- Variante avec tunnel de Choulex et pont haubané sur le lac
- Variante avec tunnel de Choulex et tunnel immergé dans le lac
- Variante avec tranchées de la Seymaz et pont haubané sur le lac

22.2. Tunnel de Choulex - Pont haubané / Récapitulation générale

Etudes préliminaires	
Terrain	
Acquisitions de terrains	**pm**
Frais de notaire	**pm**
Indemnisations, servitudes	**pm**
Total Terrain	**pm**

Travaux préparatoires	
Etudes géotechniques	**300'000**
Sondages géotechniques	**1'700'000**
Etudes des eaux souterraines	**500'000**
Etude hydrodynamique	**1'000'000**
Essais de battage	**1'000'000**
Adaptation du réseau de conduites existant	**9'000'000**
Adaptation des voies de circulation existantes	**13'000'000**
Total Travaux préparatoires	**26'500'000**
Total Etudes préliminaires	**26'500'000**

Travaux de construction, y compris imprévus et divers	
Jonction de Vallard	**46'935'000**
Tunnel de Thônex	**491'372'000**
Jonction de Puplinge	**175'967'250**
Tunnel de Choulex	**471'167'650**
Jonction de Rouelbeau	**165'065'250**
Tunnel de Collonge	**292'888'900**
Pont Haubané courbe	**603'651'000**
Jonction et échangeur du Vengeron	**333'755'000**
Total Travaux de construction HT	**2'580'802'050**

Honoraires	
Architecte	**3'000'000**
Ingénieur civil	**217'322'000**
Ingénieur en circulation	**2'000'000**
Ingénieur en environnement	**2'500'000**
Ingénieur géomètre	**4'000'000**
Géologue, géotechnicien	**8'000'000**
Ingénieur sécurité	**2'000'000**
Ingénieur électromécanicien	**14'051'000**
Total Honoraires	**252'873'000**

Frais secondaires	
Frais de concours	**pm**
Autorisations, taxes	**pm**
Informations, promotions, relations publiques	**5'000'000**
Assurances	**pm**
Autres frais secondaires	**pm**
Provisions et réserves	**pm**
Total Frais secondaires	**5'000'000**

Total général HT		**2'865'175'050**
TVA	**7.60%**	**217'753'304**
TOTAL GENERAL TTC		**3'082'928'354**

22.3. Tunnel de Choulex - Tunnel immergé / Récapitulation générale

Etudes préliminaires	
Terrain	
Acquisitions de terrains	**pm**
Frais de notaire	**pm**
Indemnisations, servitudes	**pm**
Total Terrain	**pm**

Travaux préparatoires	
Etudes géotechniques	**300'000**
Sondages géotechniques	**1'700'000**
Etudes des eaux souterraines	**500'000**
Etude hydrodynamique	**1'000'000**
Essais de battage	**1'000'000**
Adaptation du réseau de conduites existant	**9'000'000**
Adaptation des voies de circulation existantes	**13'000'000**
Total Travaux préparatoires	**26'500'000**
Total Etudes préliminaires	**26'500'000**

Travaux de construction, y compris imprévus et divers	
Jonction de Vallard	**46'935'000**
Tunnel de Thônex	**491'372'000**
Jonction de Puplinge	**175'967'250**
Tunnel de Choulex	**471'167'650**
Jonction de Rouelbeau	**165'065'250**
Tunnel immergé et tunnel de Collonge	**1'416'800'000**
Jonction et échangeur du Vengeron	**333'755'000**
Total Travaux de construction HT	**3'101'062'150**

Honoraires	
Architecte	**3'000'000**
Ingénieur civil	**231'133'000**
Ingénieur en circulation	**2'000'000**
Ingénieur en environnement	**2'500'000**
Ingénieur géomètre	**4'000'000**
Géologue, géotechnicien	**8'000'000**
Ingénieur sécurité	**2'000'000**
Ingénieur électromécanicien	**11'062'000**
Total Honoraires	**263'695'000**

Frais secondaires	
Frais de concours	**pm**
Autorisations, taxes	**pm**
Informations, promotions, relations publiques	**5'000'000**
Assurances	**pm**
Autres frais secondaires	**pm**
Provisions et réserves	**pm**
Total Frais secondaires	**5'000'000**

Total général HT		**3'396'257'150**
TVA	**7.60%**	**258'115'543**
TOTAL GENERAL TTC		**3'654'372'693**

22.4. Tranchée Seymaz - Pont haubané / Récapitulation générale

Etudes préliminaires	
Terrain	
Acquisitions de terrains	**pm**
Frais de notaire	**pm**
Indemnisations, servitudes	**pm**
Total Terrain	**pm**

Travaux préparatoires	
Etudes géotechniques	**300'000**
Sondages géotechniques	**1'700'000**
Etudes des eaux souterraines	**500'000**
Etude hydrodynamique	**1'000'000**
Essais de battage	**1'000'000**
Adaptation du réseau de conduites existant	**9'000'000**
Adaptation des voies de circulation existantes	**13'000'000**
Total Travaux préparatoires	**26'500'000**
Total Etudes préliminaires	**26'500'000**

Travaux de construction, y compris imprévus et divers	
Jonction de Vallard	**46'935'000**
Tunnel de Thônex	**491'372'000**
Jonction de Puplinge	**175'967'250**
Tranchée couverte de la plaine de la Seymaz	**337'300'000**
Jonction de Rouelbeau	**165'065'250**
Tunnel de Collonge	**292'888'900**
Pont Haubané courbe	**603'651'000**
Jonction et échangeur du Vengeron	**333'755'000**
Total Travaux de construction HT	**2'446'934'400**

Honoraires	
Architecte	**3'000'000**
Ingénieur civil	**206'184'000**
Ingénieur en circulation	**2'000'000**
Ingénieur en environnement	**2'500'000**
Ingénieur géomètre	**4'000'000**
Géologue, géotechnicien	**8'000'000**
Ingénieur sécurité	**2'000'000**
Ingénieur électromécanicien	**9'989'000**
Total Honoraires	**237'673'000**

Frais secondaires	
Frais de concours	**pm**
Autorisations, taxes	**pm**
Informations, promotions, relations publiques	**5'000'000**
Assurances	**pm**
Autres frais secondaires	**pm**
Provisions et réserves	**pm**
Total Frais secondaires	**5'000'000**

Total général HT		**2'716'107'400**
TVA	**7.60%**	**206'424'162**
TOTAL GENERAL TTC		**2'922'531'562**

23. FINANCEMENT DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES; MODE TRADITIONNEL OU PAR PPP

23.1. Introduction

Au-delà des questions constitutionnelles et de politique fédérale en matière de financement des infrastructures routières, sujet largement débattu aux Conseil fédéral et aux Chambres fédérales, l'étude cantonale a voulu aborder l'aspect financier du projet, non seulement du point de vue coût de réalisation mais aussi en imaginant un financement par une solution en PPP (partenariat public privé).

23.2. Au niveau fédéral

Les dernières propositions du Conseil fédéral en matière de financement des infrastructures routières (20.01.11) proposent un coût de la vignette autoroutière entre 80.- et 100.- frs, ainsi qu'une hausse de la surtaxe sur les huiles minérales de 7 à 10 cts/litre. La documentation sur ces propositions peut être obtenue sur le site www.uvek.admin.ch.

Au-delà de ces discussions parlementaires sur un financement traditionnel, certains élus politiques posent la question d'un possible financement par PPP. La situation actuelle est bien résumée par la réponse du Conseil fédéral du 01.09.2010 à l'interpellation déposée par M. André Reymond au Conseil national en date du 18.06.2010, textes reproduits ci-après:

10.3568 - Interpellation

PPP pour des infrastructures de transport ferroviaires. Quo vadis?

Texte déposé

Le Conseil fédéral est prié de répondre aux questions suivantes:

1. Quel serait le bilan coûts-avantages (mise à disposition rapide de capitaux sans augmentation importante de la fiscalité et/ou délais plus rapides de réalisation des infrastructures et/ou réduction des coûts de réalisation et/ou exploitation plus efficiente des infrastructures et/ou imputation des risques au secteur privé) de modèles PPP relatifs au financement et à la réalisation d'infrastructures autoroutières sans péage routier (private finance initiative) et/ou d'infrastructures ferroviaires, par rapport aux modes de financement, de réalisation et d'exploitation des infrastructures autoroutières et/ou ferroviaires en vigueur, qui relèvent de la responsabilité quasi exclusive de la Confédération?

2. Le Conseil fédéral a-t-il entrepris ou compte-t-il entreprendre des études à ce propos et, si oui, quand ces études seront-elles publiées?

3. Le Conseil fédéral est-il prêt à laisser une chance à un PPP dans le domaine des infrastructures ferroviaires (train à suspension magnétique Swiss Rapide Express), étant notamment entendu que la Constitution fédérale interdit globalement les péages routiers mais pas les péages ferroviaires? Et, si non, pour quelles raisons objectives compte tenu de l'exemple réussi du Maglev à Shanghai, entre l'aéroport et la partie orientale de la ville?

Développement

Les médias (romands) se sont récemment fait l'écho des avantages de modèles de Public Private Partnership (PPP) relatifs au financement et à la réalisation d'infrastructures de transport (ferroviaires). Il s'agit de savoir si le bilan coûts-avantages de tels modèles l'emporterait sur celui des modes de financement, de réalisation et d'exploitation des infrastructures autoroutières et/ou ferroviaires en vigueur, notamment dans le domaine ferroviaire. En effet, les PPP qui reposent sur un péage routier sont globalement interdits du fait de l'article 82 alinéa 3 de la Constitution fédérale.

Réponse du Conseil fédéral du 01.09.2010

1. Le Conseil fédéral cautionne la possibilité de constituer des partenariats publics-privés (PPP) et il collabore à cet effet très étroitement avec le secteur privé. Une orientation sur les processus de prestations et sur la durée de vie, une répartition optimale des risques, de même que l'allocation spécifique des ressources et la dynamique d'innovation du secteur privé permettraient aux PPP de contribuer à un engagement des deniers publics plus efficient et plus efficace. L'article 52a de l'ordonnance du 5 avril 2006 sur les finances de la Confédération (RS 611.01) invite par voie légale les unités administratives à examiner, lors de l'accomplissement de leurs tâches, s'il y a lieu de collaborer à plus long terme sur une base contractuelle avec des partenaires privés. L'Administration fédérale des finances (AFF) a promulgué une directive qui régit le traitement de projets PPP au sein de l'administration fédérale. Cette directive explique qu'un projet ne peut se dérouler sous la forme d'un PPP que s'il permet d'obtenir une utilisation rationnelle des fonds (rapport coûts-efficacité).

C'est avant tout dans les domaines des bâtiments administratifs, de l'informatique, de la culture et de l'armée que le Conseil fédéral envisage des PPP. Dans le secteur de l'infrastructure des transports, les applications de PPP s'avèrent plus difficiles pour la Confédération.

Conformément au voeu du Parlement, le Conseil fédéral a, dans le cadre du projet Rail 2030 (vu l'art. 10 al. 6 loi du 20 mars 2009 sur le développement de l'infrastructure ferroviaire; RS 742.140.2), chargé l'Office fédéral des transports (OFT) d'étudier le PPP comme variante de financement des projets d'infrastructure planifiés.

Dans le secteur du financement des routes, le déploiement de solutions PPP est entravé par l'article 82 alinéa 3 de la Constitution (RS 101). Le Conseil fédéral estime donc qu'il n'y a pas lieu, pour l'heure, d'abandonner les mécanismes de financement en vigueur.

2. En principe, il existe déjà de nombreuses études sur le thème du PPP. Ainsi, la Confédération a fait examiner en 2001 l'opportunité d'une option PPP pour le contournement de Rapperswil/SG, pour l'équipement de technique ferroviaire du tunnel du Lötschberg et pour le métro M2 de Lausanne. Une étude qui analysera si la forme PPP est appropriée au financement de projets ferroviaires a été spécialement commandée pour examiner le bien-fondé d'un PPP afin de financer Rail 2030. En plus du calcul de rentabilité des projets d'infrastructure s'inscrivant dans le cadre d'un PPP, cette étude indiquera également les avantages et les inconvénients des conditions-cadre d'une telle option. Les résultats de l'étude, qui sont attendus pour le second semestre 2010, seront intégrés dans le projet Rail 2030. Par ailleurs, la Confédération (via le DDPS) est membre de l'Association PPP Suisse qui contribue au lancement et à la mise en oeuvre de PPP en Suisse, accompagne des projets pilotes et élabore des méthodes standardisées. De plus, la Confédération (représentée par l'OFT et l'AFF) a siégé directement au sein du comité de pilotage du projet Transrun (tunnel ferroviaire entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds) lorsqu'il s'est agi d'examiner une option PPP dans le cadre d'une étude préalable. Le canton de Neuchâtel a conclu de cette dernière qu'un PPP serait plus onéreux qu'un financement traditionnel. Tel est le constat des premières expériences faites à partir de l'examen d'un PPP tangible. Les dernières conclusions de l'étude sur Rail 2030 montrent également que les PPP de financement des grands projets ferroviaires sont entravés par une condition-cadre du chemin de fer, à savoir son caractère intégré et une forte structure en réseau du côté de l'offre.

Au sujet du financement de grands projets d'infrastructure routière, le rapport comprendra des explications sur le PPP relatif au postulat CTT-CE 09.3000, "Assainissement du tunnel routier du Saint-Gothard".

3. Le Conseil fédéral cautionne la possibilité de constituer des partenariats publics-privés dans le but de financer des projets d'infrastructure ferroviaire. Les conclusions de l'étude précitée diront dans quel cadre le PPP se prête à de tels financements.

23.3. Etude cantonale

En complément des interventions de niveau fédéral, il était nécessaire de mener une étude économique pour être fixé sur le financement de l'infrastructure par une PPP. C'est donc dans ce but qu'un mandat a été donné à l'Observatoire Universitaire de la Mobilité (OUM) de l'Université de Genève pour explorer les pistes de financement de la Traversée du lac et esquisser les possibilités en matière de concession avec prélèvement d'un péage.

Extraits du rapport de l'OUM:

23.3.1. Méthodologie

Nos explorations et analyses se sont globalement basées sur trois méthodes complémentaires :

1) Une large revue de la littérature scientifique existante concernant les partenariats publics-privés et les modélisations de systèmes de tarification ;
2) Des prises de contact avec des personnes-ressources pour approfondir certains cas comparables d'infrastructures construites et fonctionnant sur la base de concessions et de contributions financières de la part des usagers ;
3) Des analyses économétriques basées sur le principe la complexification et la calibration progressive de modèles basiques utilisés dans le cadre de système de tarification d'infrastructures routières.

23.3.2. Avantages et inconvénients d'un PPP

Les avantages

En réalité, les avantages et la légitimation de la participation privée se rapporte moins aux tâches et à l'origine des ressources financières qu'à la configuration des responsabilités, des compétences et des prises de décisions dans le processus de planification, de construction ou d'exploitation (Association Mondiale de la Route, 1999).

Face à un projet d'investissement rentable, les pouvoirs publics n'ont, en effet, aucune sorte d'intérêt à céder au secteur privé, le financement, la construction et l'exploitation du projet en question. Les emprunts des collectivités publiques sont par ailleurs moins onéreux car ils représentent moins de risques aux yeux des créanciers que ceux d'entreprises privées. Les avantages du partenariat public privé se situent donc ailleurs.

Les avantages suivants sont généralement mis en avant (Bonnafous, 2002):

– L'investissement privé permet de réserver les recettes du projet pour la rémunération du créancier et de créer par exemple des solutions d'application du principe usager-payeur dans les régions peu accoutumées aux infrastructures à péage (comme c'est le cas à Genève) ;
– L'investissement privé évite aux autorités d'atteindre le plafond institutionnel de l'endettement public (mécanismes de frein à l'endettement) ;
– L'entreprise privée doit chercher la rentabilité par une gestion rigoureuse. Son efficacité relève ainsi de :
  - De salaires distribués parfois moins élevés
  - D'une plus grande flexibilité
  - De la fixation de délais de construction plus serrés qui hâtent le retour sur investissement
  - D'une plus grande capacité à résister à des demandes politiques impliquant des coûts supplémentaires.
– Dans bien des cas, le recours au secteur privé comporte, en outre, l'avantage d'ouvrir des possibilités de réaliser, dans de plus brefs délais, des infrastructures devant répondre à un besoin généralement très fort et, par conséquent, de réduire le coût de l'inaction ou d'une réalisation plus tardive de l'infrastructure. Ce point est d'ailleurs mis en avant dans le cas genevois.

Les inconvénients

Bien entendu, une participation du secteur privé comporte également certains inconvénients. Les principaux points négatifs relevés dans la littérature sont généralement les suivants :

– Des coûts financiers globalement plus élevés car les entreprises privées obtiennent généralement des crédits plus difficilement auprès des créanciers ;
– La procédure de soumission de la part d'une entreprise privée dans le cadre d'un appel d'offres de concessions est longue et coûteuse. Cela exclut fréquemment les partenaires ayant une taille réduite et, par conséquent, fausse la concurrence ;

– Le partenariat public-privé prévoit fréquemment le recouvrement des coûts par le prélèvement d'une redevance directement auprès de l'utilisateur de l'infrastructure. Cela comporte donc le risque d'une levée de bouclier de la part de l'opinion publique.
– Les procédures de résolution des conflits juridiques lorsque les termes du contrat ne sont pas respectés par le partenaire privé sont généralement plus lourdes et donc plus coûteuses que pour les marchés publics classiques ;
– L'éventuelle faillite du partenaire privé constitue un problème potentiellement très dommageable pour la collectivité et l'infrastructure.

23.3.3. La forme de PPP la plus courante : la concession

Différentes formes de montages existent en termes de partenariats public-privé : contrat de services, contrat de gestion, entreprises à capital mixte, etc. En ce qui concerne les infrastructures routières, les formes les plus courantes relèvent généralement de la concession. C'est aussi ces types de partenariats spécifiques qui nous intéressent dans le cas de la Traversée du lac. C'est pourquoi nous nous concentrerons uniquement sur les typologies les concernant.

Le principe de la concession implique que l'Etat concède à une société privée ou d'économie mixte tout ou partie des droits pour financer, concevoir, construire, exploiter avec prélèvement d'un péage une infrastructure de transport, telle qu'un pont ou un tunnel (AIPCR, 1999). Une concession dure généralement de 25 à 50 ans selon les coûts de l'infrastructure en question, le trafic prévu et les recettes pouvant en découler. L'idée est donc que l'investisseur privé recouvre ses coûts grâce au prélèvement d'un péage directement auprès de l'utilisateur ou auprès de l'Etat, dans le cas d'un "péage fictif" (ou *Shadow Toll*).

Les modèles de concession

Construire, Posséder et Exploiter
Ce modèle, abrégé CPE ou "*Build, Own and Operate – BOO"*, prévoit qu'un groupement privé finance et construise l'infrastructure. Il jouit ensuite des droits de propriété. Le groupement exploite l'infrastructure et perçoit les péages pendant une durée illimitée. C'est donc à lui que revient la grande partie des risques inhérents au projet ainsi que la responsabilité de développer, à terme, l'infrastructure comme le prévoit généralement le contrat de concession. Le Pont de l'Ambassadeur qui relie Détroit aux États-Unis et Windsor au Canada a été conçu sur ce modèle de concession.

Construire, Exploiter et Transférer
Ce modèle, dénommé en anglais "*Build, Operate and Transfer – BOT*", est le plus connu et est parfois utilisé pour désigner globalement le principe de concession.

Le groupement privé reçoit une concession lui permettant de financer, de construire et d'exploiter une infrastructure pendant une période limitée (habituellement de 20 à 50 ans). Au terme de cette période, l'infrastructure est transférée à l'organisme public. La période de concession est déterminée par un calcul des capacités de remboursement du capital investi par le groupement privé et d'une marge de profit "raisonnable".

Une fois que l'infrastructure a été transférée à l'Etat, le secteur privé peut louer l'infrastructure à l'Etat dans le cadre d'un contrat de gestion.

Construire, Transférer et Exploiter
La forme de concession "*Build, Transfer and Operate – BTO*" implique que le partenaire privé finance et construise l'infrastructure, mais en transfère la propriété à l'État immédiatement après l'achèvement de la construction. L'Etat accorde ensuite un contrat de gestion à ce même partenaire pendant une période de 20 à 40 ans.

Bien que l'État puisse "posséder" l'infrastructure dès le premier jour de l'exploitation, la société privée en retient souvent la pleine responsabilité financière qui n'est pas transférée à l'État (par exemple, en Californie la SR 91). Ce modèle a été mis en œuvre au Royaume-Uni en se basant sur une initiative privée définissant les règles de la participation du secteur privé.

Concevoir, Construire, Financer et Exploiter
Le modèle "*Design, Build, Finance and Operate –DBFO*" prévoit que l'investisseur soit choisi sur appel d'offres pour construire, posséder et exploiter une infrastructure pour une durée illimitée. Le secteur public rémunère le

propriétaire/exploitant privé sous la forme d'un péage fictif ("*Shadow Toll"*) calculé à partir du nombre de véhicules empruntant l'infrastructure

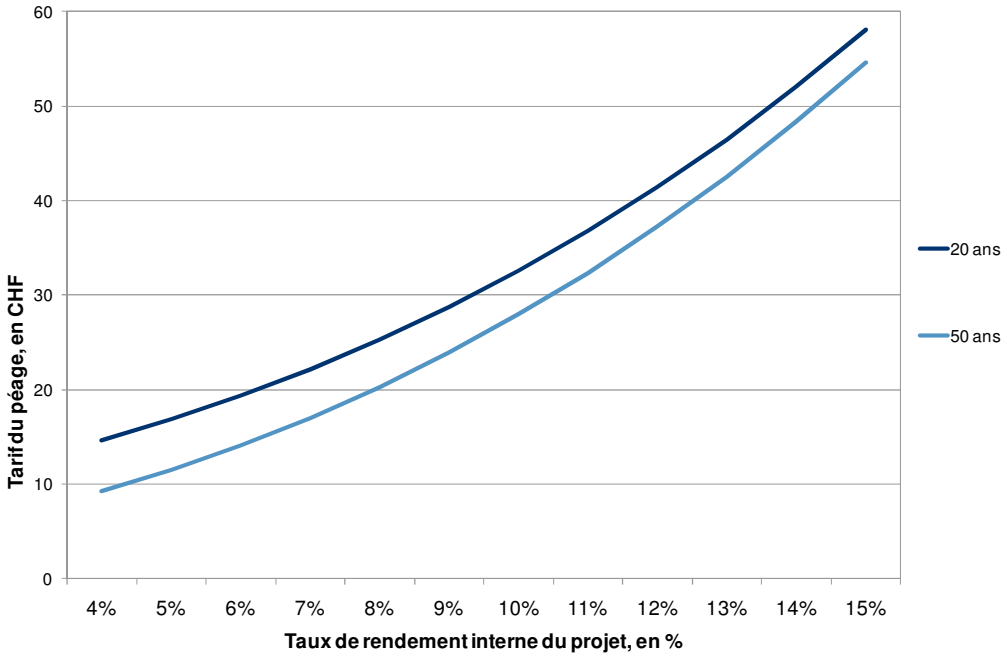
Au final, le choix d'un modèle ou d'un autre provient surtout des caractéristiques du projet et de deux facteurs :

– leur mode de rémunération par les recettes d'exploitation ou par l'administration ;
– le sort des biens construits qui, soit deviennent propriété des collectivités concédantes, soit peuvent demeurer la propriété de l'opérateur privé à la fin du contrat.

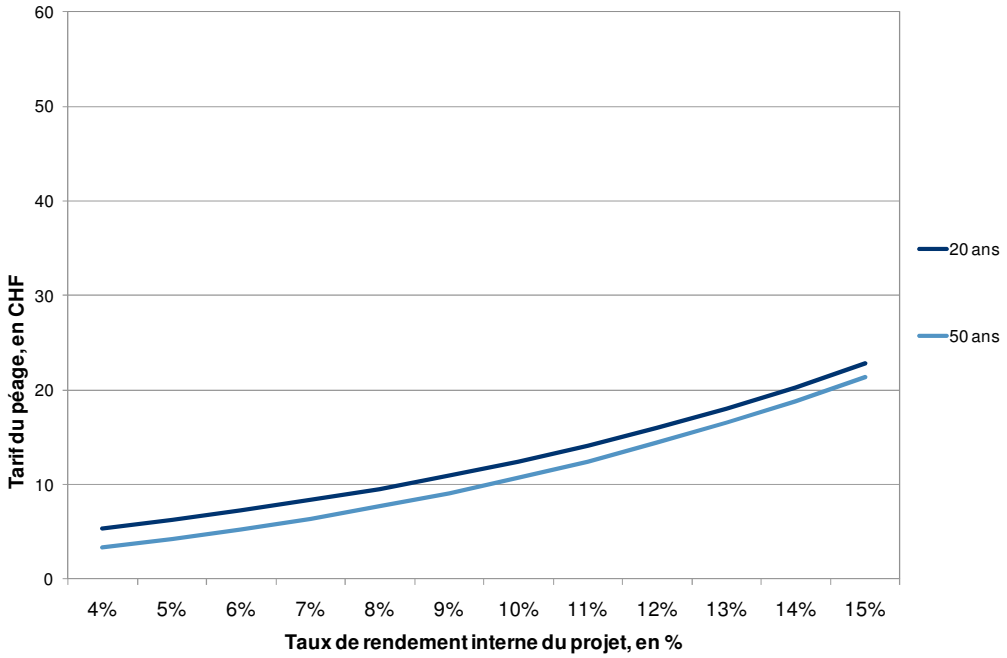
Pour les calculs de l'étude, il a été choisi de prendre le modèle "Construire, Exploiter et Transférer –BOT" comme référence. Le modèle "*Design, Build, Finance and Operate –DBFO"* et le principe d'un péage fictif feront l'objet de calculs présenté dans un rapport final.

23.3.4. Montant du tarif du péage

Montant du tarif du péage en fonction du taux de rendement interne du projet pour une concession fixée à 20 et 50 ans pour l'ensemble du projet



Montant du tarif du péage en fonction du taux de rendement interne du projet pour une concession fixée à 20 et 50 ans pour la traversée du lac, stricto sensu



23.3.5. Autres formes de financement sans péage

Il existe d'autre formes de financements, notamment par des concessions sans péage ou à péage "fictif".

Le principe du péage fictif fait partie de certains modèles précis de concessions, tels que "Concevoir, Construire, Financer et Exploiter - DBFO". Le péage fictif ou "shadow toll" correspond à une gratuité du péage pour l'usager. La puissance publique rémunère l'exploitant en fonction du nombre de passages mensuels ou annuels qui sont généralement estimés ou recensés à travers un système de comptage au sol. Les critères de rémunération prennent également en compte la performance de l'opérateur en termes de fluidité sur l'infrastructure, de pollution ou encore de sécurité.

Cette solution fera l'objet d'un nos modèles de tarification. Dans ce cas, en effet, la demande n'est pas sensible au tarif puisque l'usager n'est pas directement mis à contribution.

23.3.6. Conclusion de l'étude de l'OUM

Au final, nous constatons que le niveau de tarification à appliquer pour la variante du projet de la Traversée du lac retenue dépend de l'objectif visé par cette tarification et de la prise en compte des coûts et avantages externes liés au projet de construction de l'infrastructure.
Dans le cas d'une tarification dont l'unique but serait le remboursement de l'investissement consenti par le partenaire privé à travers la contribution des usagers de l'infrastructure, nous observons par nos résultats que le niveau de tarification obtenu augmente avec l'augmentation du rendement espéré par l'investisseur privé et diminue avec l'augmentation de la durée de concession d'exploitation

Nous obtenons un tarif de péage fixé à 9.24 CHF, pour une concession d'exploitation de 50 ans accordé à un partenaire privé qui souhaite obtenir un rendement de 4% dans l'exploitation de l'infrastructure. Ce tarif tombe à 3.41 CHF si l'investissement ne concerne que la traversée du lac stricto sensu.

Dans le cas d'une tarification dont le but serait la réduction de la congestion autoroutière, et en considérant le niveau de production comme avantage social lié à la mise en œuvre de l'infrastructure, nous constatons une relation négative entre le taux de rendement du système de production et le niveau optimal du péage à appliquer pour l'usage de l'infrastructure. Dans ce cas, compte tenue de l'efficience de notre système de production, le niveau de tarification à appliquer peut varier de 5 à 26 CHF

Pour la suite de notre analyse, il nous reste à envisager le cas d'une tarification à deux objectifs à savoir :
1) l'objectif de décongestion
2) l'objectif de remboursement de l'investissement du partenaire privé.
Ce modèle complexifié, dont les résultats s'inscriront dans la fourchette de 5 à 26 CHF, sera présenté dans le rapport final de l'étude de l'OUM.

23.4. Remarques

- Avant toute recherche plus avancée dans le domaine d'un financement autre que celui existant actuellement, la question devra être réglée au niveau fédéral, du point de vue non seulement politique, mais aussi constitutionnel.
  Pour aboutir, cette démarche devra trouver un consensus auprès du Conseil fédéral, une majorité aux Chambres fédérales de même que devant le Peuple puisqu'il s'agit d'un article de la Constitution.
- Les études sur un financement par PPP et surtout sa mise en œuvre pour le cas de la Traversée du lac et contournement est de Genève ne pourront se faire qu'avec (voire, par) les services de la Confédération du fait du statut de route nationale de cette infrastructure et pour autant que le principe en soit accepté.
- D'autres formes et systèmes de financement peuvent être imaginés pour faire appel au fonds privés, mais devront tout d'abord faire l'objet d'études économiques avancées.
- Dans le cas d'une exception au niveau fédéral pour un péage sur la Traversée du lac, il y aura lieu de tenir compte de la question : Pourquoi les genevois et voisins des genevois devraient-ils payer leur autoroute alors que tout le reste de la Suisse a accès à ces infrastructures gratuitement?

24. REMARQUES ET CONCLUSIONS

En conclusion de cette étude de faisabilité commandée par la loi 10015, les remarques générales suivantes, résument les enseignements accumulés durant ce travail.

- La traversée du lac et le contournement est de Genève sont parfaitement réalisables mais devront encore faire l'objet d'études et surtout de choix techniques, urbanistiques, environnementaux et de mobilité, mais aussi de choix politiques, surtout en ce qui concerne l'urbanisme et les mesures d'accompagnement permettant d'atteindre les buts recherchés.
- Les contraintes de la loi 10015 et les besoins de l'OFROU, ainsi que les normes, les directives et autres règlements ont imposé dans de nombreux cas, de recourir à des compromis et des décisions techniques qui devront être encore étudiés, validés ou modifiés dans la suite des études.
- Les points non résolus ou qui demanderont des études complémentaires suivies, le cas échéant par des choix, sont relevés dans la synthèse des études et dans les dossiers détaillés de chaque élément du projet.
- La traversée du lac et le contournement est de Genève, avec ses mesures d'accompagnement indispensables, répondront aux problèmes de trafic sur le contournement ouest de Genève et désengorgeront le centre ville de sa circulation individuelle pour laisser plus de place aux transports publics et à la mobilité douce.
  Les diminutions de trafic individuel pourraient atteindre 18% sur le contournement ouest, 20% sur l'autoroute française du pied du Salève, 35% sur les quais et 15% au centre ville de Genève.
- Les diminutions de trafic individuel, principalement en milieu urbain, seront pérennisées pour autant que la place libérée soit utilisée pour les transports publics.
  Si la volonté est de diminuer encore plus le trafic, il faudra alors prendre des mesures d'accompagnement plus volontaristes.
- Le projet étudié impliquera un développement urbanistique de la rive gauche qui devra être maîtrisé dans le cadre du projet d'agglomération et du plan directeur cantonal. Ceci, aussi bien pour le développement de logements et de transports que pour celui des activités commerciales et artisanales.
- Le canton de Genève devra définir sa position et ses objectifs par rapport aux études de l'OFROU en ce qui concerne les options futures concernant les routes nationales sur le territoire genevois.
  Il s'agira notamment de confirmer l'option cantonale du projet de traversée du lac et contournement est par rapport à un élargissement de l'autoroute actuelle.
  De plus, les études de variantes devront confirmer l'option proposée d'un raccordement du contournement est sur les autoroutes françaises à Thônex-Vallard ou proposer une autre solution au nord d'Annemasse, avec toutes les contraintes que cela impose (zone agricole, plaine de la Seymaz, plateforme douanière, infrastructures sur France, etc.).

A propos de chaque tronçon ou portion de l'ouvrage étudié, les remarques principales suivantes peuvent être avancées:

- A la jonction de Thônex-Vallard, les questions liées aux propriétés foncières et à la protection de l'environnement n'ont pas pu être toutes réglées.
- La jonction de Puplinge devra être confirmée dans son opportunité, sa position et son aménagement en tenant compte aussi bien des critères environnementaux que des normes routières et des directives de l'OFROU.
- Le choix du tracé sous la colline de Choulex devra être confirmé et validé.
- La jonction de Rouelbeau (ou de La Pallanterie), doit être elle aussi confirmée dans son opportunité, sa position et son aménagement en tenant compte aussi bien des critères environnementaux que des normes routières et des directives de l'OFROU.

  Il apparait, après cette première étude, qu'un déplacement de cette jonction au nord de La Pallanterie, soit plus favorable à l'environnement et au paysage.

- En ce qui concerne la traversée du lac, les premières évaluations relèvent qu'il serait moins aléatoire d'adopter une solution par un pont, plutôt que par un tunnel, option plus favorable pour des aspects environnementaux, les fondations des ouvrages, la sécurité et le coût.
  A relever que l'un des points négatif dans la construction d'un tunnel immergé réside dans le traitement et l'évacuation des millions de mètres cubes de vase et de limon fluant provenant des terrassements imposés par cette solution.

  Une étude multicritères, qui inclura aussi des aspects paysagers et visuels, contribuera au choix entre un pont ou un tunnel.
- Les futures études devront aussi analyser la pertinence des constatations faites à ce jour, en ce qui concerne le trafic entre la jonction de Rouelbeau-La Pallanterie et Le Vengeron, qui selon les scénarios étudiés, nécessiteront la construction d'un ouvrage de traversée du lac avec un profil de 2x3 voies de circulation au lieu des 2x2 voies actuellement envisagées.
- La jonction et l'échangeur du Vengeron ne posent pas de problèmes particuliers si ce n'est que le pont CFF franchissant l'autoroute devra être allongé, ce qui générera un coût élevé compte-tenu du trafic ferroviaire à maintenir en permanence.

25. ETUDE D'OPPORTUNITE ET DE VARIANTES MENEE PAR L'OFROU

- Selon la procédure des Routes nationales (OFROU), les études se déroulent de la manière suivante:

1. Étude de planification avec étude d'impacts 1ère étape, permettant d'évaluer l'opportunité du projet sur la base d'une analyse globale intégrant les 3 dimensions du développement durable.
   Cette étude de planification ou d'opportunité, consistera, dans un premier temps, à évaluer sommairement toutes les variantes possibles, y compris l'option "transports publics", puis par la suite d'analyser plus en détail les 3 ou 4 meilleures variantes choisies afin de définir le tracé à proposer au Conseil fédéral puis aux Chambres fédérales.
2. Présentation aux Chambres fédérales en vue d'une inscription dans l'arrêté sur le réseau des routes nationales.
3. Etude préliminaire qui consiste, en principe, si une étude de planification a été faite au préalable, en sa mise à jour si besoin
4. Procédures d'élaboration et d'approbation du projet, y compris étude d'impact, jusqu'à sa réalisation, comprenant: projet général, projet définitif, projet de détail et projet d'exécution.

25.1. Cahier des charges de l'OFROU pour l'étude d'opportunité

Un résumé du cahier des charges établi par l'OFROU est donnée ci-dessous, à titre de renseignement.

1 DESCRIPTIF DU MANDAT

1.1 Contexte

Le message relatif au programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et à l'allocation des moyens financiers nécessaires a été approuvé par le Conseil fédéral en novembre 2009. Ce message indique un degré de surcharge de niveau II pour le tronçon entre la jonction de Perly et l'échangeur du Vengeron. Cela signifie qu'à l'avenir la capacité de la route nationale sur ce tronçon ne suffira plus à absorber le trafic.

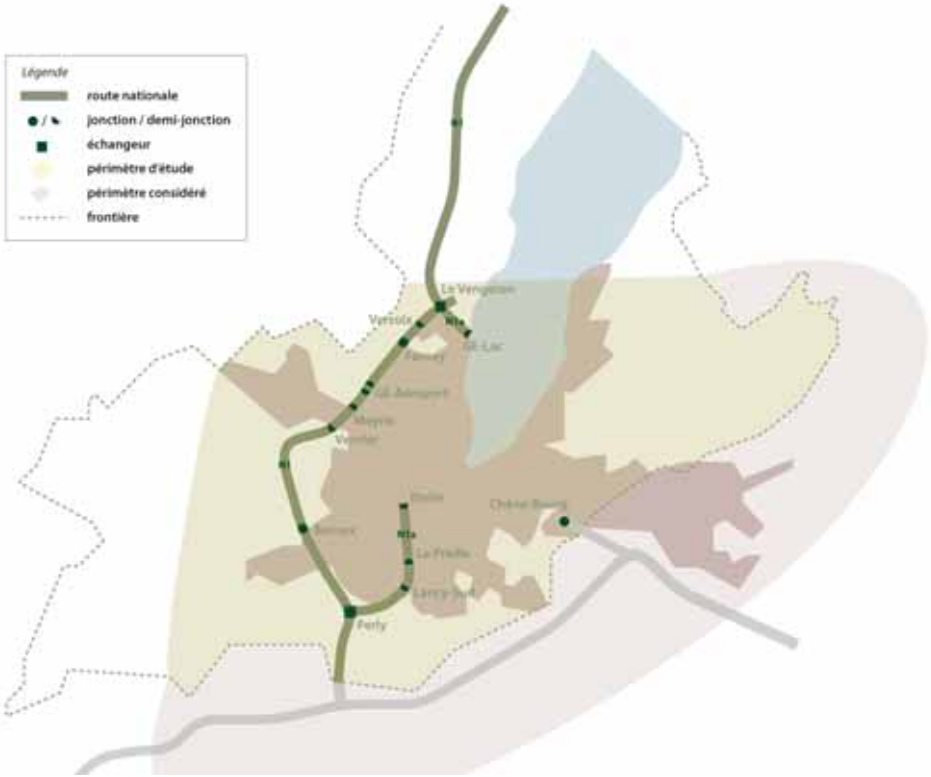
Le canton de Genève, qui privilégie les transports publics et la mobilité douce examine actuellement la faisabilité d'une nouvelle traversée du lac, qui pourrait constituer une solution de remplacement à l'aménagement de la route nationale actuelle. Si elle s'avérait suffisante et si elle offrait une solution appropriée en comparaison nationale, les Chambres fédérales devraient accepter la nouvelle liaison dans le réseau des routes nationales moyennant une adaptation de l'arrêté sur le réseau et assurer en même temps son financement.

Néanmoins, il demeure urgent d'intervenir au niveau du contournement de Genève. C'est pourquoi il est nécessaire de poursuivre la planification d'un éventuel aménagement de la route nationale entre Le Vengeron et Perly (module 3) et de le réexaminer dans le cadre du prochain message concernant le programme.

Il est donc nécessaire d'élaborer une étude d'opportunité que mette en évidence la gravité du problème ainsi que la nécessité d'agir, et qui permette de définir, en examinant toutes les variantes envisageables, la solution optimale. Les résultats de l'étude de faisabilité du canton au sujet d'une nouvelle traversée du lac doivent bien entendu être intégrés dans cette étude d'opportunité.

1.2 Périmètre de l'étude

Le périmètre de l'étude est présenté sur le schéma ci-après. Dans le cadre de l'étude de trafic, les principales routes du réseau secondaire doivent bien entendu également être prises en considération. A noter que les variantes à analyser se limitent aux routes nationales.



1.3 Définition des tâches et objectifs

Le mandat consiste à élaborer une étude d'opportunité à l'intérieur du périmètre présenté au chapitre 1.2. La problématique posée à ce sujet concerne tant les niveaux « étude de planification » que « étude préliminaire », et se base sur les documents suivants :

- Loi et ordonnance sur les routes nationales
- directive " Construction de la chaussée des routes nationales " - 1 Introduction et 2 études préliminaires
- normes VSS n°640 027 et n°640 028
- rapport de recherche SVI n° 389 : étude d'opportunité des projets dans le domaine du trafic routier (Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen)

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

Objectif principal de l'étude d'opportunité :

- Définir, en concertation avec les acteurs concernés, les mesures permettant de garantir durablement la fonctionnalité du réseau des routes nationales dans le périmètre de l'étude.

Objectifs intermédiaires :

- les états de référence sont présentés et analysés, afin de mettre en évidence la nécessité d'agir,
- le spectre de variantes est présenté de manière complète et exhaustive. Sur la base d'une analyse méthodique sommaire, les variantes les plus prometteuses sont ensuite retenues,
- la faisabilité des variantes retenues (du point de vue de la construction, de la technique, du trafic, de l'environnement, etc.) est démontrée,
- une analyse complète des variantes les plus prometteuses est établie. Une proposition concernant la variante optimale est donnée,
- le travail de relations publiques est terminé et les connaissances y relatives sont intégrées aux conclusions,
- une recommandation pour la marche à suivre est faite.

2 DESCRIPTIF DES PRESTATIONS

Les prestations qui doivent être fournies dans le cadre de l'étude sont présentées ci-après. Les indications données ne sont cependant qu'une simple base de travail. Le soumissionnaire doit regarder d'un œil critique le programme de travail présenté et l'élargir ou l'adapter, le cas échéant.

Illustration 2 : aperçu de prestations

Analyse du mandat et définition du contexte

La première phase de l'étude d'opportunité doit en particulier servir à acquérir les connaissances de base nécessaires aux phases suivantes.

- Collecte et évaluation des données
- Définition détaillée de la problématique
- Délimitation du système / définition des conditions cadre et des contraintes
- Evaluation du potentiel d'efficacité des transports publics (TP)
- Modélisation des états de référence
- Analyse des problèmes
- Définition des objectifs et du besoin d'agir
- …

Génération et tri des variantes

Au cours de la présente phase, l'adjudicataire doit générer systématiquement l'ensemble des solutions imaginables. Il s'agit ensuite de faire un premier tri parmi les variantes envisagées, jusqu'à ce qu'il ne reste que les variantes répondant le mieux aux objectifs et les plus prometteuses. Règle de base : plus l'éventail des solutions est important, moins elles sont affinées, et inversement.

- Génération systématique de variantes
- Evaluation sommaire des variantes
- Analyse qualitative et première sélection des variantes
- Modélisation des variantes
- Evaluation globale et deuxième sélection des variantes
- Evaluation et troisième sélection des variantes si nécessaire
- …

Analyse détaillée de l'élargissement de la route actuelle

Dans tous les cas, la faisabilité de l'élargissement de l'autoroute de contournement actuelle doit être analysée de façon détaillée. En effet, avant même de savoir si cette variante doit être poursuivie par la suite, il est nécessaire d'analyser sa faisabilité afin de pouvoir, le cas échéant, poursuivre les études le plus rapidement possible. En effet, si cette variante devait être poursuivie, il est important de pouvoir disposer au plus vite des éléments nécessaires au lancement d'un projet général sur ce secteur.

Traitement détaillé / approfondissement des variantes (3 – 4 variantes)

Dans la présente phase, les variantes restantes doivent être concrétisées jusqu'à pouvoir être soumises, en même temps que les états de référence, à une évaluation permettant de donner des précisions quant à leur faisabilité et à leur fonctionnement.

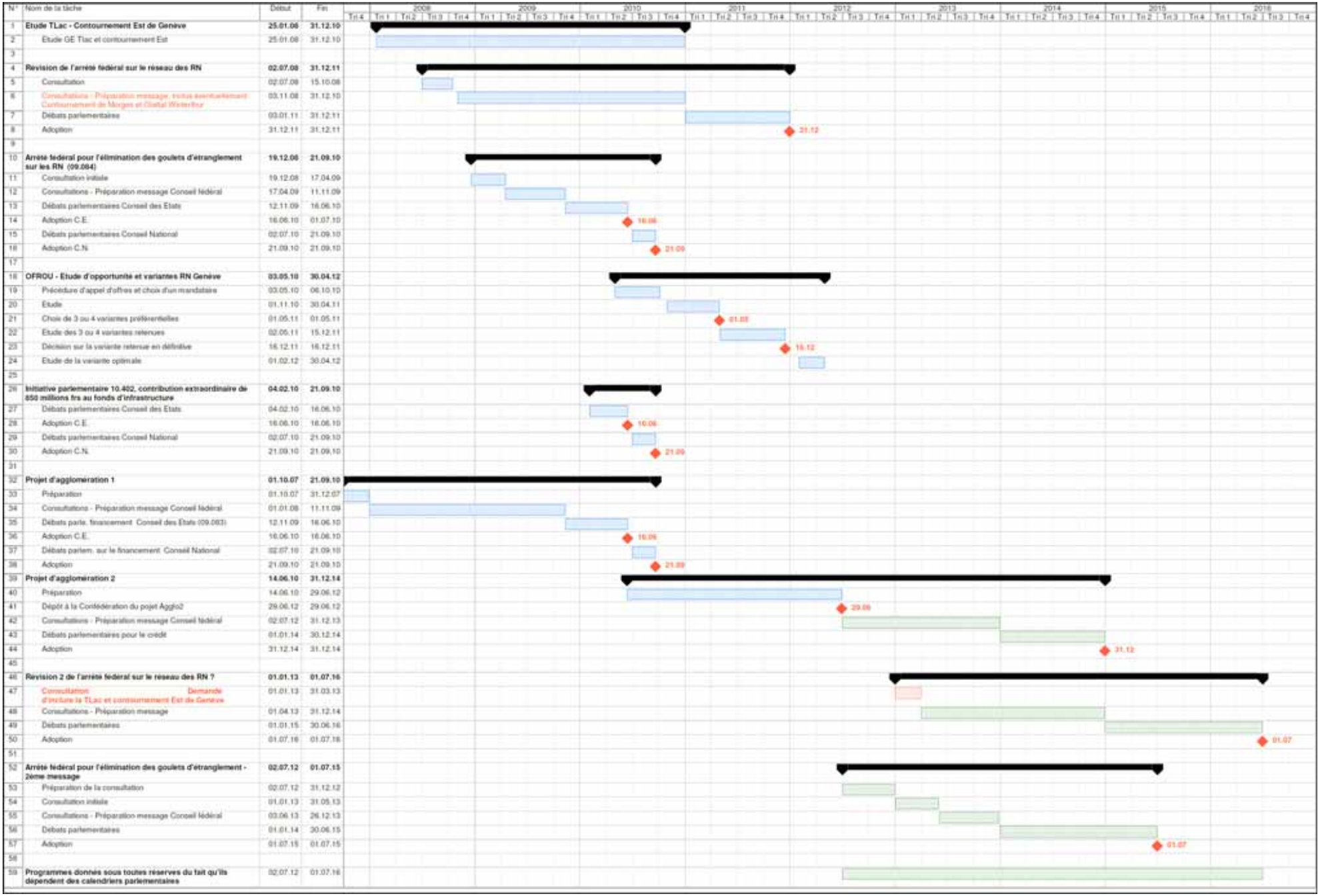
- Etude de faisabilité (notamment des points de vue du trafic, de la technique / de la construction, de l'environnement (EIE Phase 1), etc.)
- Définition des mesures d'accompagnement
- Modélisation / analyse du trafic
- Estimation des coûts
- Mise à disposition des données nécessaires pour l'évaluation
- …

Evaluation des variantes et recommandation de la variante optimale

Après l'étude de faisabilité, l'adjudicataire effectue la comparaison proprement dite des variantes retenues en vue de l'étude de l'opportunité. Ce faisant, il faut avoir recours d'une part à une procédure NISTRA simplifiée et d'autre part à une deuxième méthode d'évaluation à choisir par l'adjudicataire. La comparaison des résultats des deux méthodes permet finalement de définir la variante optimale.

- Définition de la méthode d'évaluation
- Exécution d'une analyse NISTRA réduite
- Exécution d'une deuxième méthode d'évaluation
- Définition de la variante optimale
- …

26. PROGRAMME DES PROCEDURES CANTONALES ET FEDERALES POUR LES ROUTES NATIONALES



N°	Nom de la tâche	Début	Fin
1	**Etude TLac - Contournement Est de Genève**	**25.01.06**	**31.12.10**
2	Etude GE Tlac et contournement Est	25.01.06	31.12.10
3			
4	**Revision de l'arrêté fédéral sur le réseau des RN**	**02.07.08**	**31.12.11**
5	Consultation	02.07.08	15.10.08
6	Consultations - Préparation message, inclus éventuellement Contournement de Morges et Oberi Winterthur	03.11.08	31.12.10
7	Débats parlementaires	03.01.11	31.12.11
8	Adoption	31.12.11	31.12.11
9			
10	**Arrêté fédéral pour l'élimination des goulets d'étranglement sur les RN (09.084)**	**19.12.08**	**21.09.10**
11	Consultation initiale	19.12.08	17.04.09
12	Consultations - Préparation message Conseil fédéral	17.04.09	11.11.09
13	Débats parlementaires Conseil des Etats	12.11.09	16.06.10
14	Adoption C.E.	16.06.10	01.07.10
15	Débats parlementaires Conseil National	02.07.10	21.09.10
16	Adoption C.N.	21.09.10	21.09.10
17			
18	**OFROU - Etude d'opportunité et variantes RN Genève**	**03.05.10**	**30.04.12**
19	Procédure d'appel d'offres et choix d'un mandataire	03.05.10	06.10.10
20	Etude	01.11.10	30.04.11
21	Choix de 3 ou 4 variantes préférentielles	01.05.11	01.05.11
22	Etude des 3 ou 4 variantes retenues	02.05.11	15.12.11
23	Décision sur la variante retenue en définitive	16.12.11	16.12.11
24	Etude de la variante optimale	01.02.12	30.04.12
25			
26	**Initiative parlementaire 10.402, contribution extraordinaire de 850 millions frs au fonds d'infrastructure**	**04.02.10**	**21.09.10**
27	Débats parlementaires Conseil des Etats	04.02.10	16.06.10
28	Adoption C.E.	16.06.10	16.06.10
29	Débats parlementaires Conseil National	02.07.10	21.09.10
30	Adoption C.N.	21.09.10	21.09.10
31			
32	**Projet d'agglomération 1**	**01.10.07**	**21.09.10**
33	Préparation	01.10.07	31.12.07
34	Consultations - Préparation message Conseil fédéral	01.01.08	11.11.09
35	Débats parle. financement Conseil des Etats (09.083)	12.11.09	16.06.10
36	Adoption C.E.	16.06.10	16.06.10
37	Débats parlem. sur le financement Conseil National	02.07.10	21.09.10
38	Adoption	21.09.10	21.09.10
39	**Projet d'agglomération 2**	**14.06.10**	**31.12.14**
40	Préparation	14.06.10	29.06.12
41	Dépôt à la Confédération du pojet Agglo2	29.06.12	29.06.12
42	Consultations - Préparation message Conseil fédéral	02.07.12	31.12.13
43	Débats parlementaires pour le crédit	01.01.14	30.12.14
44	Adoption	31.12.14	31.12.14
45			
46	**Revision 2 de l'arrêté fédéral sur le réseau des RN ?**	**01.01.13**	**01.07.16**
47	Consultation Demande d'inclure le TLac et contournement Est de Genève	01.01.13	31.03.13
48	Consultations - Préparation message	01.04.13	31.12.14
49	Débats parlementaires	01.01.15	30.06.16
50	Adoption	01.07.16	01.07.16
51			
52	**Arrêté fédéral pour l'élimination des goulets d'étranglement - 2ème message**	**02.07.12**	**01.07.15**
53	Préparation de la consultation	02.07.12	31.12.12
54	Consultation initiale	01.01.13	31.05.13
55	Consultations - Préparation message Conseil fédéral	03.06.13	26.12.13
56	Débats parlementaires	01.01.14	30.06.15
57	Adoption	01.07.15	01.07.15
58			
59	**Programmes donnés sous toutes réserves du fait qu'ils dépendent des calendriers parlementaires**	02.07.12	01.07.16

27. ANNEXE 1: LOI 10015

Loi
(10015)

ouvrant un crédit d'étude de 3 500 000 F pour la réalisation d'une traversée lacustre de Genève

Le GRAND CONSEIL de la République et canton de Genève
décrète ce qui suit :

Art. 1 Crédit d'étude

Un crédit d'étude de 3 500 000 F (y compris TVA et renchérissement) est ouvert au Conseil d'Etat en vue de financer l'étude d'un avant-projet pour la construction d'une traversée lacustre à Genève entre le Vengeron (rive droite) et les environs de la Belotte (rive gauche), avec raccordement direct au réseau routier et/ou autoroutier suisse et français.

Art. 2 Budget d'investissement

Ce crédit d'étude est réparti en tranches annuelles inscrites au budget d'investissement dès 2008 sous la rubrique adéquate.

Art. 3 Financement et charges financières

Le financement de ce crédit est assuré, au besoin, par le recours à l'emprunt dans le cadre du volume d'investissements « nets-nets » fixé par le Conseil d'Etat, dont les charges financières, intérêts et amortissement sont à couvrir par l'impôt.

Art. 4 Amortissement

L'amortissement de l'investissement est calculé chaque année sur la valeur d'acquisition (ou initiale) selon la méthode linéaire et est porté au compte de fonctionnement.

Art. 5 Suivi des travaux d'étude

[1] La Commission des transports et la Commission des travaux du Grand Conseil, ainsi que les communes concernées, sont régulièrement informées de l'avancement des études.

[2] Ce crédit doit être engagé dans un délai de trois ans afin de pouvoir disposer de tous les éléments techniques, administratifs et financiers pour finaliser le tracé, le mode de réalisation, le financement de l'ouvrage, et les mesures d'accompagnement.

Art. 6 Fonds d'infrastructure fédéral - Inscription au projet d'agglomération

A l'entrée en vigueur de la présente loi, le Conseil d'Etat inscrit immédiatement la construction de cette traversée au catalogue des infrastructures routières qu'il soumet au Conseil Fédéral dans le cadre du projet d'agglomération, en vue d'obtenir un cofinancement de la Confédération dans le cadre de la première vague de contributions liées au fonds d'infrastructure fédéral pour le trafic d'agglomération, ou l'inscription au projet du réseau des routes nationales.

Art. 7 Loi sur la gestion administrative et financière de l'Etat

La présente loi est soumise aux dispositions de la loi sur la gestion administrative et financière de l'Etat de Genève, du 7 octobre 1993.

Art. 8 Entrée en vigueur

La présente loi entre en vigueur le lendemain de sa promulgation dans la Feuille d'avis officielle.

28. ANNEXE 2: ARRETE FEDERAL "GOULETS D'ETRANGLEMENT" SUR LES ROUTES NATIONALES

09.084

Message relatif au programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et à l'allocation des moyens financiers nécessaires

du 11 novembre 2009

Madame la Présidente,
Monsieur le Président,
Mesdames et Messieurs,

Par le présent message, nous vous soumettons, en vous proposant de l'approuver, l'arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et l'allocation des moyens financiers nécessaires. Le message comporte l'acte législatif suivant:

– Arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et l'allocation des moyens financiers nécessaires

Par la même occasion, nous vous proposons de classer l'intervention parlementaire suivante:

2003	P	02.3236	Plan sectoriel des routes 2004. Elargissement de la N4 dans le canton de Zoug

Nous vous prions d'agréer, Madame la Présidente, Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, l'assurance de notre haute considération.

11 novembre 2009

Au nom du Conseil fédéral suisse:

Le président de la Confédération, Hans-Rudolf Merz
La chancelière de la Confédération, Corina Casanova

Arrêté fédéral concernant le programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et l'allocation des moyens financiers nécessaires

Projet

du …

L'Assemblée fédérale de la Confédération suisse,

vu l'art. 6, al. 2 et 3, de la loi du 6 octobre 2006 sur le fonds d'infrastructure[1],
vu le message du Conseil fédéral du 11 novembre 2009[2],

arrête:

Art. 1

Le programme du Conseil fédéral relatif à l'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales, dont les parties principales sont énoncées ci-dessous, a été soumis à l'Assemblée fédérale:

1. Les projets d'élimination des goulets avérés sont subdivisés en quatre modules, par ordre de priorité, en fonction de leur urgence et de la situation du trafic.
2. Les projets du module 1 seront réalisés, pour autant que les moyens financiers du fonds d'infrastructure soient suffisants.
3. Les projets des modules 2 et 3 seront intégrés dans la planification ultérieure.
4. Les projets du module 4 sont écartés et leur planification ne sera pas poursuivie.

Art. 2

Sur le crédit bloqué pour l'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales (art. 1, al. 2, let. b, de l'arrêté fédéral du 4 octobre 2006 sur le crédit global pour le fonds d'infrastructure[3]), 1235 millions de francs sont alloués pour les projets ci-dessous et la planification de projets ultérieurs (prix 2005, hors renchérissement et TVA):

1 RS **725.13**
2 FF **2009** 7591
3 FF **2007** 8019

Programme d'élimination des goulets d'étranglement du réseau des routes nationales et l'allocation des moyens financiers nécessaires. AF

Goulet d'étranglement (route nationale/canton/projet)	Investissements en millions de francs			
	Somme débloquée	Somme débloquée plus tôt	Somme bloquée	Crédit total
N1/VD/Goulet d'étranglement de Crissier, phase 1	120			
N1c/ZH/élargissement à 6 voies du contournement nord de Zurich	940			
Planification d'autres projets	175			
Deuxième phase des mesures de stabilisation conjoncturelle		300		
Crédit total débloqué	1235	300		
Crédit résiduel bloqué			3965	
Crédit total				5500

Art. 3

Le présent arrêté n'est pas sujet au référendum.