

Traversée du lac, Audition

Gèneve, 15.03.2017

Traversée du lac, Audition | Gèneve, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Présentation



- Marco Ramoni, 20.12.1974
- Dr. sc, ing. civ. dipl. ETH/SIA
- Basler & Hofmann AG: Responsable tunnels, Expert, Chef de projet
- ETH Zurich; Chargé de cours
- ZHAW: Chargé de cours

Traversée du lac, Audition | Gèneve, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Genève – Traversée du lac



Types différentes de tunnels

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Tunnel foré au tunnelier



Tunnel du Weinberg (Ligne diamétrale, Zurich)

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Tunnel creusé

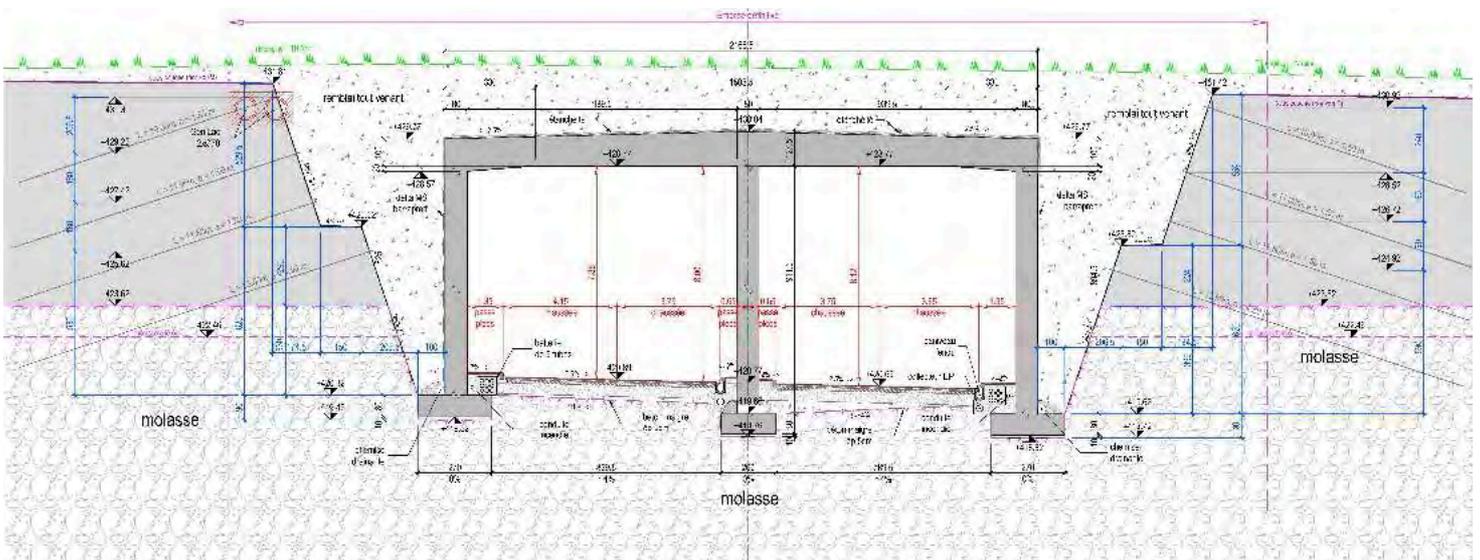


Tunnel du Bözberg

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Tranché couverte



Tunnel des Nations (Route des Nations, Genève)

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Tunnel immergé

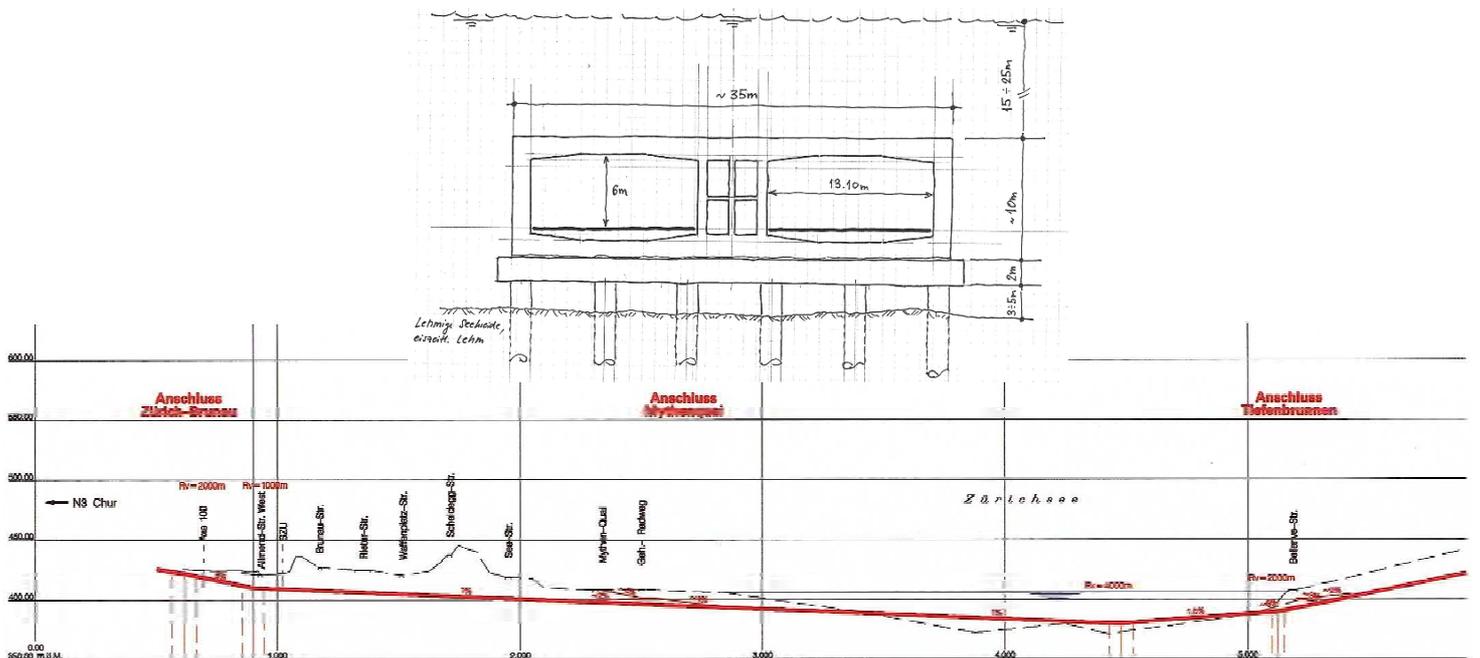


Marmaray Project (Istanbul)

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

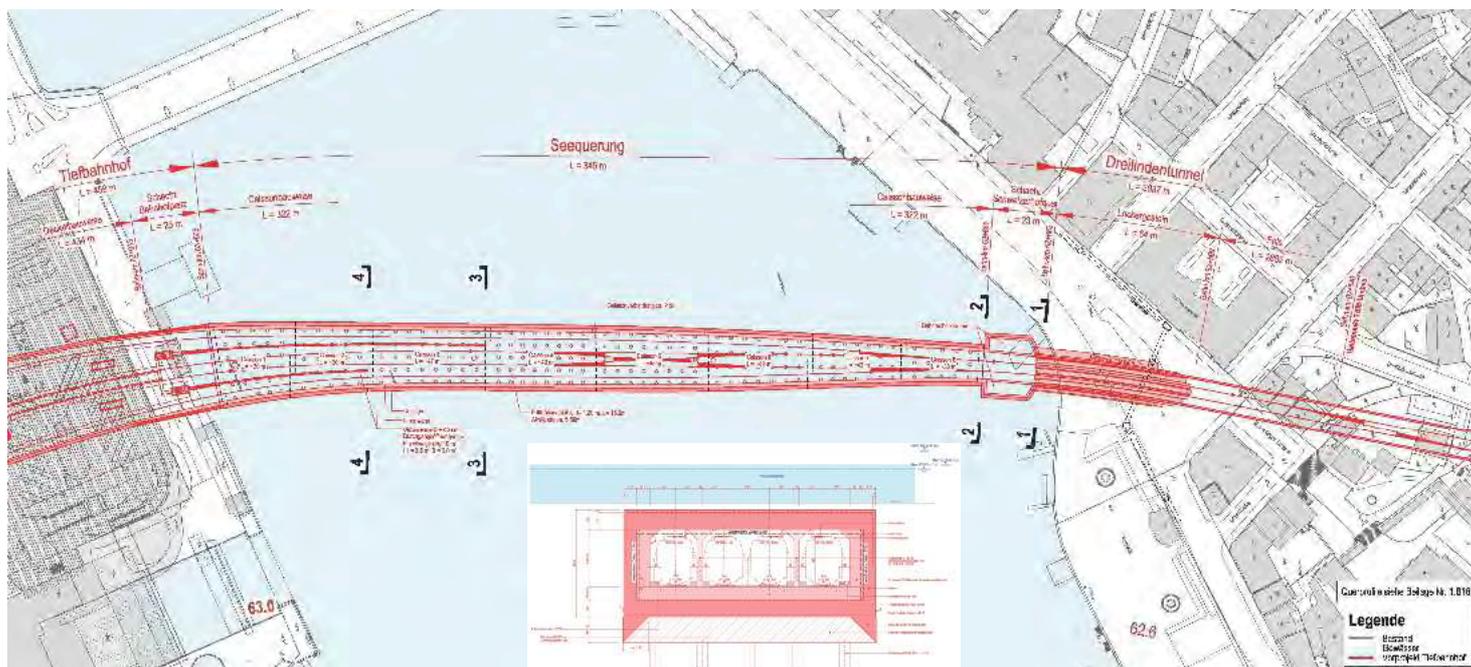
Zurich – Traversée du lac



Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann

Lucerne – Traversée du lac



Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann



Merci de votre attention
Basler & Hofmann AG, Zurich

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann



Questions et réponses

??? ... ???

Traversée du lac, Audition | Genève, 15.03.2017 | RAM

Basler & Hofmann



RÉPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENÈVE

1800 - 1815/1848/1849

LA TRAVERSÉE DU LAC GENÈVE, SUISSE



CALATRAVA INTERNATIONAL
ARCHITECTS & ENGINEERS

© 2014 CALATRAVA INTERNATIONAL. ALL RIGHTS RESERVED

PROJECTES DE RÉFÉRENCE



CALATRAVA INTERNATIONAL
ARCHITECTS & ENGINEERS

© 2014 CALATRAVA INTERNATIONAL. ALL RIGHTS RESERVED



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



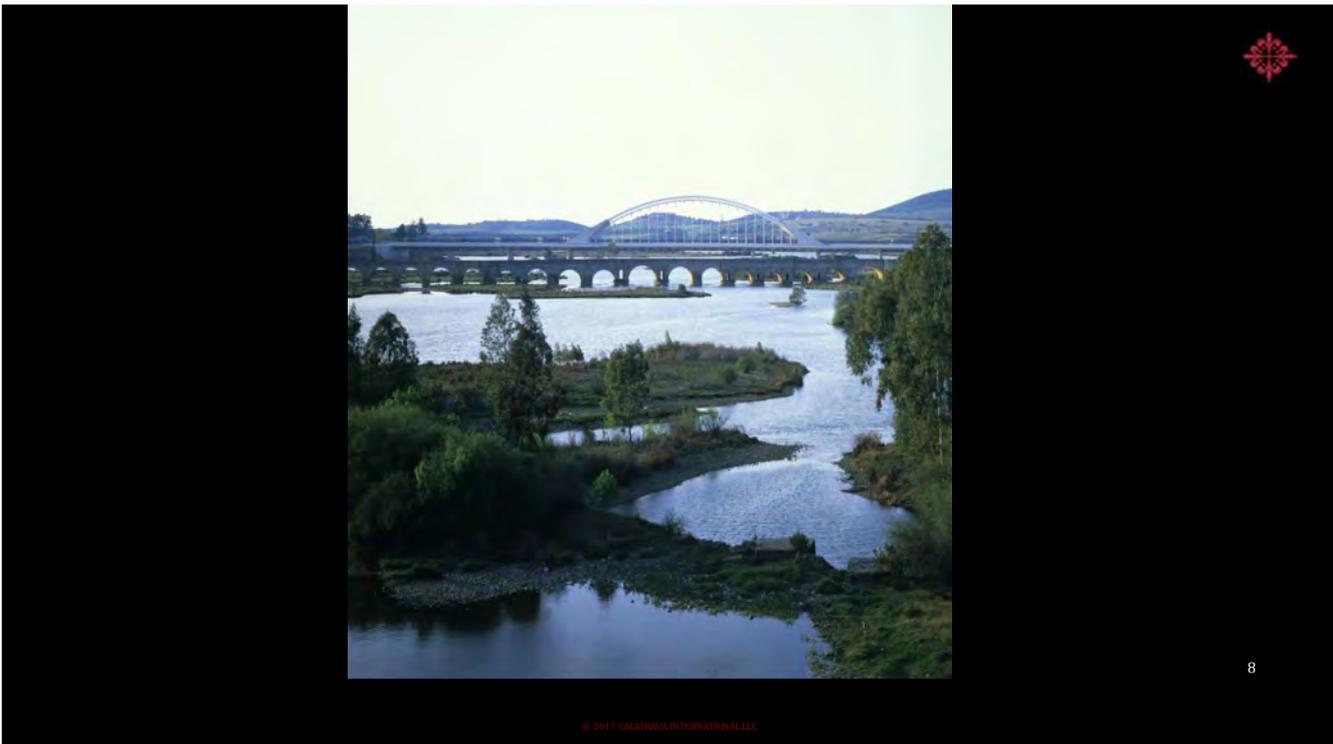
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

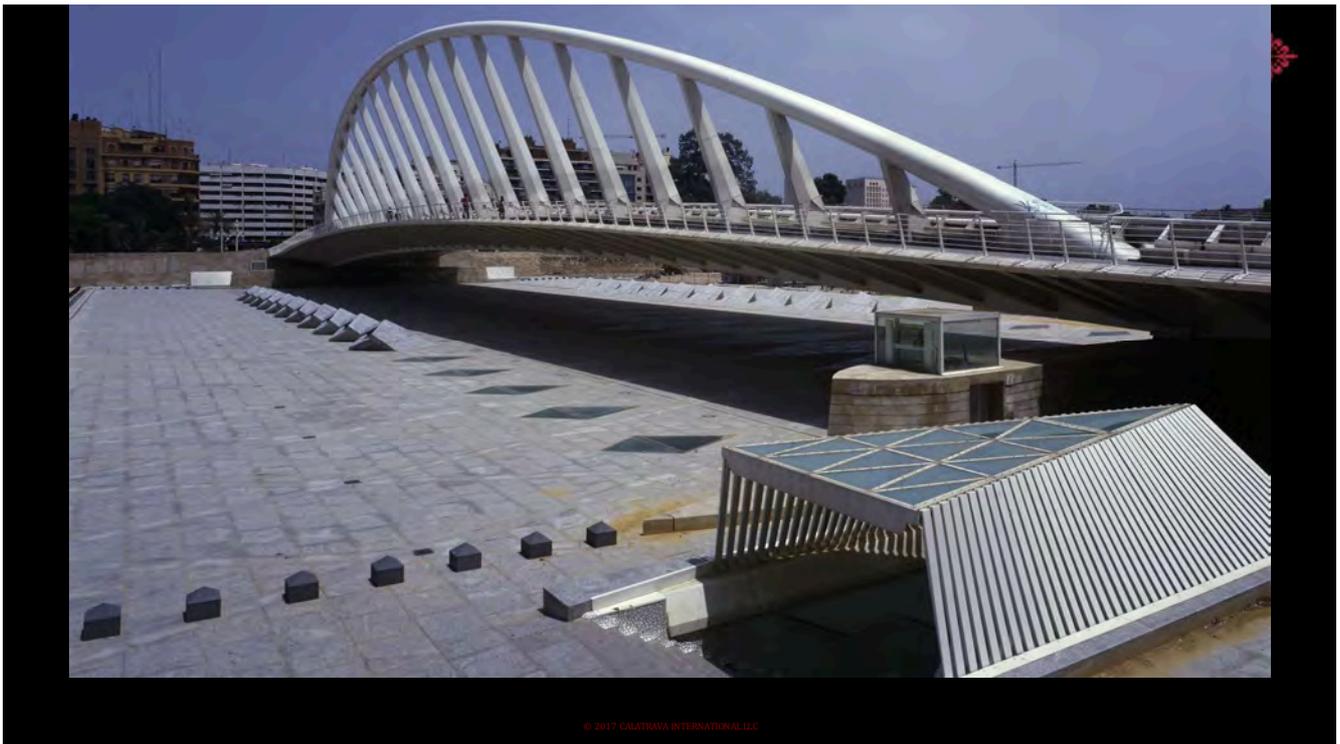


8

© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



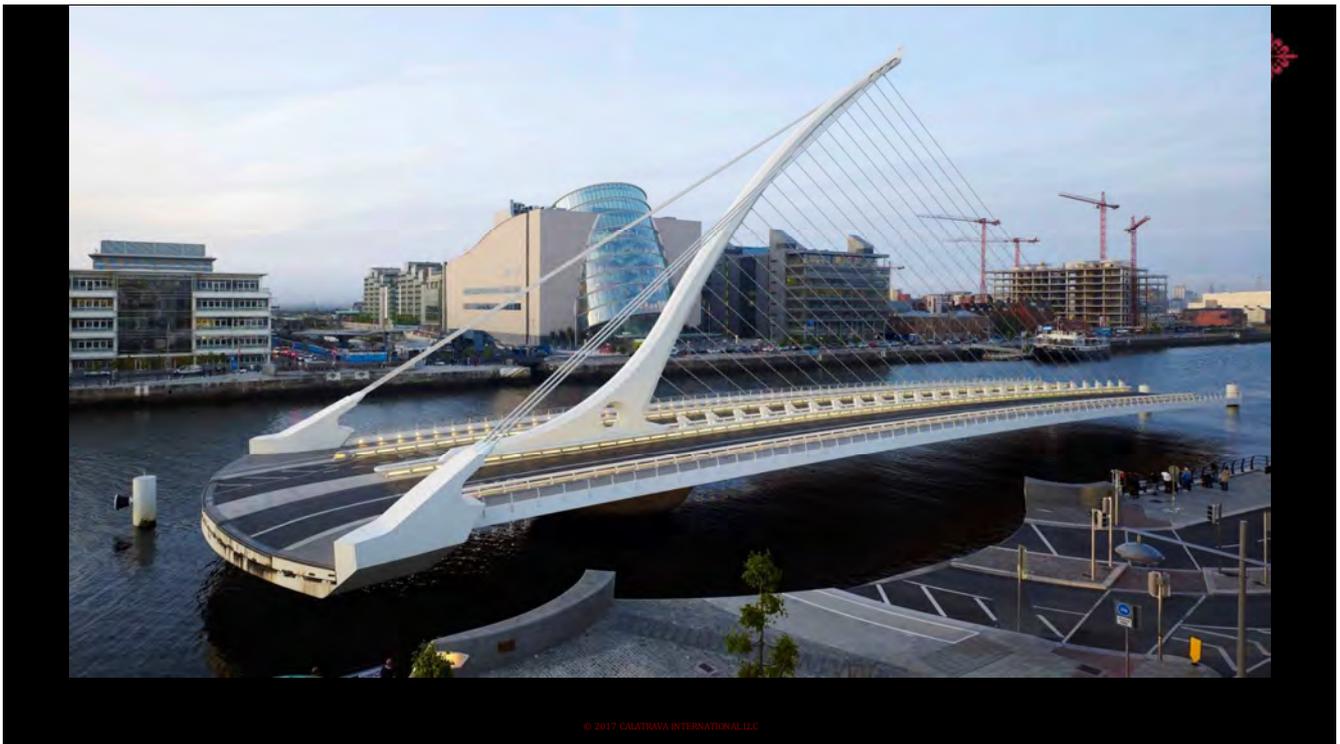
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



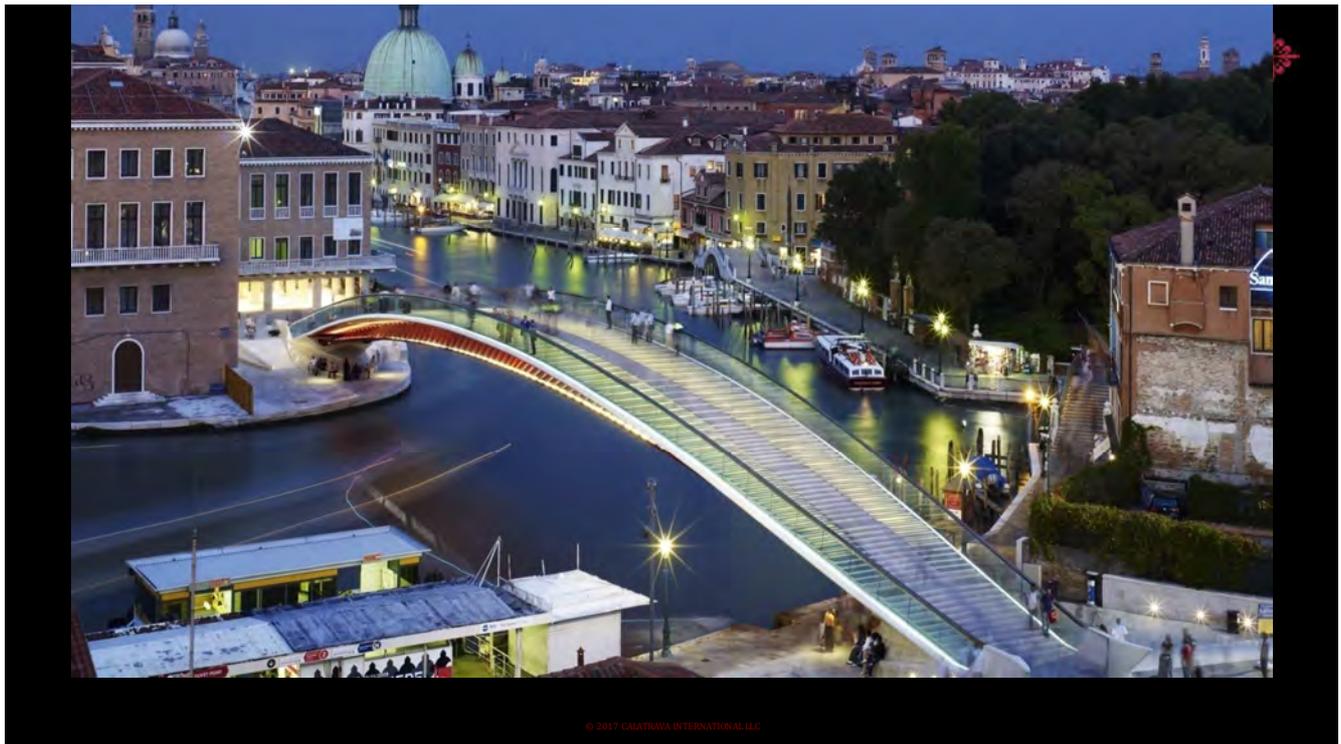
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



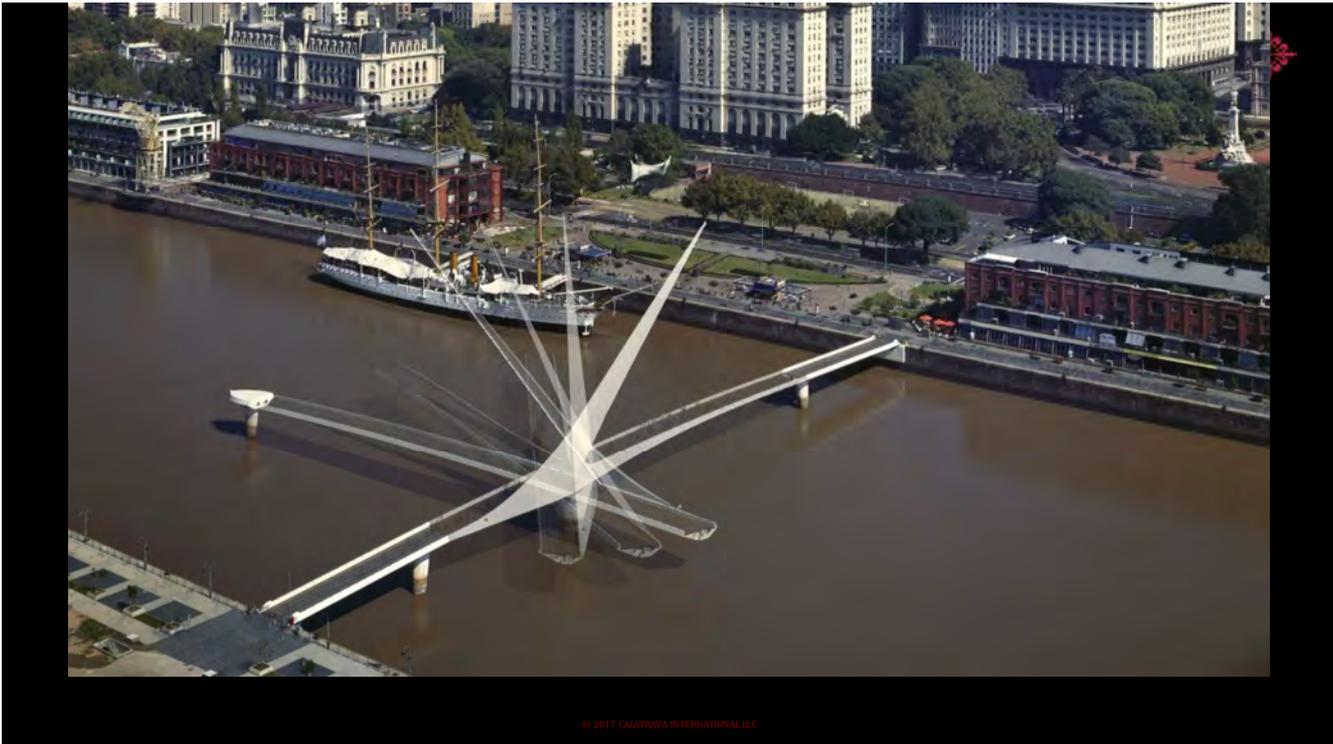
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



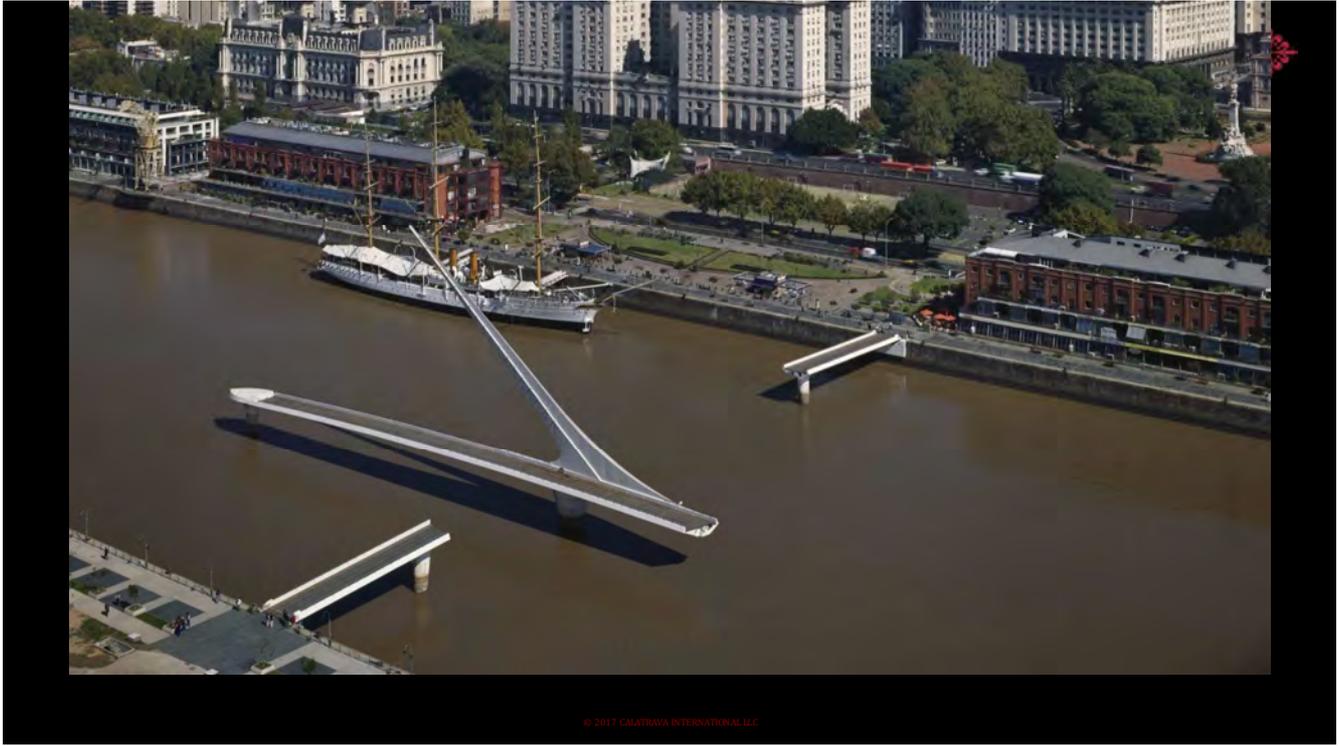
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



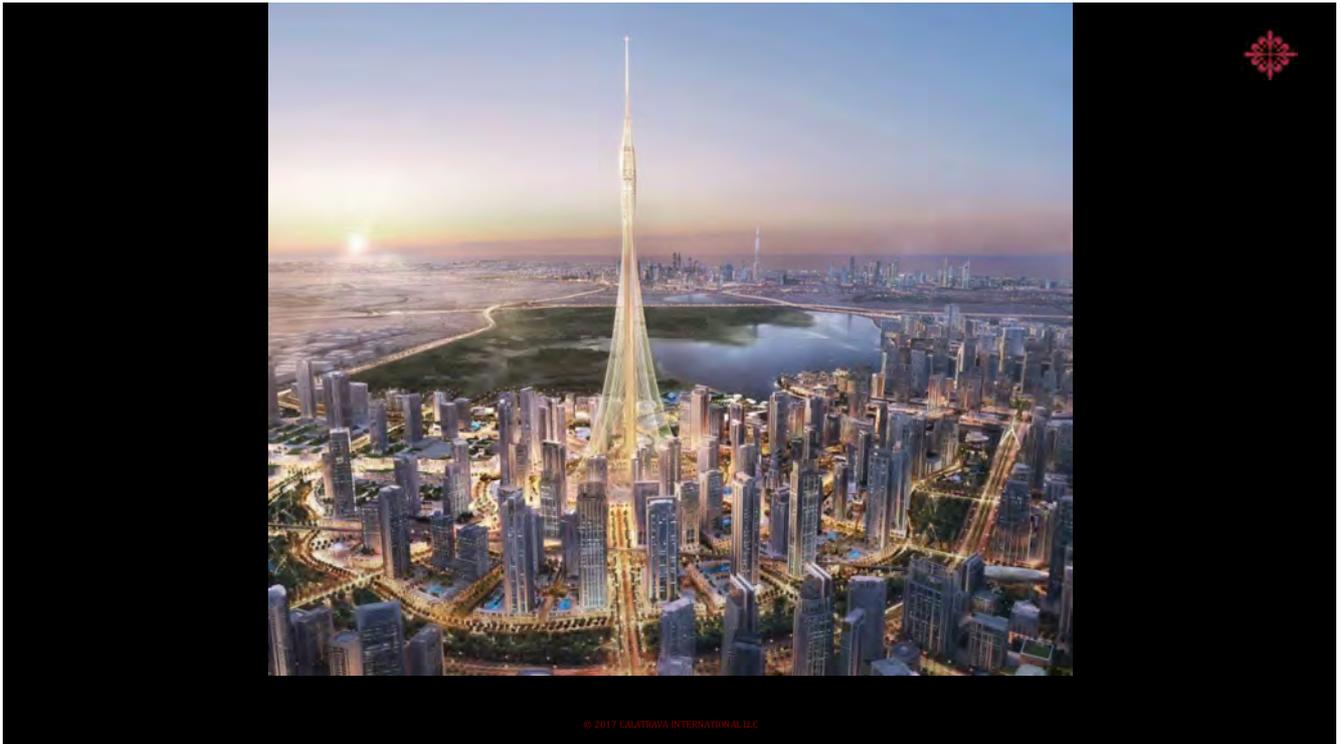
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

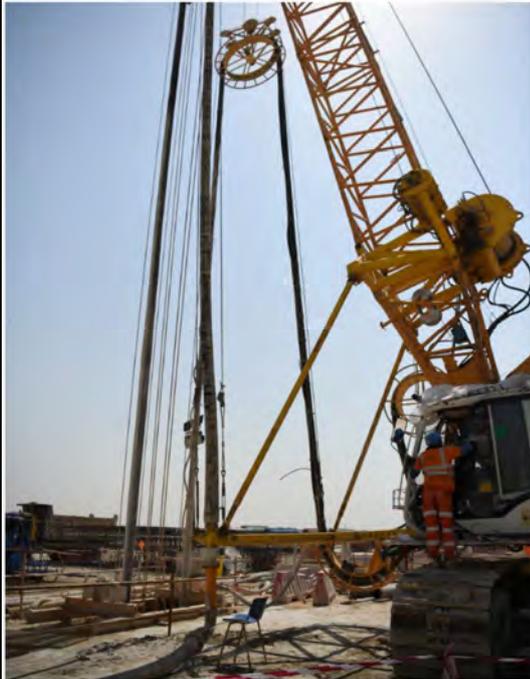


© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

EXCAVATION OF DIAPHRAGM WALL
Ongoing excavation of diaphragm wall panel P9, one of the last 5 panels to be completed.

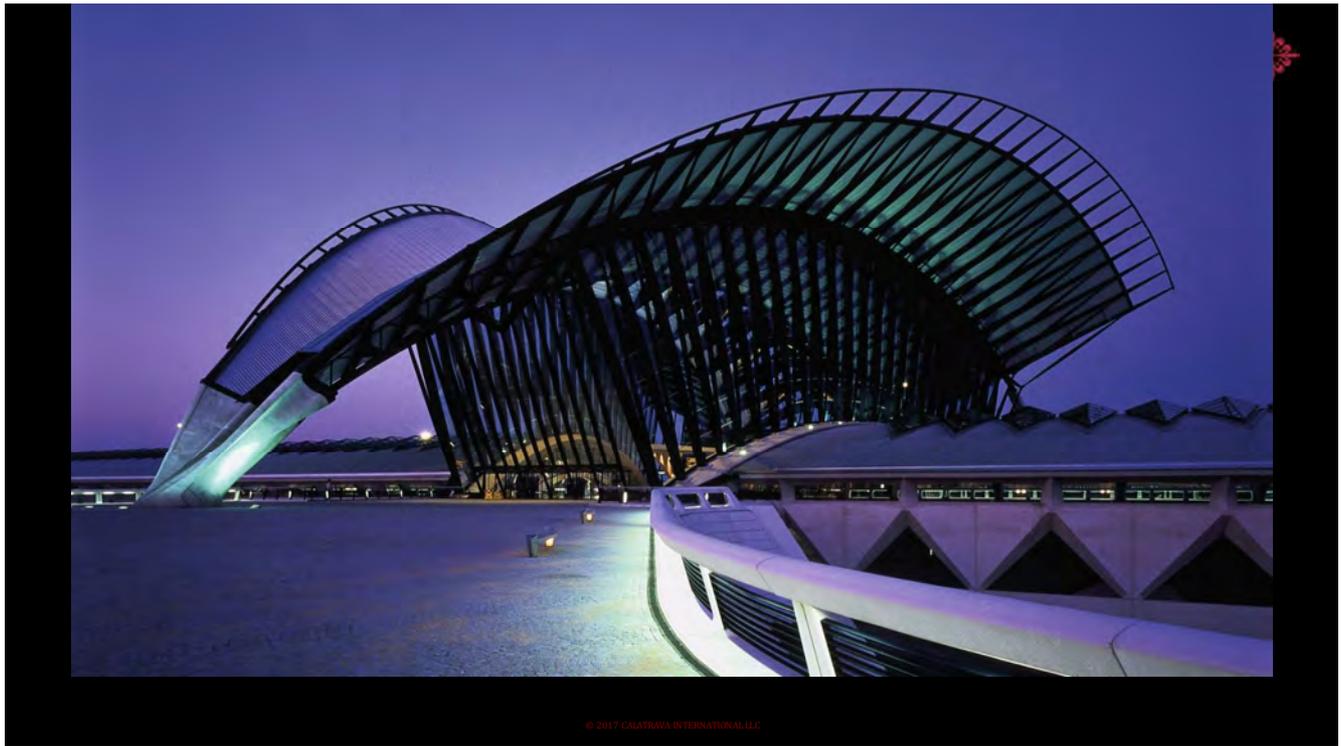


THE TOWER DCA

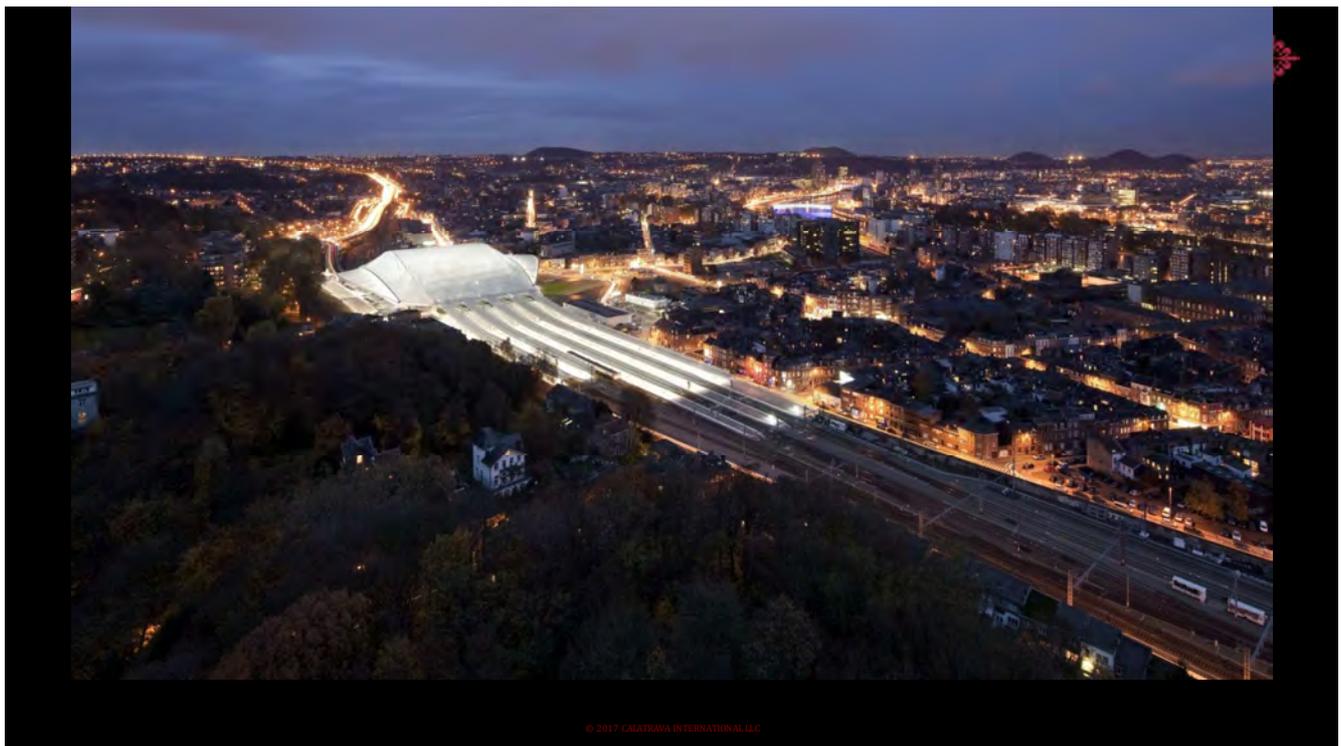


© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL

00 01 007 - 11.03.2017 - 0008 3



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC



SANTIAGO CALATRAVA

© 2014 CALATRAVA MIDEAST LLC ALL RIGHTS RESERVED

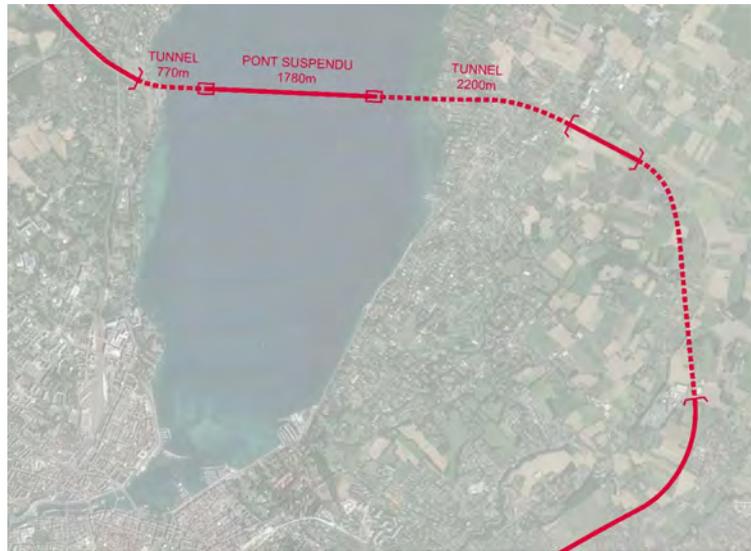
Tunnel-Pont-Tunnel



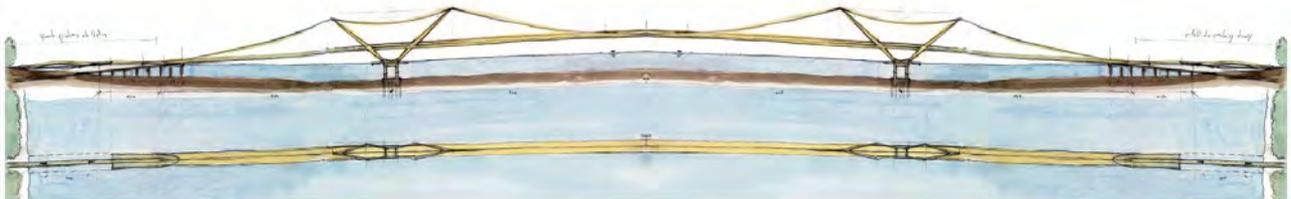
CALATRAVA INTERNATIONAL
ARCHITECTS & ENGINEERS

© 2014 CALATRAVA INTERNATIONAL. ALL RIGHTS RESERVED

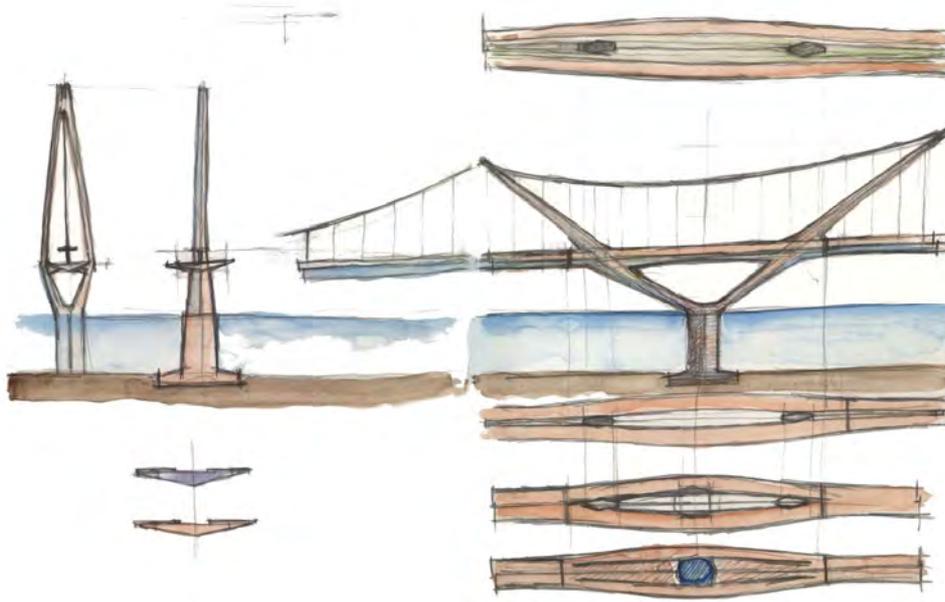
VARIANTE
TUNNEL PONT SUSPENDU TUNNEL



ESQUISSES DE CALATRAVA



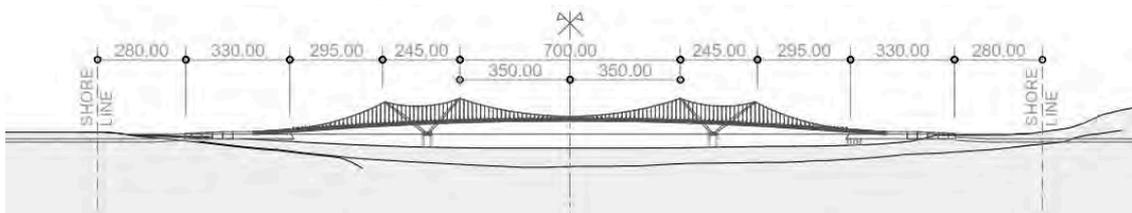
ESQUISSES DE CALATRAVA



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

41

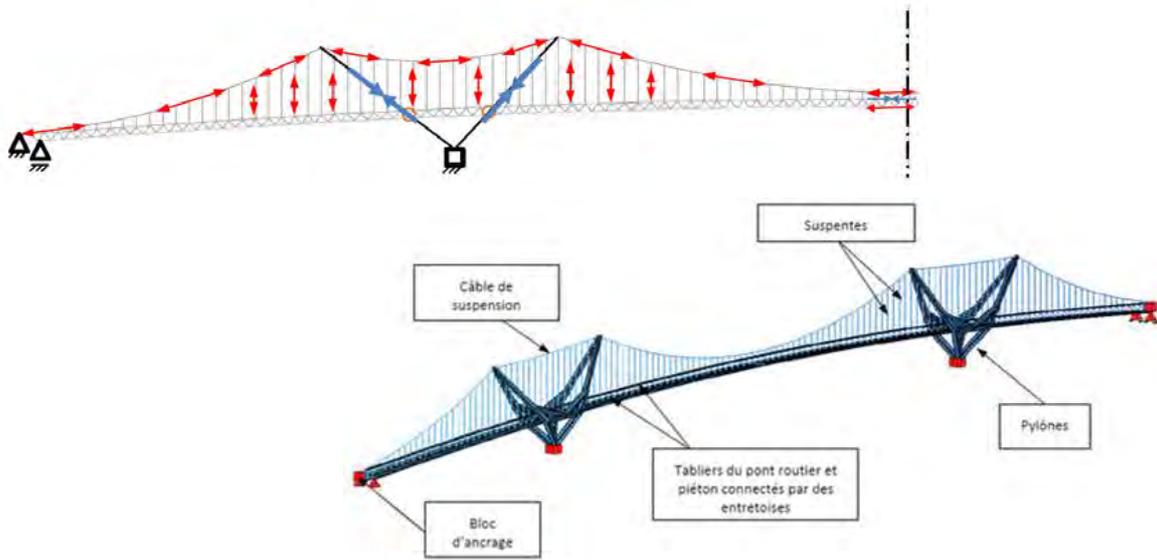
DIMENSIONS



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

42

PRINCIPES STRUCTURELS DU PONT SUSPENDU



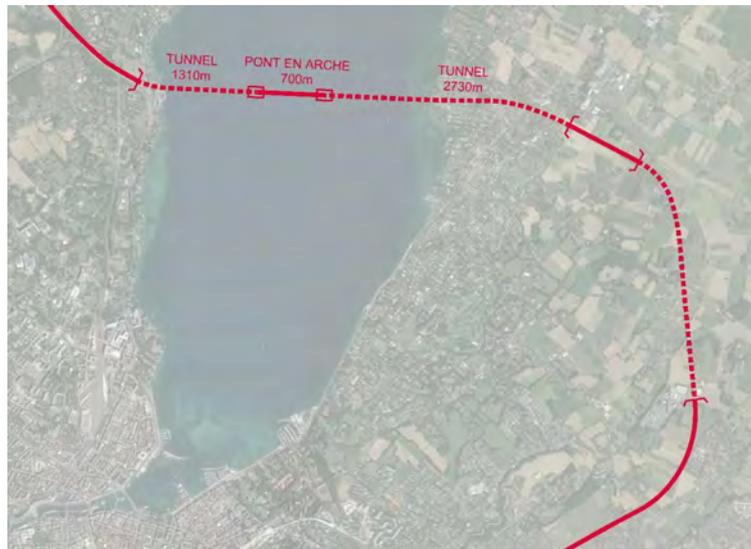
PERSPECTIVES



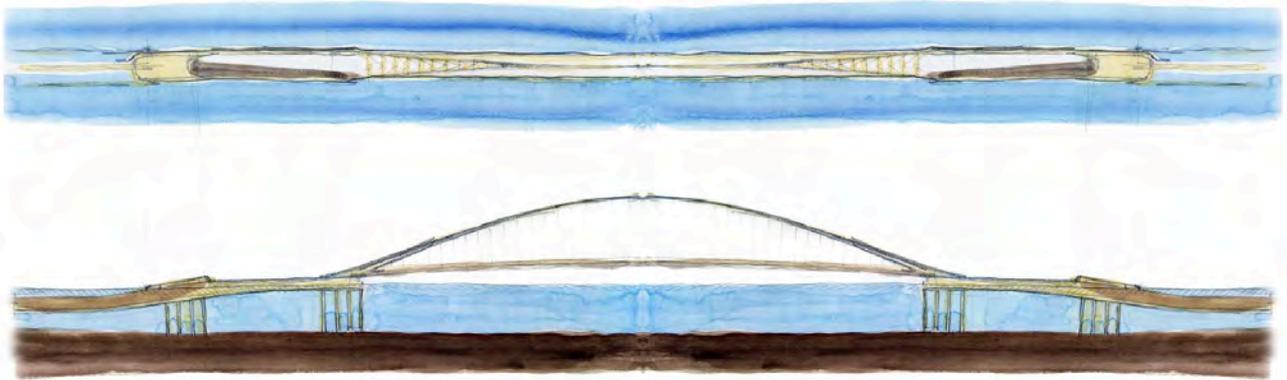
PERSPECTIVES



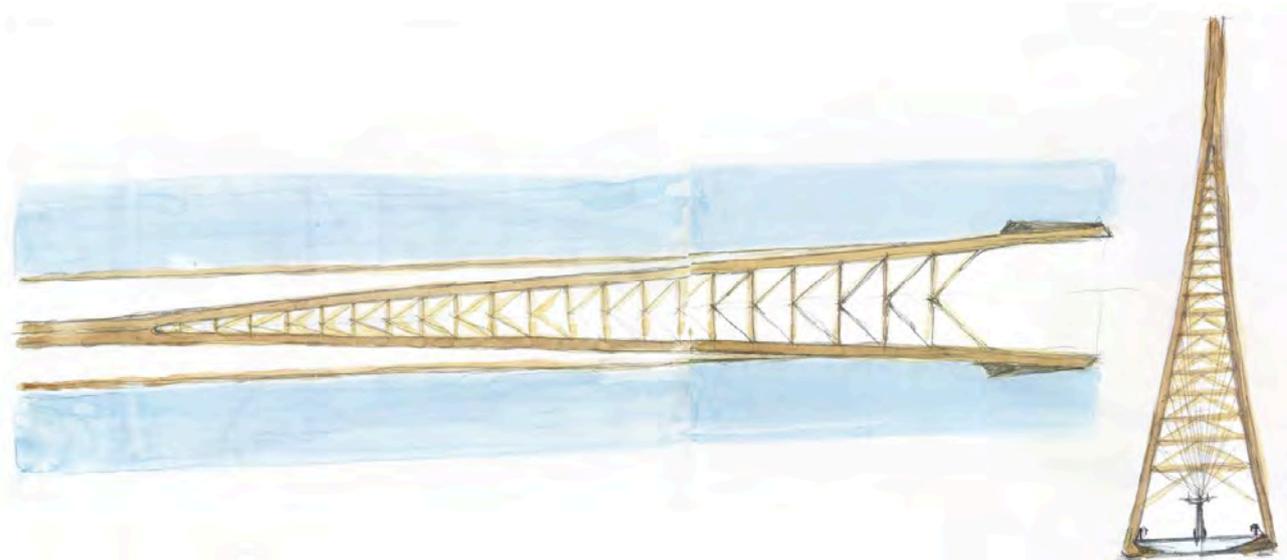
VARIANTE
TUNNEL PONT EN ARCHE TUNNEL



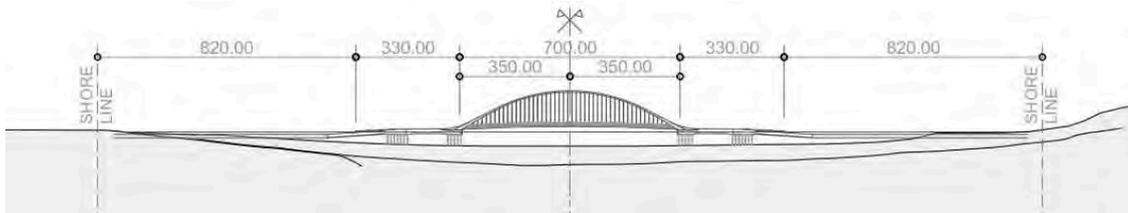
ESQUISSES DE CALATRAVA



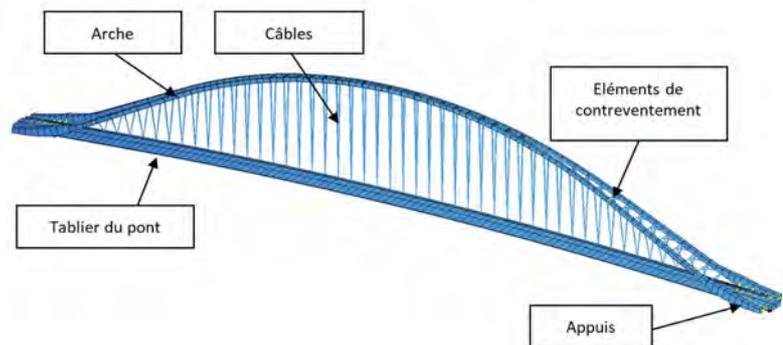
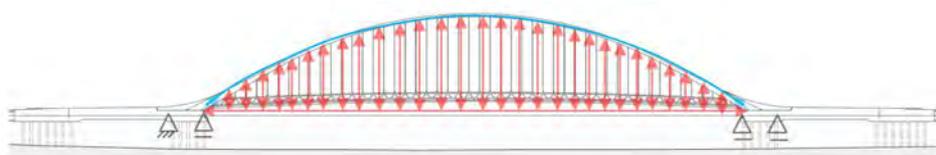
ESQUISSES DE CALATRAVA



DIMENSIONS

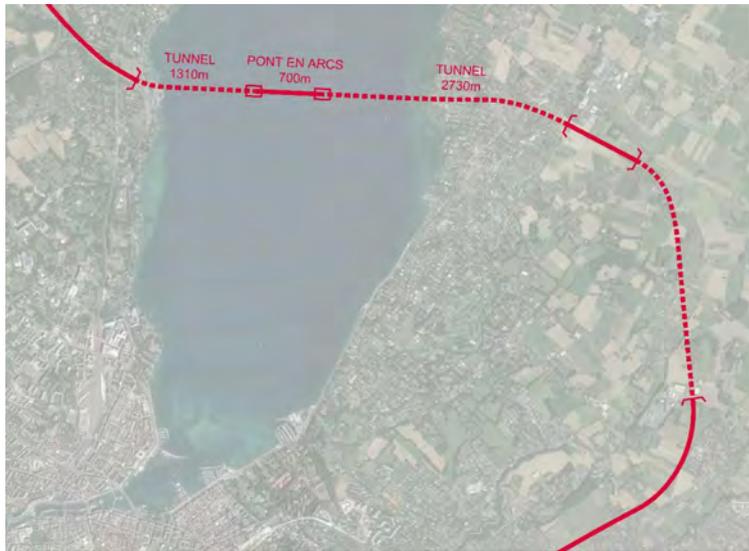


PRINCIPES STRUCTURELS DU PONT EN ARCHE



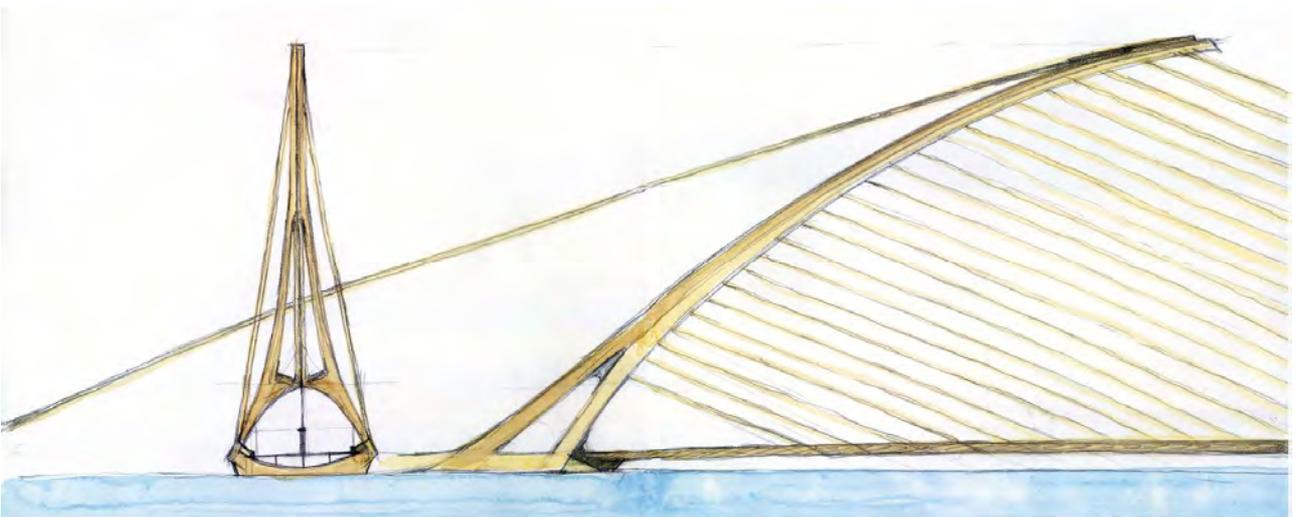
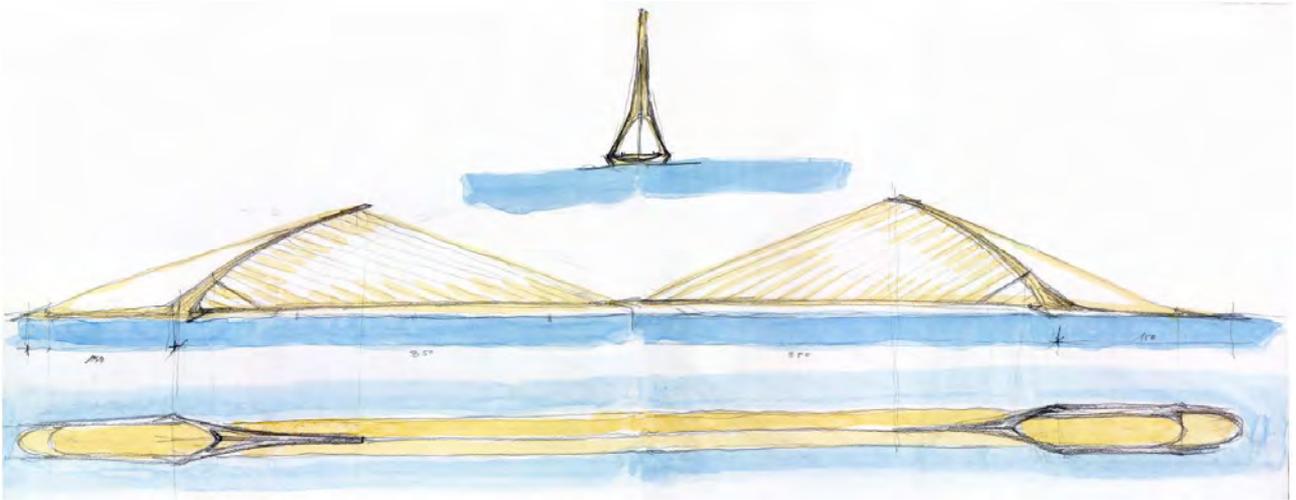


VARIANTE
TUNNEL PONT HAUBANNE TUNNEL

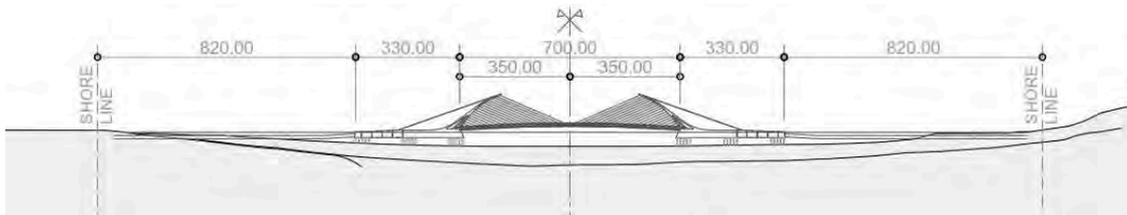


ESQUISSES DE CALATRAVA

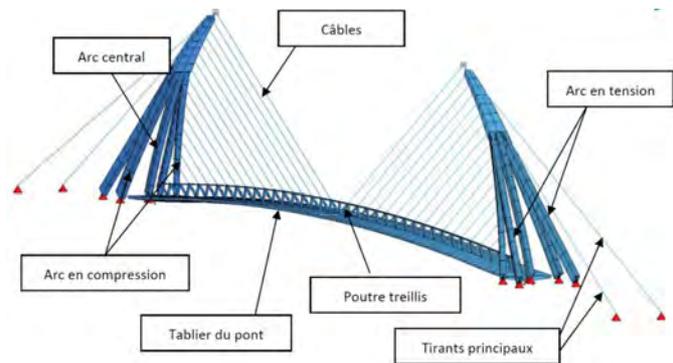
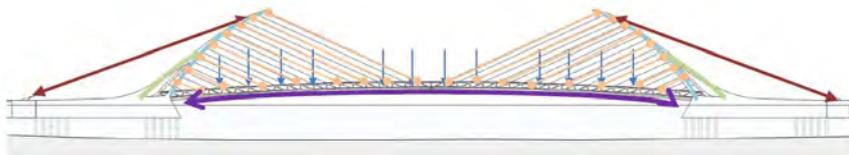




DIMENSIONS

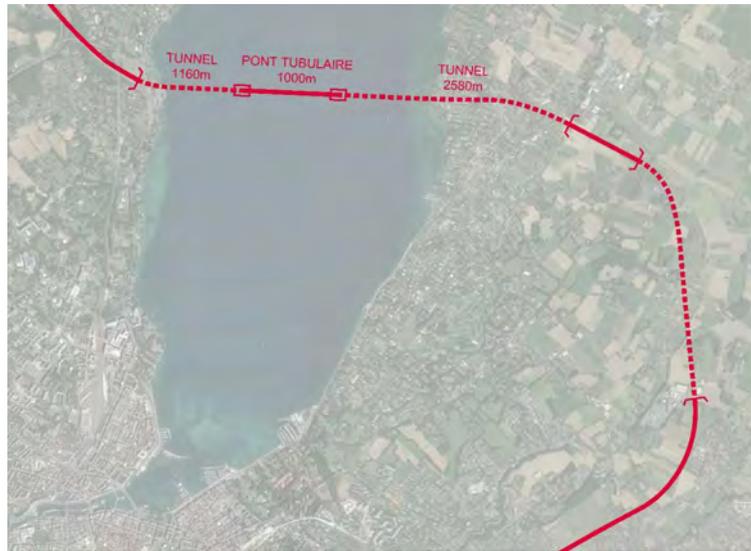


PRINCIPES STRUCTURELS DU PONT EN ARCS





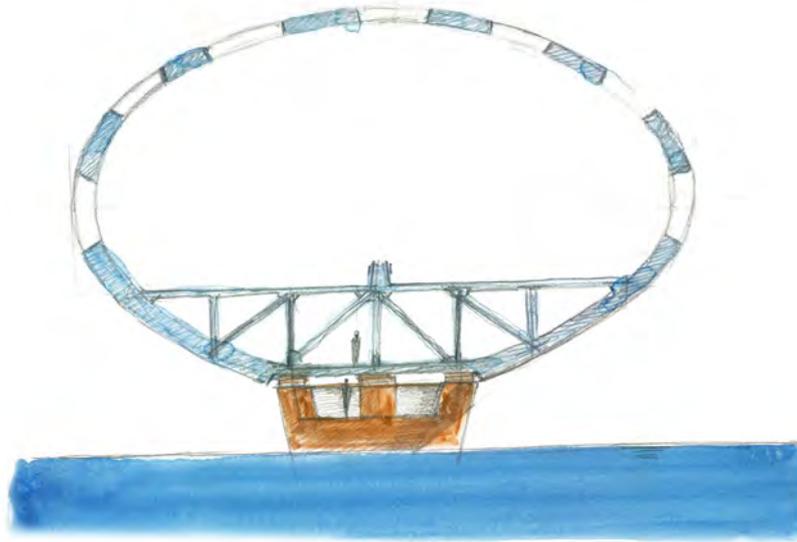
VARIANTE
TUNNEL PONT TUBULAIRE TUNNEL



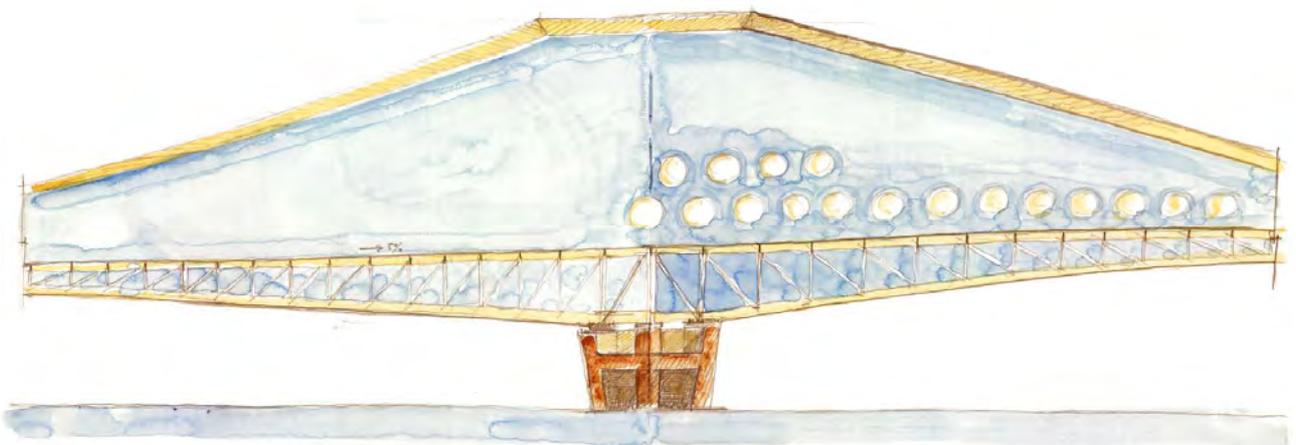
ESQUISSES DE CALATRAVA



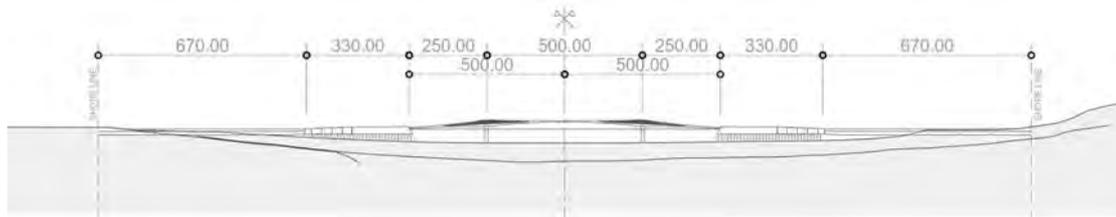
ESQUISSES DE CALATRAVA



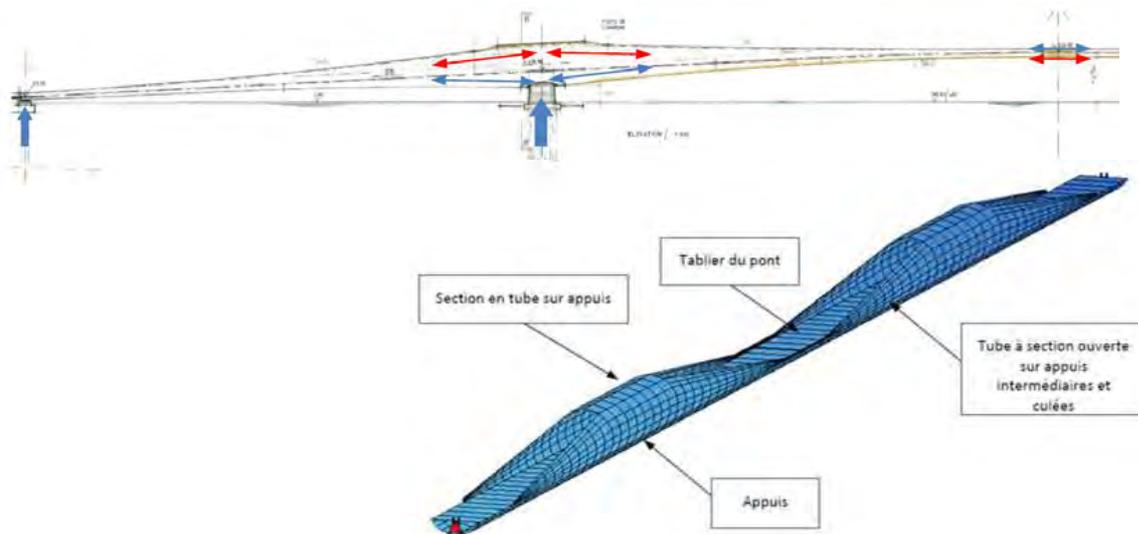
ESQUISSES DE CALATRAVA



DIMENSIONS

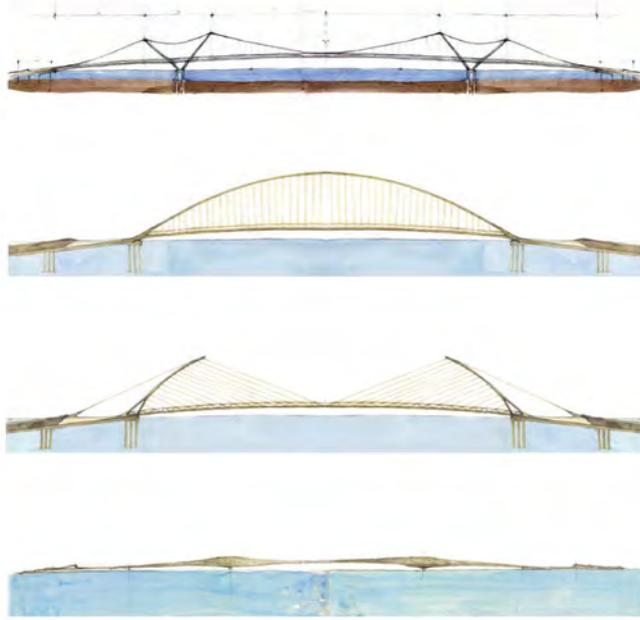


PRINCIPES STRUCTURELS DU PONT TUBULAIRE





ESQUISSES DE CALATRAVA



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

69

TUNNEL D'ACCESS AUX PONTS

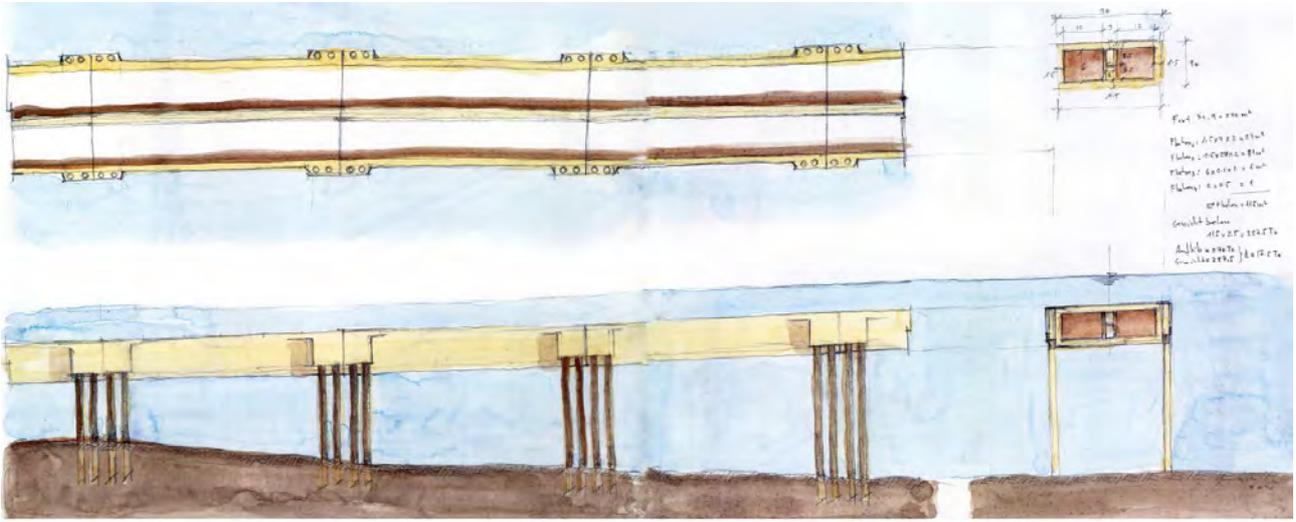


CALATRAVA INTERNATIONAL

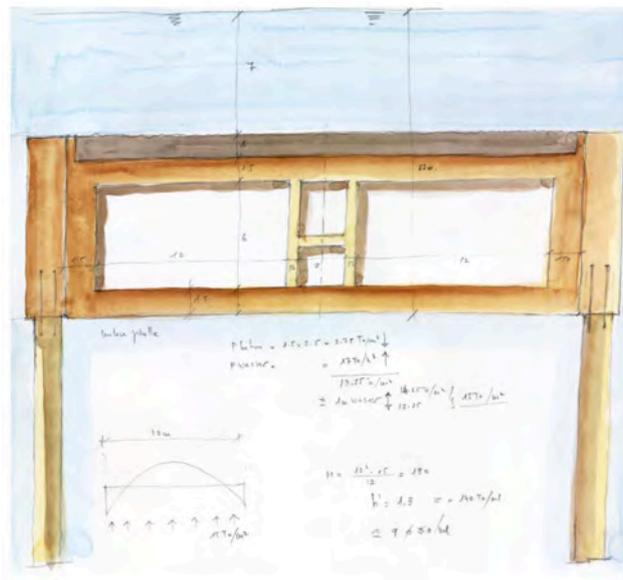
ARCHITECTS & ENGINEERS

© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL. ALL RIGHTS RESERVED

ESQUISSES DE CALATRAVA



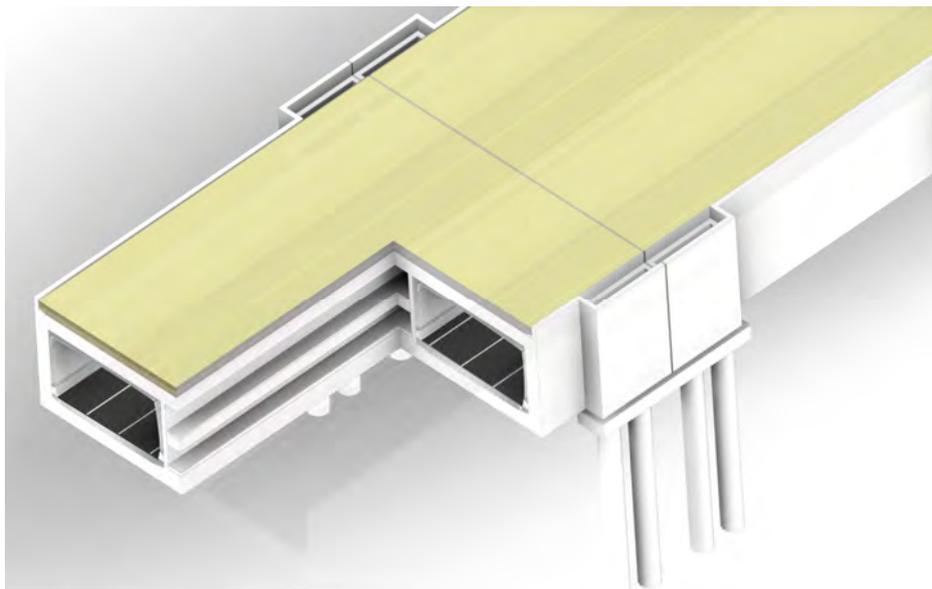
ESQUISSES DE CALATRAVA



ESQUISSES DE CALATRAVA



AXONOMETRIE



VARIANTE
TUNNEL DE TRAVERSEE DU LAC



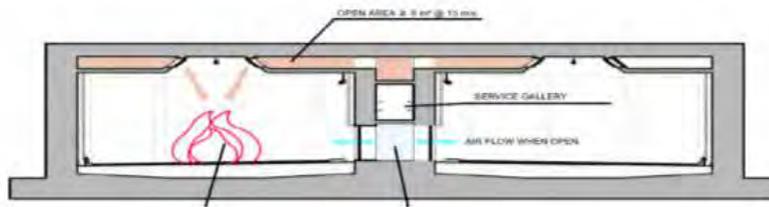
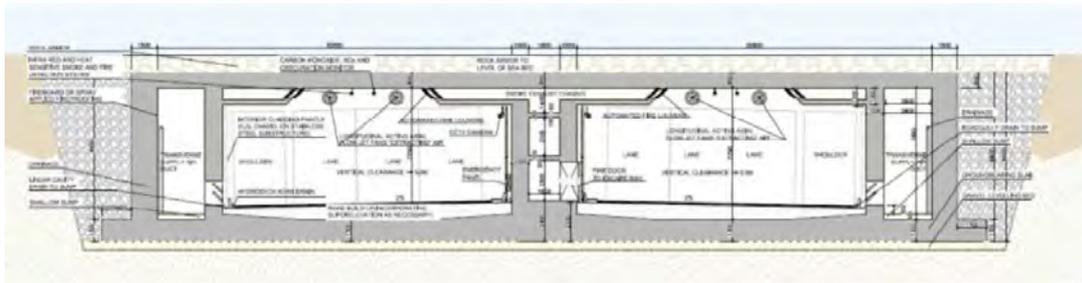
VARIANTE
TUNNEL DE TRAVERSEE DU LAC COMPLET



COMPARISON DES COUPES



32 m



20% plus petit:
moins d'excavation
moins de béton
pièces plus petites à installer
ventilation moins complexe

28 m

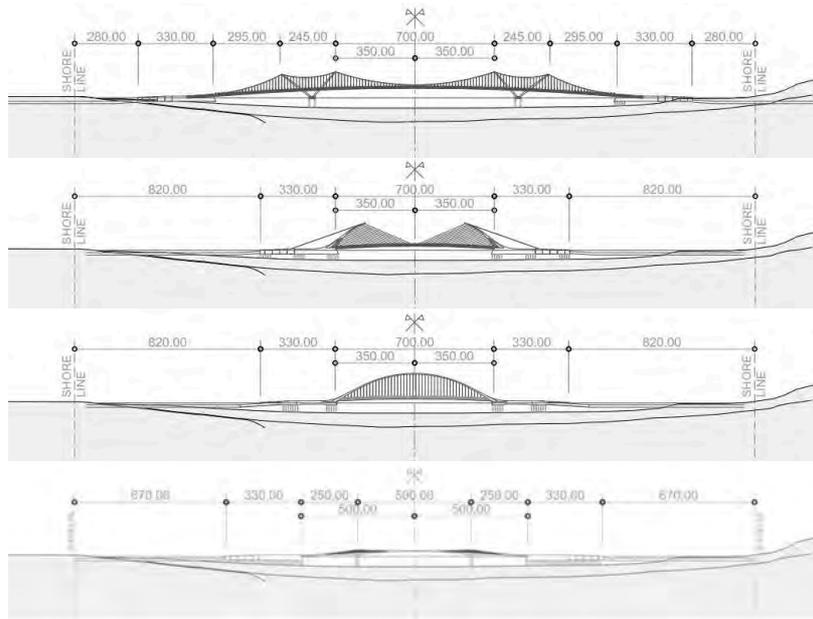
© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

79

Estimatif des coûts



COST SUMMARY STUDIES



© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

81

COUTS PRÉVISIONNELS DES TRAVAUX



3. ESTIMATIFS DÉTAILLÉS

Dans les chapitres suivants sont présentés pour chaque option un récapitulatif détaillé du coût des travaux.

3.1. Pont suspendu, Tunnel aux rivières

| N° | Item | Qté | Unité | P.U. (CHF) | Coût (CHF) | Mont. Total (CHF) |
|--------------|-------------------------------|---------|----------------|------------|-------------|-------------------|
| 3.1.1 | Superstructure | | | | | 813,905,250 |
| 3.1.1.1 | Tâbler | 20,230 | ton | 6,900 | 139,587,000 | |
| 3.1.1.2 | Poutre treillis | 1,360 | ton | 6,900 | 9,384,000 | |
| 3.1.1.3 | Pylônes | 88,930 | ton | 6,900 | 613,417,000 | |
| 3.1.1.4 | Câble principal comp. aréolés | 9,818 | ton | 8,300 | 81,485,250 | |
| 3.1.1.5 | Suspentes | 340 | ton | 8,300 | 2,822,000 | |
| 3.1.1.6 | Révlètements et fournitures | 56,700 | m ² | 200 | 11,340,000 | |
| 3.1.1.7 | Éclairage | | Item | | 15,000,000 | |
| 3.1.1.8 | CVC | 56,700 | m ² | 100 | 5,670,000 | |
| 3.1.2 | Infrastructure | | | | | 27,908,777 |
| 3.1.2.1 | Fondations des pylônes | 18,000 | m ³ | 497 | 8,946,000 | |
| 3.1.2.2 | Pieux | 12,468 | m ³ | 1,200 | 14,961,777 | |
| 3.1.2.3 | Ouvrages de protection | | Item | | 4,000,000 | |
| 3.1.3 | Rés de transition | | | | | 127,538,617 |
| 3.1.3.1 | Batardeau v2 | 200,000 | m ³ | 497 | 99,400,000 | |
| 3.1.3.2 | Pieux | 23,448 | m ³ | 1,100 | 25,792,617 | |
| 3.1.4 | Tunnels d'approche | | | | | 120,164,911 |
| 3.1.4.1 | Méton armé | 25,680 | m ³ | 1,300 | 33,384,000 | |
| 3.1.4.2 | Pieux | 324 | m ³ | 1,200 | 388,800 | |
| 3.1.4.3 | Révlètements et fournitures | 14,000 | m ² | 300 | 4,200,000 | |
| 3.1.4.4 | CVC | 14,000 | m ² | 1,000 | 14,000,000 | |
| | SOUS TOTAL | | | | | 819,975,556 |
| 3.1.5 | Provisions | | | | | 81,993,758 |
| 3.1.5.1 | Provisions pour entreprise | 10.0 | % | | | 81,993,758 |
| 3.1.5.2 | Provisions pour conception | 10.0 | % | | | 81,993,758 |
| 3.1.5.4 | Inflation | 0.0 | % | | | N/A |
| | TOTAL hors taxes | | | | | 985,925,067 |
| TVA | 7.6 | % | | | | 74,718,305 |
| | TOTAL TTC | | | | | 1,060,643,372 |

Table 6. Sommaire récapitulatif de 12 solutions pour l'axe routier / Tunnel suspendu

3.2. Tunnel, Pont central haubané

| N° | Item | Qté | Unité | P.U. (CHF) | Coût (CHF) | Mont. Total (CHF) |
|--------------|-------------------------------|---------|----------------|------------|-------------|-------------------|
| 3.2.1 | Superstructure | | | | | 250,525,870 |
| 3.2.1.1 | Tâbler | 7,033 | ton | 6,900 | 48,527,010 | |
| 3.2.1.2 | Poutre treillis | 725 | ton | 6,900 | 5,002,500 | |
| 3.2.1.3 | Pylônes | 21,004 | ton | 6,900 | 144,927,450 | |
| 3.2.1.4 | Câble principal comp. aréolés | 2,016 | ton | 8,300 | 16,732,480 | |
| 3.2.1.5 | Suspentes | | ton | 8,300 | | |
| 3.2.1.6 | Révlètements et fournitures | 17,850 | m ² | 200 | 3,570,000 | |
| 3.2.1.7 | Éclairage | | Item | | 10,000,000 | |
| 3.2.1.8 | CVC | 17,850 | m ² | 100 | 1,785,000 | |
| 3.2.2 | Infrastructure | | | | | N/A |
| 3.2.2.1 | Fondations des pylônes | N/A | m ³ | | | |
| 3.2.2.2 | Pieux | N/A | m ³ | | | |
| 3.2.2.3 | Ouvrages de protection | N/A | Item | | | |
| 3.2.3 | Rés de transition | | | | | 150,197,368 |
| 3.2.3.1 | Batardeau v2 | 200,000 | m ³ | 497 | 99,400,000 | |
| 3.2.3.2 | Pieux | 42,555 | m ³ | 1,200 | 51,066,000 | |
| 3.2.4 | Tunnels d'approche | | | | | 364,860,051 |
| 3.2.4.1 | Béton armé | 250,920 | m ³ | 1,300 | 326,196,000 | |
| 3.2.4.2 | Pieux | 4,487 | m ³ | 1,200 | 5,384,400 | |
| 3.2.4.3 | Révlètements et fournitures | 40,000 | m ² | 300 | 12,000,000 | |
| 3.2.4.4 | CVC | 40,000 | m ² | 1,000 | 40,000,000 | |
| | SOUS TOTAL | | | | | 765,603,660 |
| 3.2.5 | Provisions | | | | | 76,560,360 |
| 3.2.5.1 | Provisions pour entreprise | 10.0 | % | | | 76,560,360 |
| 3.2.5.2 | Provisions pour conception | 10.0 | % | | | 76,560,360 |
| 3.2.5.4 | Inflation | 0.0 | % | | | N/A |
| | TOTAL hors taxes | | | | | 842,164,020 |
| TVA | 7.6 | % | | | | 64,923,048 |
| | TOTAL TTC | | | | | 907,087,068 |

Table 7. Sommaire récapitulatif de 12 solutions pour l'axe routier / Tunnel, Pont central haubané

© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

82

COÛTS PRÉVISIONNELS DES TRAVAUX



3.3. Tunnel, Pont Central en Arc

| No | Item | Qté | Unit | P U [CHF] | Coût [CHF] | Sous Total [CHF] |
|---------|--------------------------------|---------|------|-----------|-------------|--------------------|
| 3.3.1 | Superstructure | | | | | 284,105,890 |
| 3.3.1.1 | Tapis | 11,091 | ton | 6,900 | 76,529,451 | |
| 3.3.1.2 | Poutre treillis | 2,255 | ton | 6,900 | 15,563,898 | |
| 3.3.1.3 | Yvelées | 18,840 | ton | 6,900 | 129,643,878 | |
| 3.3.1.4 | Câble principal comp. ancrages | 263 | ton | 8,300 | 2,191,163 | |
| 3.3.1.5 | Quilèmes | | ton | 8,300 | | |
| 3.3.1.6 | Révetements et fournitures | 17,850 | m² | 200 | 3,570,000 | |
| 3.3.1.7 | Eclairage | | Item | | 10,000,000 | |
| 3.3.1.8 | CVC | 17,850 | m² | 100 | 1,785,000 | |
| 3.3.2 | Infrastructure | | | | | N/A |
| 3.3.2.1 | Fondations des pylônes | N/A | m² | | | |
| 3.3.2.2 | Pieux | N/A | m² | | | |
| 3.3.2.3 | Ouvrages de protection | N/A | Item | | | |
| 3.3.3 | Bes de transition | | | | | 150,197,668 |
| 3.3.3.1 | Batardeau x2 | 200,000 | m³ | 497 | 99,400,000 | |
| 3.3.3.2 | Pieux | 42,331 | m² | 1,200 | 50,797,668 | |
| 3.3.4 | Tunnels d'approche | | | | | 384,680,061 |
| 3.3.4.1 | Béton armé | 260,920 | m³ | 1,500 | 391,380,000 | |
| 3.3.4.2 | Pieux | 4,487 | m² | 1,200 | 5,384,061 | |
| 3.3.4.3 | Révetements et fournitures | 41,000 | m² | 300 | 12,300,000 | |
| 3.3.4.4 | CVC | 41,000 | m² | 1,000 | 41,000,000 | |
| | SOUS TOTAL | | | | | 771,377,113 |
| 3.3.5 | Provisions | | | | | |
| 3.3.5.1 | Provisions pour entreprise | 10.0 | % | | | 77,137,712 |
| 3.3.5.2 | Provisions pour corruption | 10.0 | % | | | 77,137,712 |
| 3.3.5.4 | Inflation | 0.0 | % | | | N/A |
| | TOTAL hors taxes | | | | | 925,525,543 |
| | TVA | 7.6 | % | | | 70,339,928 |
| | TOTAL TTC | | | | | 995,865,269 |

Table 6. Estimation prévisionnelle des coûts du Tunnel, Pont Central en Arc

3.4. Tunnel, Pont Central Tubulaire

| No | Item | Qté | Unit | P U [CHF] | Coût [CHF] | Sous Total [CHF] |
|---------|----------------------------|---------|------|-----------|-------------|--------------------|
| 3.4.1 | Superstructure | | | | | 293,224,000 |
| 3.4.1.1 | Tapis | 59,960 | ton | 5,900 | 273,724,000 | |
| 3.4.1.2 | Révetements et fournitures | 27,980 | m² | 300 | 8,400,000 | |
| 3.4.1.3 | Eclairage | | Item | | 10,000,000 | |
| 3.4.1.4 | CVC | 27,980 | m² | 300 | 2,700,000 | |
| 3.4.2 | Infrastructure | | | | | N/A |
| 3.4.2.1 | Têtes de batardeau | N/A | m² | | | |
| 3.4.2.2 | Pieux | N/A | m² | | | |
| 3.4.2.3 | Ouvrages de protection | N/A | Item | | | |
| 3.4.3 | Bes de transition | | | | | 150,197,668 |
| 3.4.3.1 | Batardeau x2 | 200,000 | m³ | 497 | 99,400,000 | |
| 3.4.3.2 | Pieux | 42,331 | m² | 1,200 | 50,797,668 | |
| 3.4.4 | Tunnels d'approche | | | | | 315,460,061 |
| 3.4.4.1 | Béton armé | 200,000 | m³ | 1,500 | 300,000,000 | |
| 3.4.4.2 | Pieux | 4,487 | m² | 1,200 | 5,384,061 | |
| 3.4.4.3 | Révetements et fournitures | 39,920 | m² | 300 | 11,976,000 | |
| 3.4.4.4 | CVC | 39,920 | m² | 1,000 | 39,920,000 | |
| | SOUS TOTAL | | | | | 759,481,730 |
| 3.4.5 | Provisions | | | | | |
| 3.4.5.1 | Provisions pour entreprise | 10.0 | % | | | 75,948,173 |
| 3.4.5.2 | Provisions pour corruption | 10.0 | % | | | 75,948,173 |
| 3.4.5.4 | Inflation | 0.0 | % | | | N/A |
| | TOTAL hors taxes | | | | | 911,378,076 |
| | TVA | 7.6 | % | | | 68,353,556 |
| | TOTAL TTC | | | | | 979,731,631 |

Table 5. Estimation prévisionnelle des coûts du Tunnel, Pont Central Tubulaire

ESTIMATION PRÉVUE - TUNNEL IMMERGÉ



ESTIMATION PRÉVUE – PONT SUSPENDU



ESTIMATION PRÉVUE – PONT EN ARCHE



ESTIMATION PRÉVUE – PONT EN ARCS



ESTIMATION PRÉVUE – PONT TUBULAIRE



COUTS PRÉVISIONNELS DES TRAVAUX



4. COMPARAISON

In the following tables is presented a comparative cost analysis for the 4 pre-concept options based on approximate length and gross area.

| PROPOSITIONS CALATRAVA | | | | | | |
|------------------------|----------------|----------|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| No | Item | L (m) | Area (m ²) | Ratio (CHF/m) | Ratio (CHF/m ²) | Coût incl. T.V.A. & F.S. (CHF) |
| 4.1 | Pont Suspendu | 3,000 | 100,166 | 352,901 | 10,569 | 1,058,703,372 |
| 4.2 | Pont Haubané | 3,000 | 95,724 | 529,517 | 10,527 | 988,547,368 |
| 4.3 | Pont en Arc | 3,000 | 98,724 | 331,899 | 10,402 | 995,865,289 |
| 4.4 | Pont Tubulaire | 3,000 | 95,724 | 326,577 | 10,234 | 979,731,431 |

| PROPOSITIONS DCTI - Office Génie Civil | | |
|--|--|--------------------------------|
| Item | | Coût incl. T.V.A. & F.S. (CHF) |
| Pont Haubané courbe | | 862,205,941 |
| Tunnel immergé | | 1,209,328,344 |

Table 10. Analyse comparative des coûts de la traversée de la L&R.

| PROPOSITIONS CALATRAVA incluant l'ensemble des ouvrages pour le contournement de Genève | | |
|---|---------------------|---------|
| Item | MONTANT TOTAL (CHF) | (%) |
| Pont Suspendu | 3,279,423,783 | + 6.9 % |
| Pont Haubané | 3,209,269,781 | + 4.1 % |
| Pont en Arc | 3,216,587,682 | + 4.3 % |
| Pont Tubulaire | 3,200,453,844 | + 3.8 % |

| PROPOSITIONS DCTI incluant l'ensemble des ouvrages pour le contournement de Genève | | |
|--|---------------------|----------|
| Item | MONTANT TOTAL (CHF) | (%) |
| Pont Haubané courbe | 3,082,928,354 | - |
| Tunnel immergé | 3,654,372,693 | + 18.5 % |

Table 11. Analyse comparative des coûts - Ponts dans la grotte

MERCI BEAUCOUP





© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

91



RÉPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENÈVE

1800 - 1815/1848

LA TRAVERSÉE DU LAC GENÈVE, SUISSE

PRESENTATION

Date of Presentation: 15.03.2017
Presentation To: République et Canton de Genève
Revision - Status:
Presentation By: C. Calado / B. Molpeceres
Checked By: Iain Rowe
Approved By: Mike Pfisterer
File Name:



CALATRAVA INTERNATIONAL
ARCHITECTS & ENGINEERS

© 2017 CALATRAVA INTERNATIONAL LLC

conseil consultatif pour la traversée de la rade
le paysage • position de la FSAP

Genève, le 5 avril 2017

FSAP
B S L A

le métier de paysagiste

le métier de paysagiste

- La FSAP compte 600 membres en Suisse
- **100** en Suisse romande, au sein du Groupe romand de la FSAP

La FSAP est partenaire de la **SIA** au titre d'association spécialisée et collabore dans plusieurs domaines, notamment sur la question des concours (Norme 142) et des honoraires (Norme 105)

Deux écoles d'architecture du paysage en Suisse

- hepia à Genève, où la filière architecture du paysage forme **chaque année 40 à 50 architectes-paysagistes HES**
- Rapperswil, qui forme également **40 à 50 architectes-paysagistes HES**

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

FSAP
B S L A

BSLA
F S A P

sia

142i-101f

Programmes pour concours
et mandats d'étude parallèles

Règlement SIA 105
2007

sia

Règlement concernant les prestations et les honoraires des architectes paysagistes

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



HSR

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

le métier de paysagiste

Les paysagistes pratiquent leur métier en croisant plusieurs échelles et plusieurs disciplines:

1. celles qui étudient le **paysage naturel** à savoir les sciences qui touchent à la formation et à la qualité des sols et des eaux (géo-pédo- hydrologie), aux conditions climatiques, à la végétation;



Le Léman et le Jura
depuis la Pointe à la Bise >

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

le métier de paysagiste

2. celles qui sont liées au **paysage culturel** à savoir ce qui a trait à l'anthropisation de ce paysage naturel, l'urbanisation et l'agriculture, la mobilité, les relations entre bâti et non bâti, l'espace public, les jardins, etc.



La plaine agricole de la Seymaz, le paysage de la renaturation et les ruines du Château de Rouellebeau >

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

3. celles qui s'attachent aux **usages et au contexte social dans lequel s'inscrit un projet d'aménagement.**

En découlent si ce n'est des convictions en tout cas des lignes de conduite dans notre pratique professionnelle où la dimension contextuelle est le préalable à tout projet de paysage.



*Pique-nique estival
à la plage du Vengeron >*

le métier de paysagiste

Les paysagistes s'intéressent autant au temps (passé et à venir) qu'à l'espace.

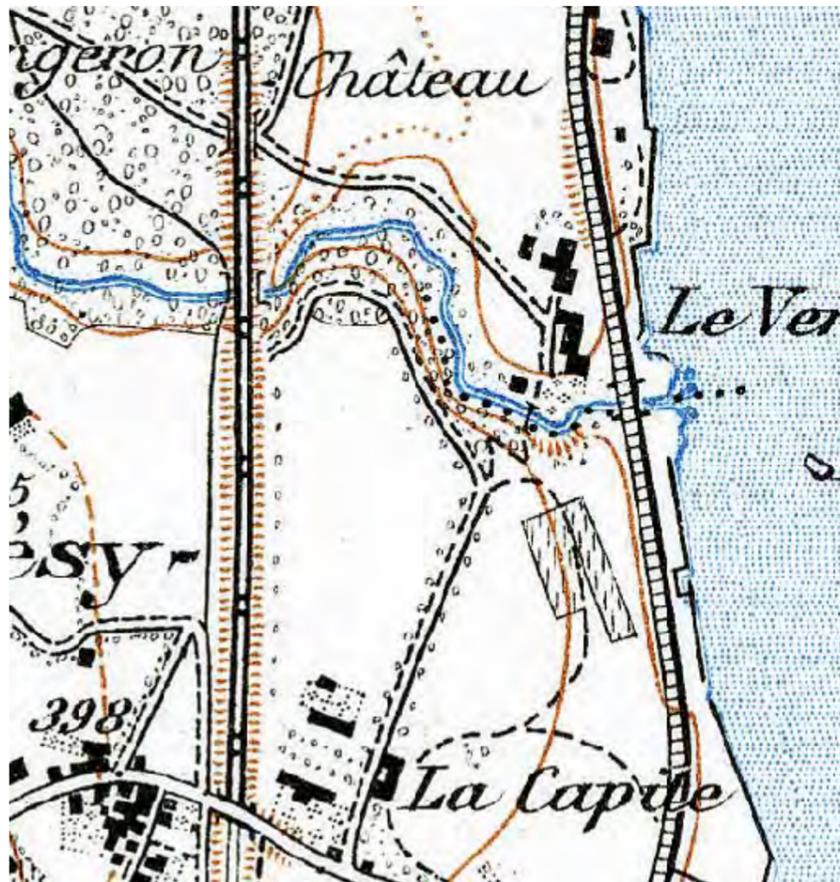
Le **temps**:

l'histoire d'un territoire, à l'échelle géologique et humaine

la perception actuelle d'un paysage par ses habitants - la sensibilité contemporaine

son avenir possible ou comment continuer l'histoire

L'embouchure du Vengeron
en 1899 (carte Siegfried)



... en 1963



... en 2012



le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

le métier de paysagiste

L'espace:

les composantes physiques de ce paysage

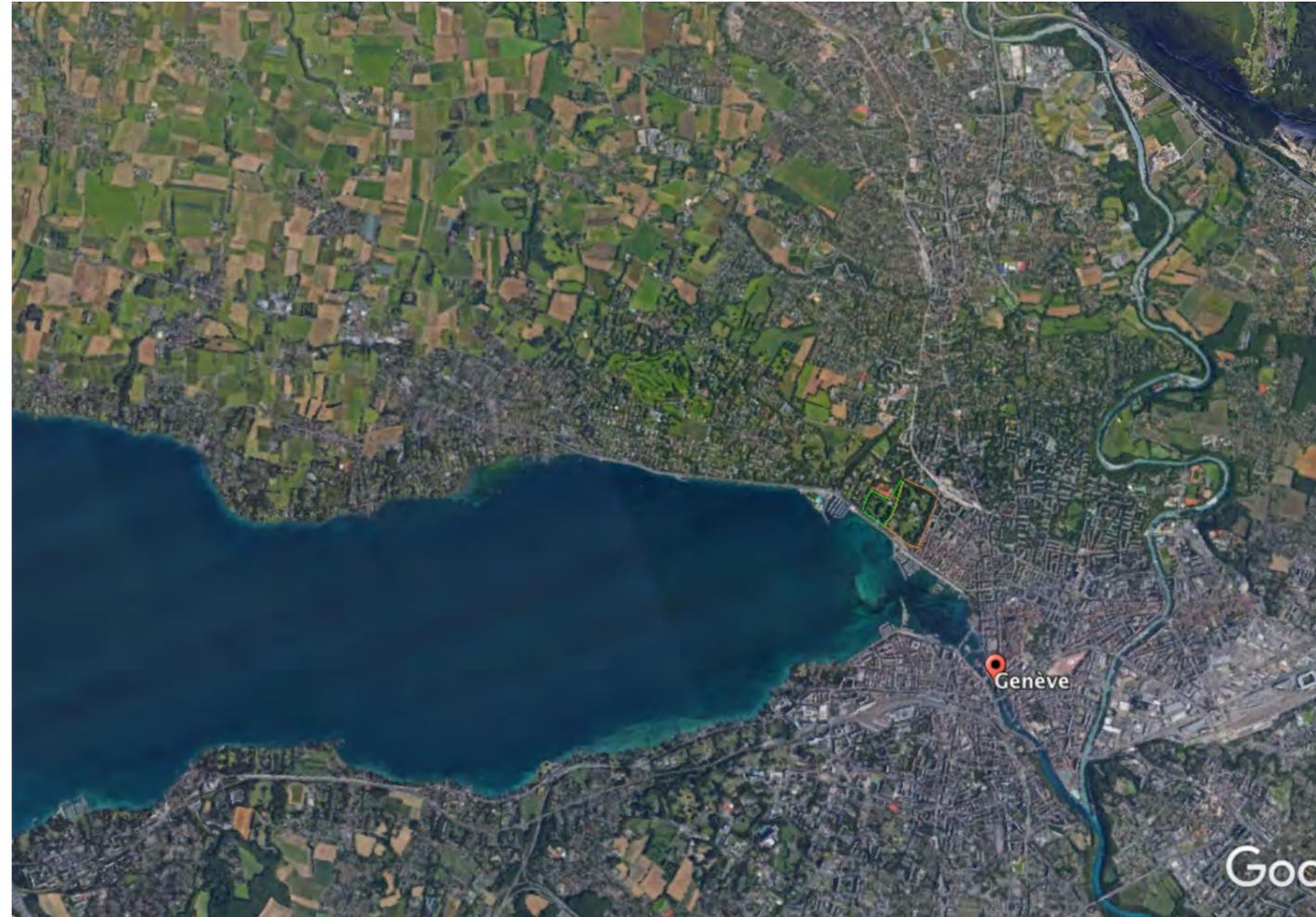
le sol, la topographie et l'eau

la végétation

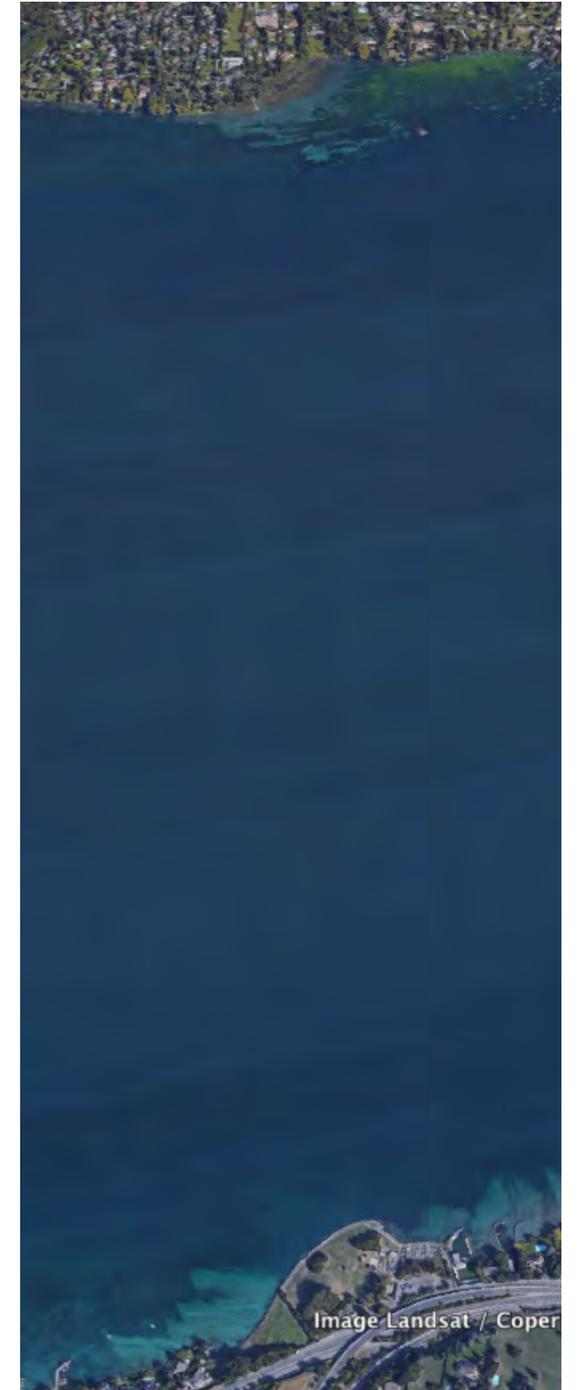
le bâti et le non-bâti,
les réseaux.

La profession a partie liée avec la **durabilité**, la **vue à long terme**, et donc l'éventuelle **réversibilité** d'un équipement, utile ici et maintenant - et demain?

Elle s'attache aux qualités et valeurs d'un site et à la manière dont un projet, quelle que soit son échelle et sa destination, travaille avec ces qualités, en renforce le caractère, en continue l'histoire.



Une question d'échelle: Googlearth -
alt. 17.8 km, cadrage large ^
alt. 5.6 km, cadrage «traversée» >



le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

pont ou tunnel ?

pont ou tunnel ?

au Vengeron

l'«objet» pourrait-il servir d'autres usages que la voiture?

- **mobilités douces?** Il y a un potentiel de départ ou d'arrivée côté Vengeron, qu'on soit piéton ou cycliste ou usager des TP.
- L'idée d'un pont comme une «**machine à paysage**» - voir Genève, le Jura et le Mont-Blanc depuis le lac - est séduisante.
- La possibilité d'arriver au Vengeron ou d'en partir s'inscrit dans une **logique de loisirs**, de jouissance de la nature et du paysage.

Avec le lac, le Mont-Blanc, la rade, ce paysage n'a pas besoin de l'attraction d'un pont au sens d'une attraction touristique «qui attirerait du monde»: tout est là. L'équilibre entre nature et culture est encore de haute qualité.

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade



Depuis la plage du Vengeron: le lac, la rive gauche, les Voirons et le Mont-Blanc.

pont ou tunnel ?

au Vengeron

Tunnel?

S'il ne s'agit que d'une infrastructure routière, la question se pose de son intégration maximale, au niveau du lac, donc du tunnel.



- l'impact **sur le paysage du plan d'eau** est minimal



- mettre les gens en sous-sol, même s'ils sont automobilistes et pollueurs, n'est pas une solution d'avenir si celui-ci doit tendre vers une meilleure intégration de l'homme dans son environnement
- le tunnel ne saisit pas la chance du paysage
- le tunnel ne s'inscrit pas dans l'évolution du paysage: il ne travaille pas avec la topographie, n'en renforce pas le caractère
- il n'en est pas moins présent et ses impacts émergents sont les mêmes que ceux d'un pont.



Le tunnel «planté» de la Croix-Rousse à Lyon, Fête des Lumières 2013 ^

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

pont ou tunnel ?

au Vengeron

Pont?

+

- L'accrochage du pont serait aérienne, pour maintenir la plage du Vengeron, qui bien qu'artificielle, est l'un des très rares accès publics au lac sur la rive droite, avec quelques autres plages «confetti»

-

- Sous un pont routier: du bruit, de l'ombre, des vibrations. Que reste-t-il de la plage?

+

- la possibilité d'un nouvel espace, d'un autre type, plus urbain, plus intense. Convivial. Une articulation. Moins de contemplation, plus de mouvement. Au Vengeron, on est à la porte de la ville, le bassin de population est important

- le pont pourrait faire traverser cyclistes et piétons



Le parc aménagé à proximité du pont de Brooklyn, USA ^

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

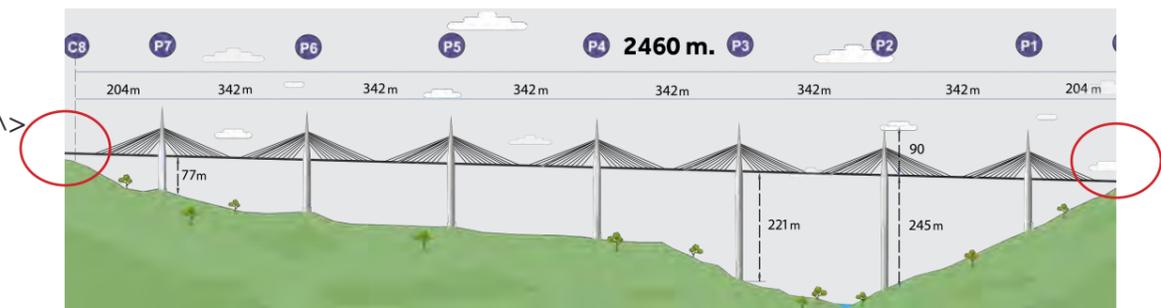
qu'est-ce qu'un pont dans le paysage ?

qu'est-ce qu'un pont dans le paysage?

- un pont emprunte son sens au site dans lequel il s'implante et renouvelle l'ensemble du paysage: il est **au bon endroit et donne une lecture nouvelle du site** – il ne se limite pas à un objet pour lui-même
- il **relie des éléments topographiques** dans la logique de ceux-ci



Le viaduc de Millau prend son sens «paysagen» en ce qu'il relie deux événements topographiques, éléments du paysage naturel, dans la continuité des réseaux routiers, éléments du paysage anthropisés. ^>



le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

1. qu'est-ce qu'un pont dans le paysage?

- il **assume son passage dans le paysage**: il évite de passer dessus et dessous - comme l'image Calatrava
- il contribue à l'équilibre/ l'interaction / la relation entre les éléments relevant du paysage naturel (le lac, le Jura et le Mont-Blanc) et culturel ou anthropisé (la ville, les réseaux)



L'image du pont-tunnel de Calatrava: quel lien avec le contexte ?

retour sur terre

retour sur terre

à la Pointe-à-la-Bise

+

Comme au Vengeron, l'**accrochage du pont doit aussi être aérien, pour s'inscrire dans la topographie de la rive** et surplomber la réserve et la plage de la Pointe-à-la-Bise

-

Sous un pont routier, il y a du bruit, de l'ombre, des vibrations.
En zone 5.

+ >> -

La possibilité d'un **nouvel espace, d'un autre type, plus urbain, plus intense, comme imaginé au Vengeron, n'a pas de sens ici**. On est loin de la porte de la ville, le bassin de population est moins important.

La liaison mobilité douce entre la rive droite et la rive gauche perd son sens, elle n'est pas à l'échelle des cyclistes et piétons



Plage de la Pointe-à-la-Bise: la ligne de crête pour l'accrochage du pont. ^

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

retour sur terre

sortie plaine de la Seymaz - Rouellebeau



- la ville est loin
- le caractère du paysage tient à la **plaine ouverte** = la visibilité de tout élément construit s'en trouve décuplée
- le tissu est encore rural (champs+villages)
- la renaturation récente de l'Aire et la création d'un nouveau paysage perdrait tout son sens avec un échangeur routier
- quid des **déblais**?

=> **sortir à Rouellebeau a un impact majeur sur le paysage et ne participe ni à en renforcer le caractère, ni à augmenter sa valeur**



vue aérienne Pupliche vs Rouellebeau
situation de l'échangeur de Rouellebeau

situation de l'échangeur de Pupliche

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

retour sur terre

sortie Puplinge

- la ville est toute **proche** (Thônex, Annemasse)
- le caractère du paysage est déjà «**périurbain**» (nouveaux quartiers à Puplinge, Mica, Champ-Dollon)
- la construction d'une sortie supplémentaire, à terme et dans la région de Rouellebeau, n'est pas impossible si elle s'avère nécessaire.



vue aérienne Puplinge, en situation périurbaine



situation de l'échangeur de Puplinge

le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

conclusions

- s'il faut une infrastructure de transports pour traverser la rade, elle doit être multiusages et utile pour plusieurs générations
- s'il faut un pont, il doit s'accrocher dans la topographie du paysage, qui doit être accompagné d'une démarche urbanistique aux extrémités
- s'il faut garder une sortie rive gauche, c'est celle de Puplinge qu'il faut privilégier et renoncer à celle de Rouellebeau

... et une question pour terminer:

>> pourquoi un même tracé pour le tunnel et pour le pont alors qu'il s'agit de contraintes très différentes dans les deux cas ?



La Plaine de la Seymaz.

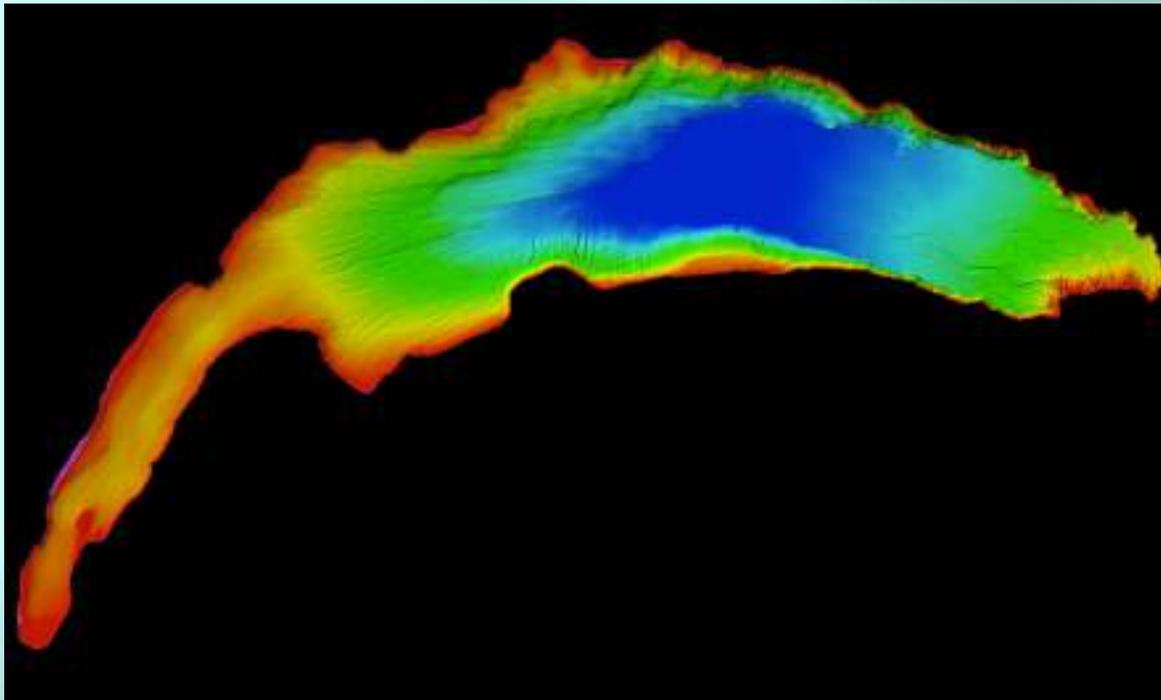
le paysage

position de la FSAP . conseil consultatif pour la traversée de la rade

Conseil consultatif de la Traversée du Lac

Traversée du Lac quelques aspects géologiques

Genève, le 5 avril 2017



Walter Wildi
Prof. honoraire
walter.wildi@unige.ch



Département F.A. Forel
Université de Genève

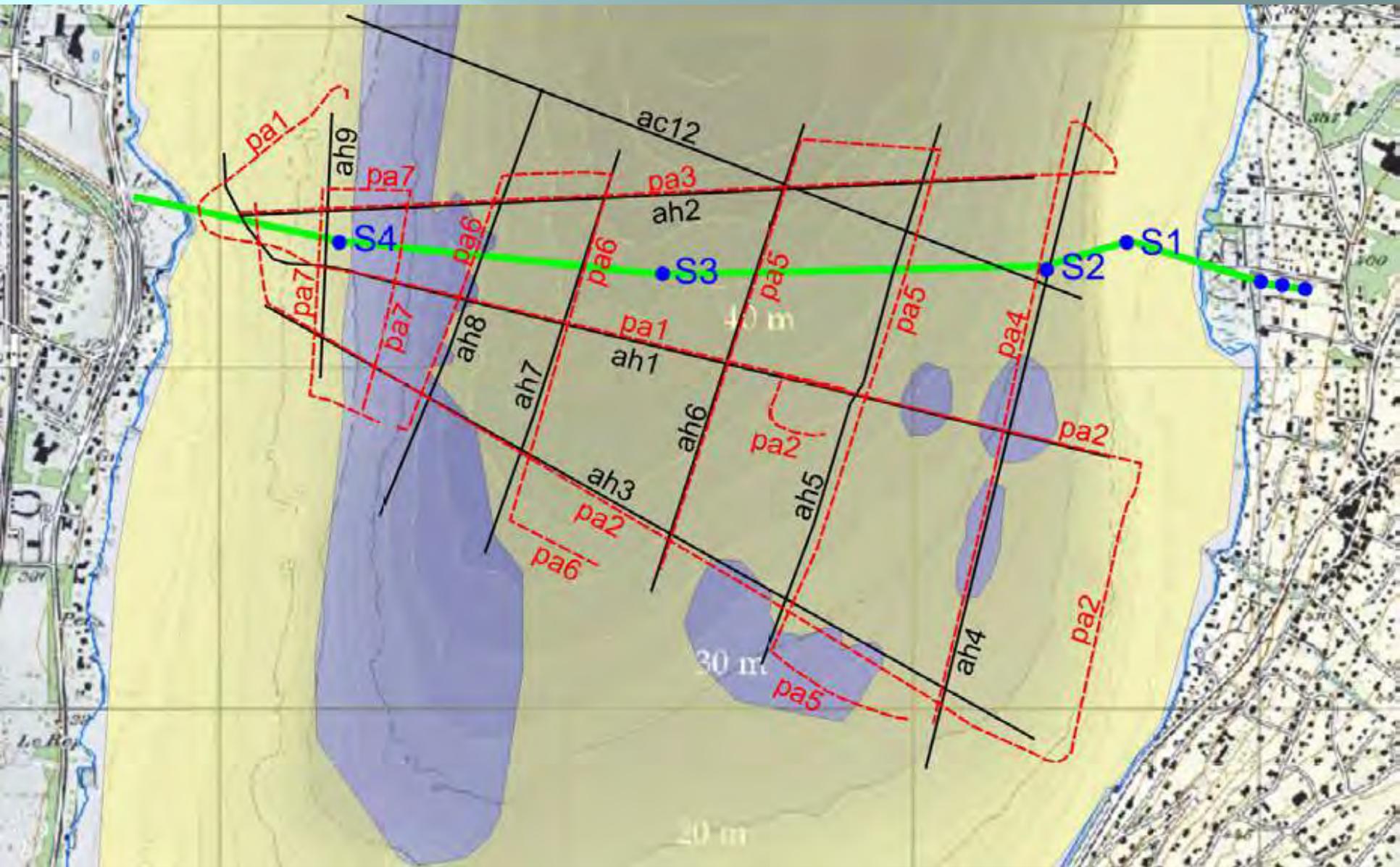
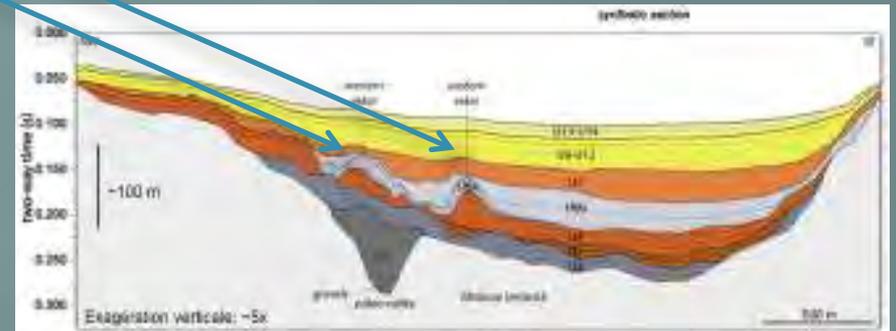
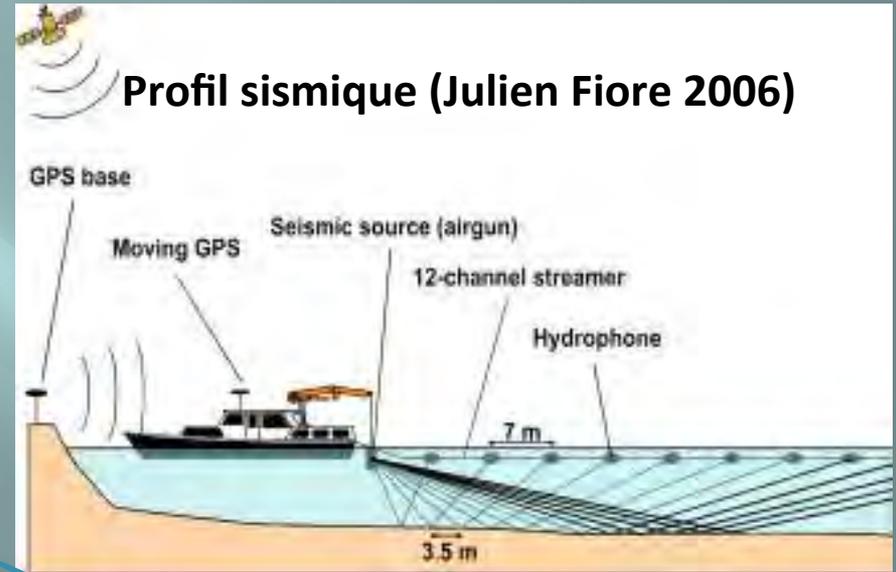
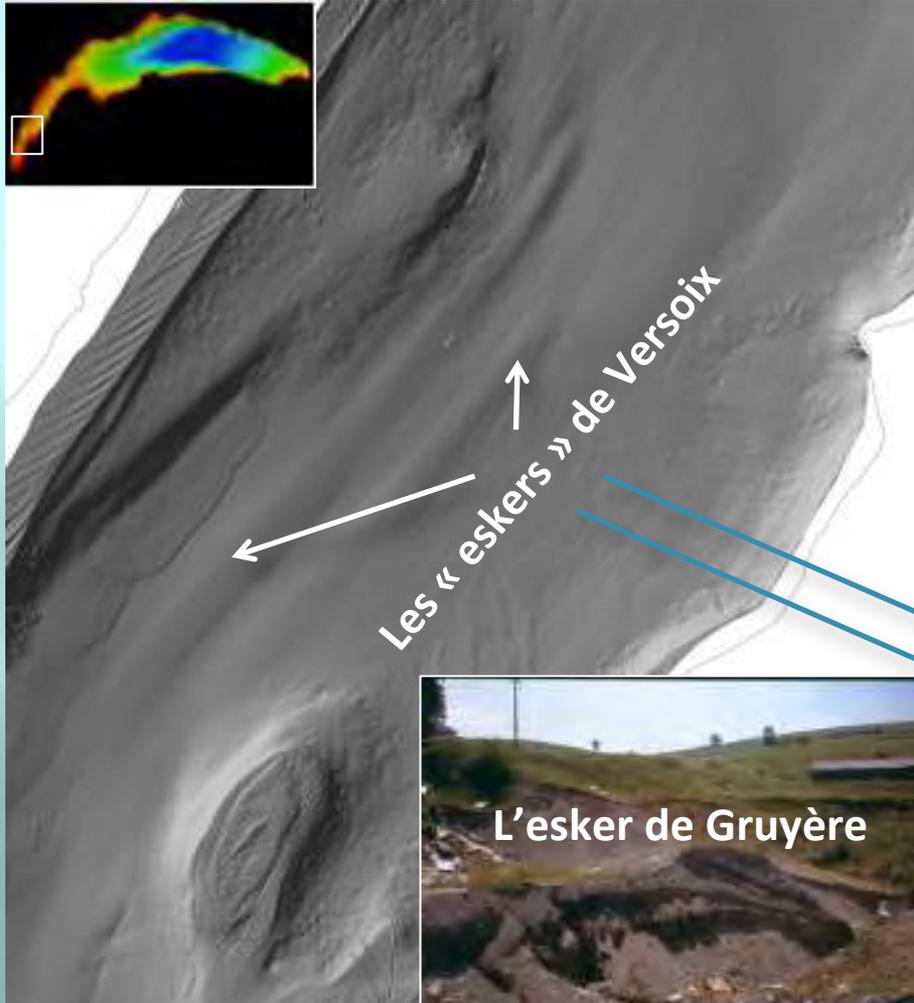
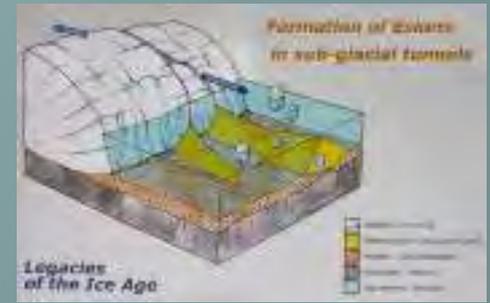


Figure 8. Zone d'investigation, sismique réflexion et forages
 Source: rapport Institut Forel 2009

Exploration du Le Léman glacière par sismique réflexion

« Eskers » tunnel sous – glaciaires de Versoix



Ligne ah2 - canon-à-air 1 inch³

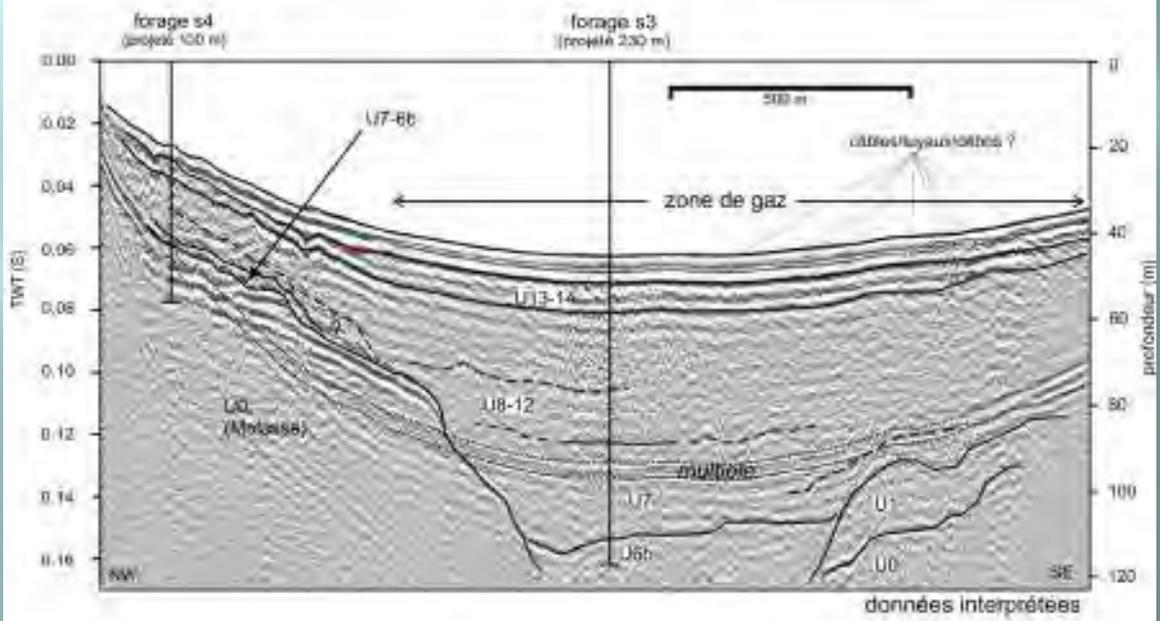
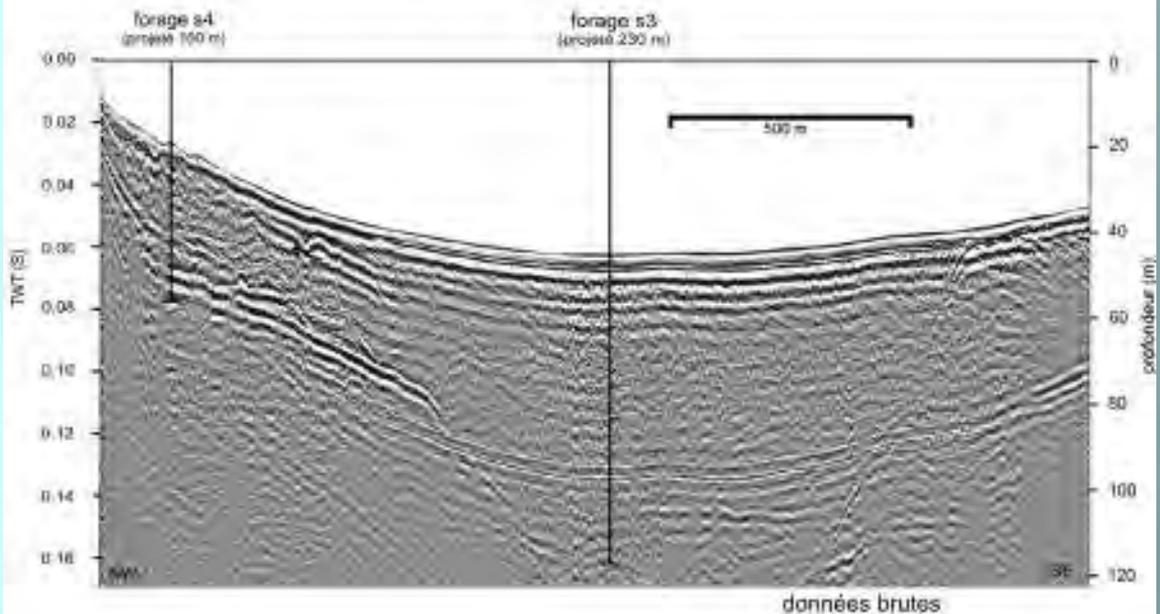
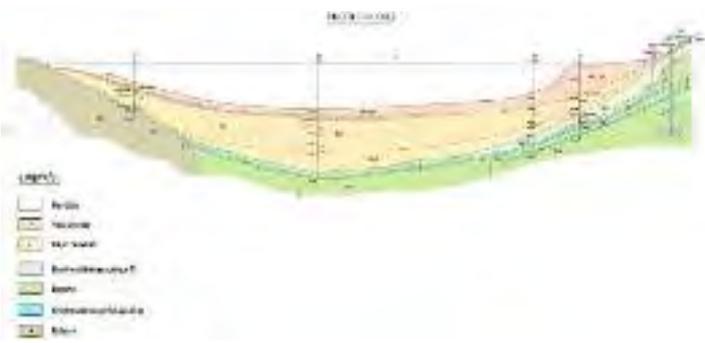
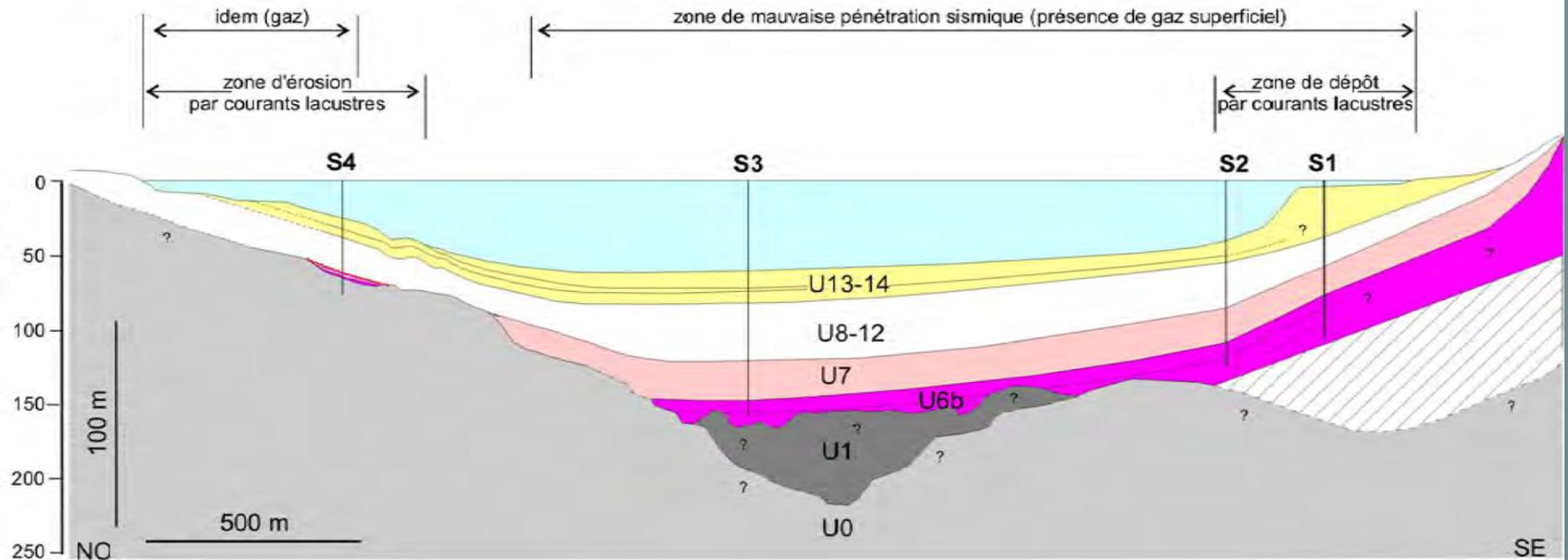


Figure 9. Ligne sismique haute résolution par canon à-air - ah2 (Vengeron-Belotte) brute et interprétée

Source: rapport Institut Forel 2009

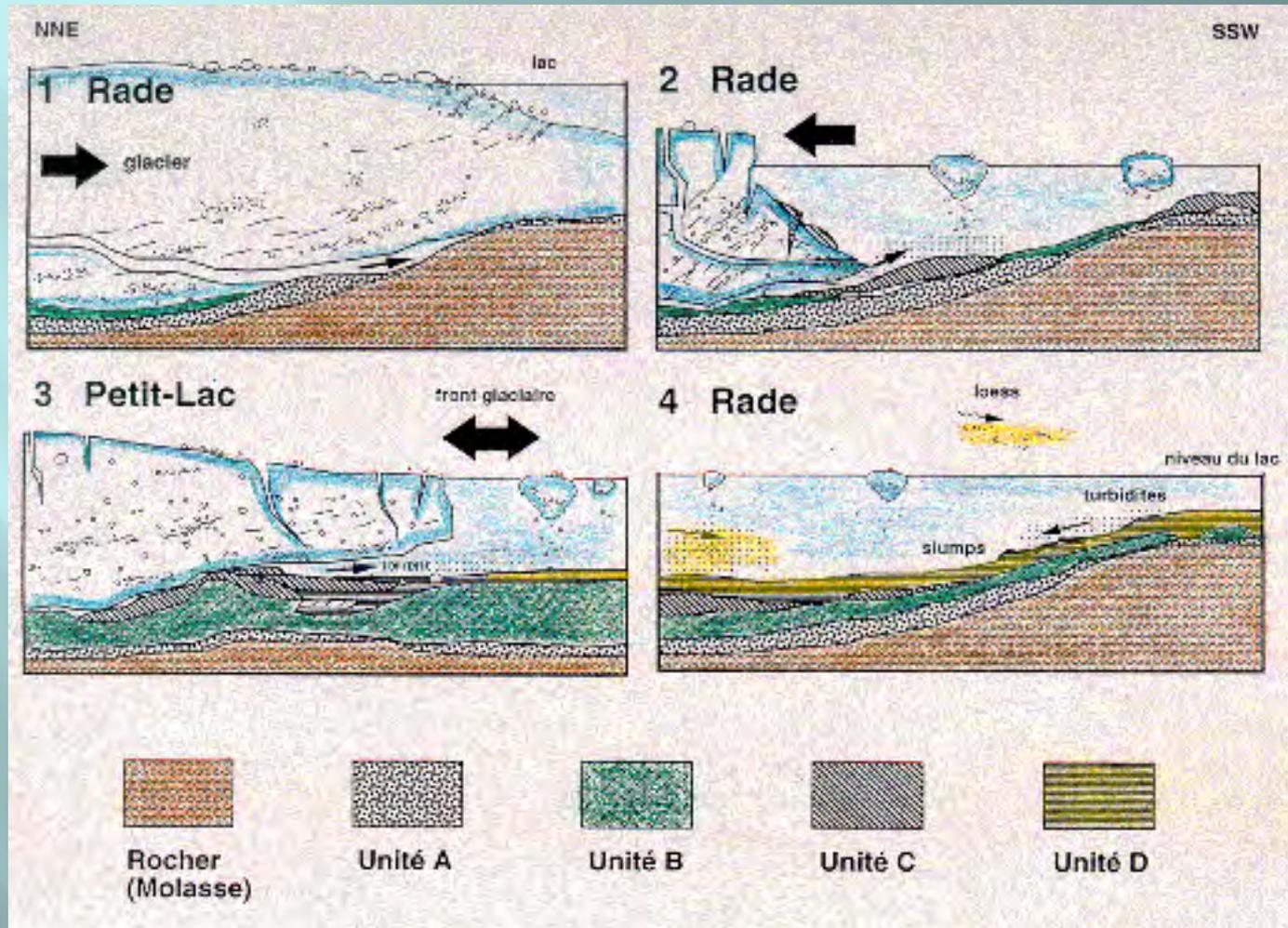
Profil sismostratigraphique du Lac Léman (Vengeron-Belotte)



Source: rapport Institut Forel 2009

Séquence glaciaire de la Rade de Genève: une comparaison

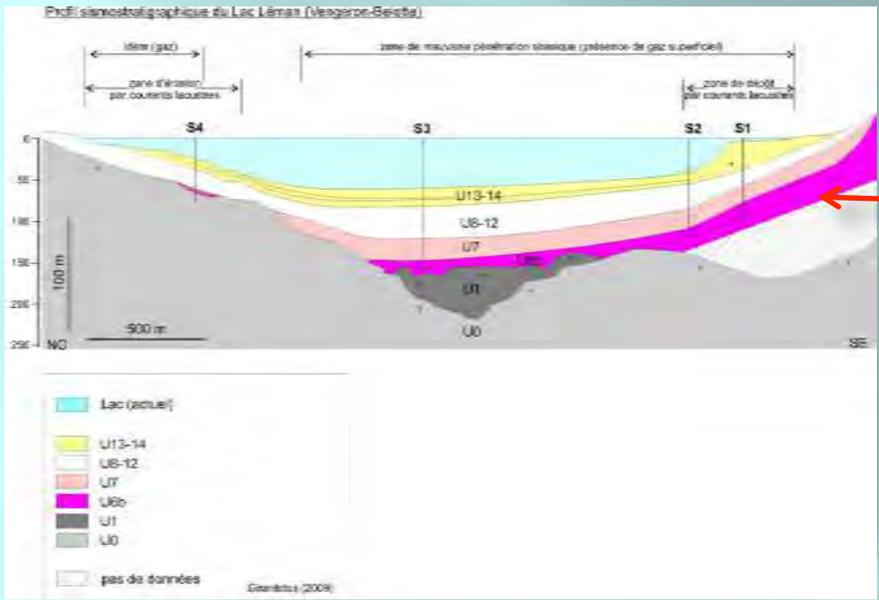
(Moscariello 1996)



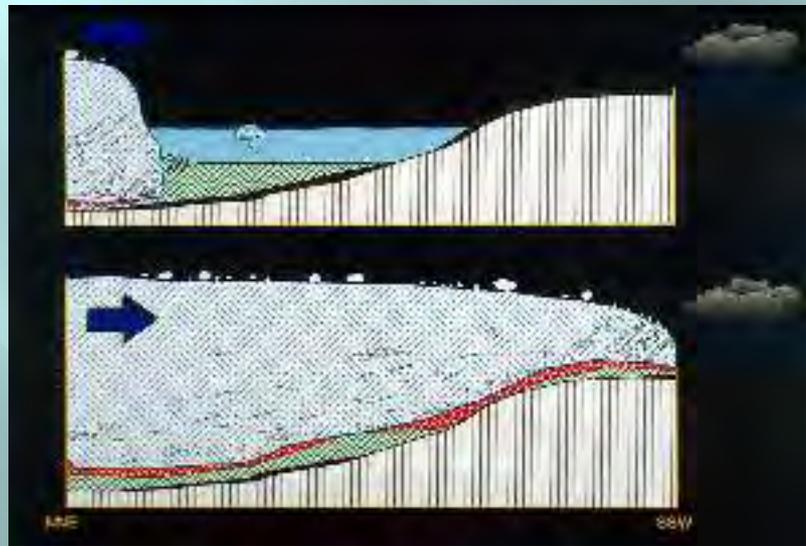
Sondages 1996



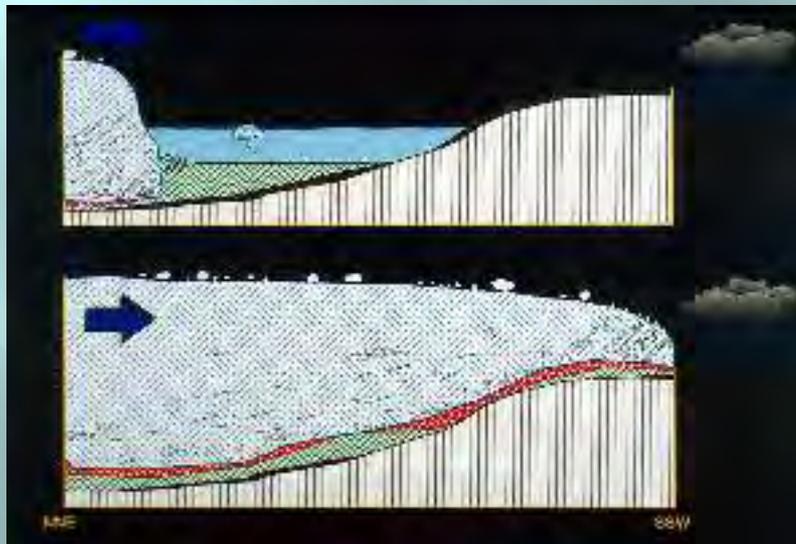
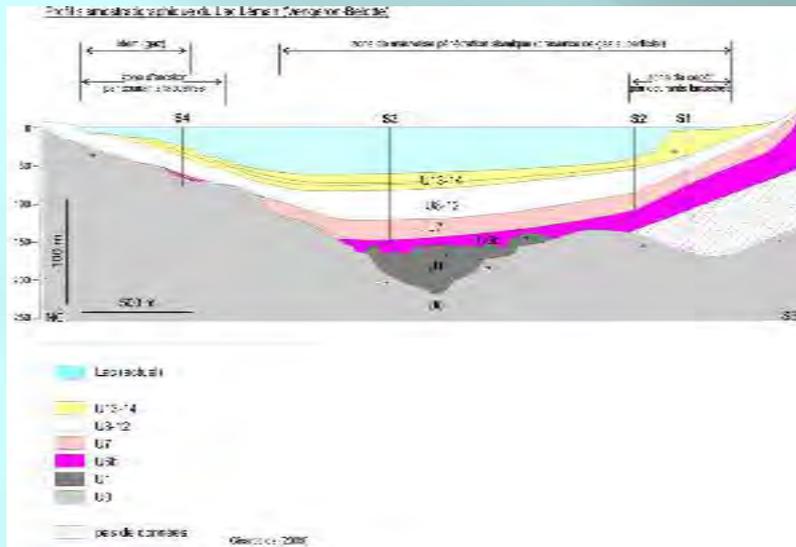
Rade Unité A



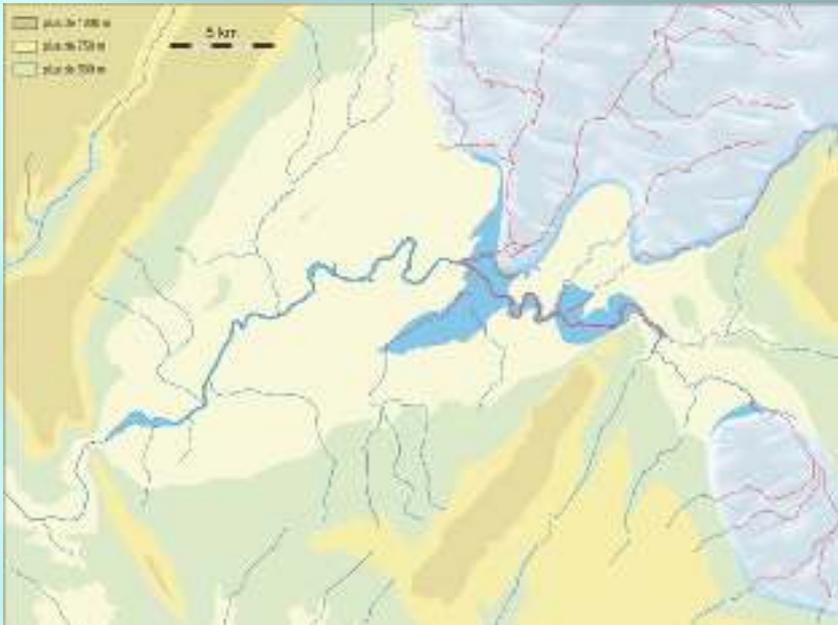
Rade Unité A



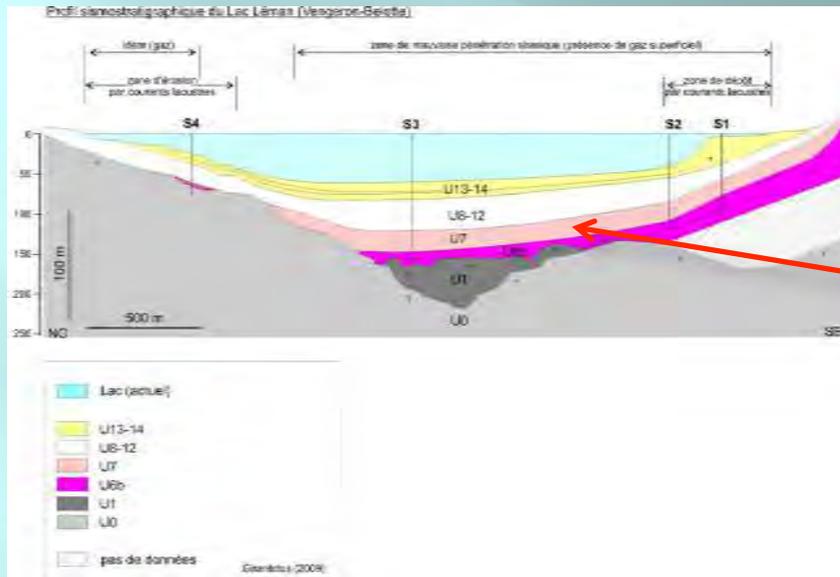
Rade Unité B



Rade Unité B



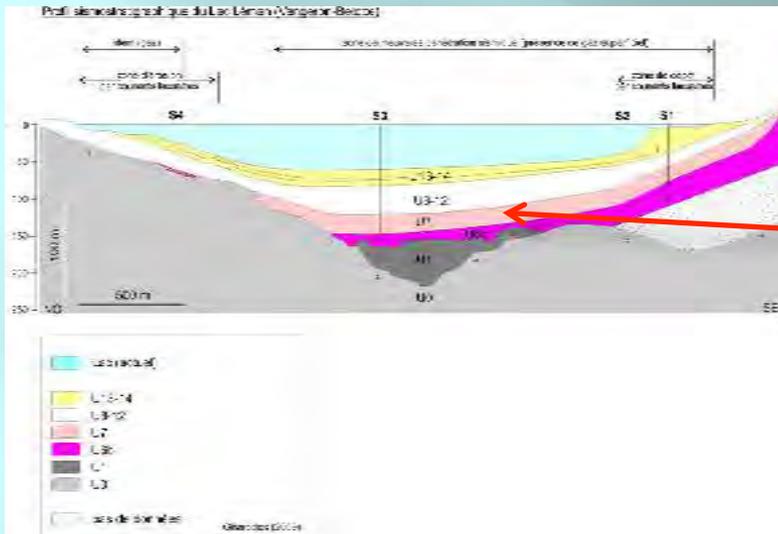
Rade Unité C1



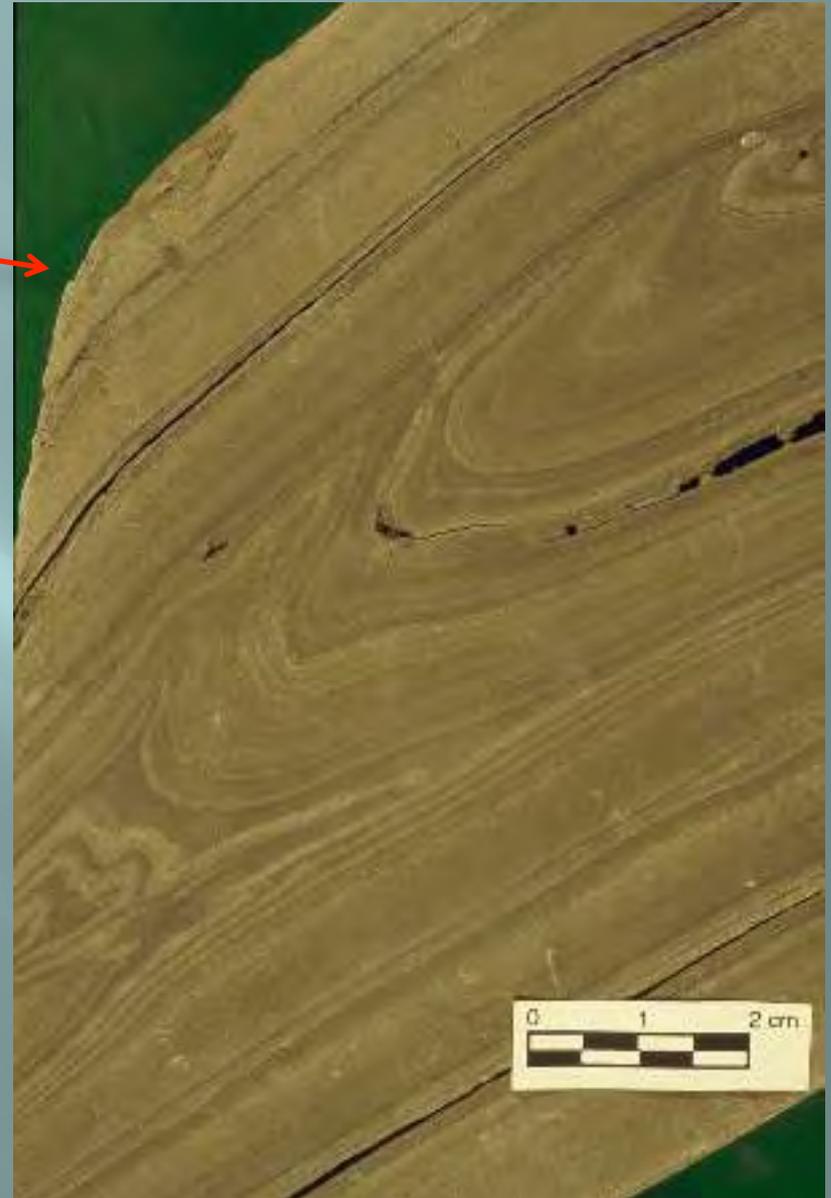
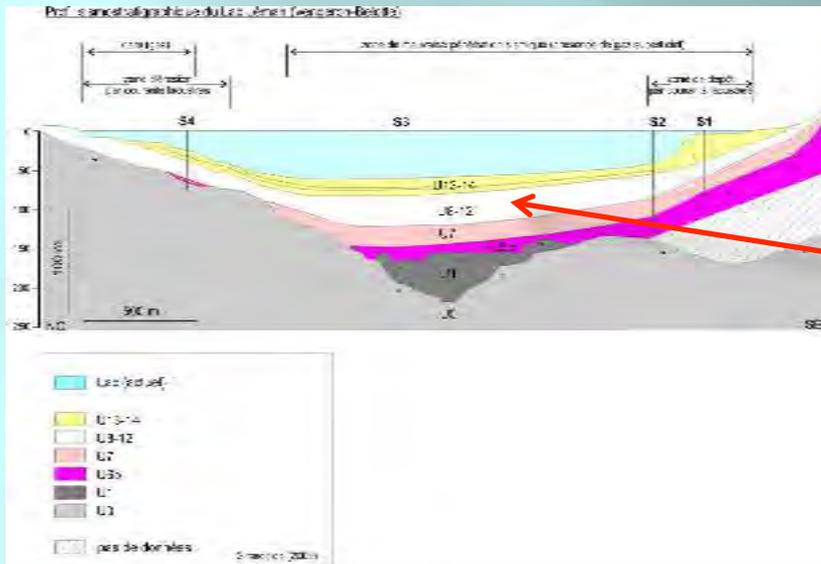
Rade Unité C1



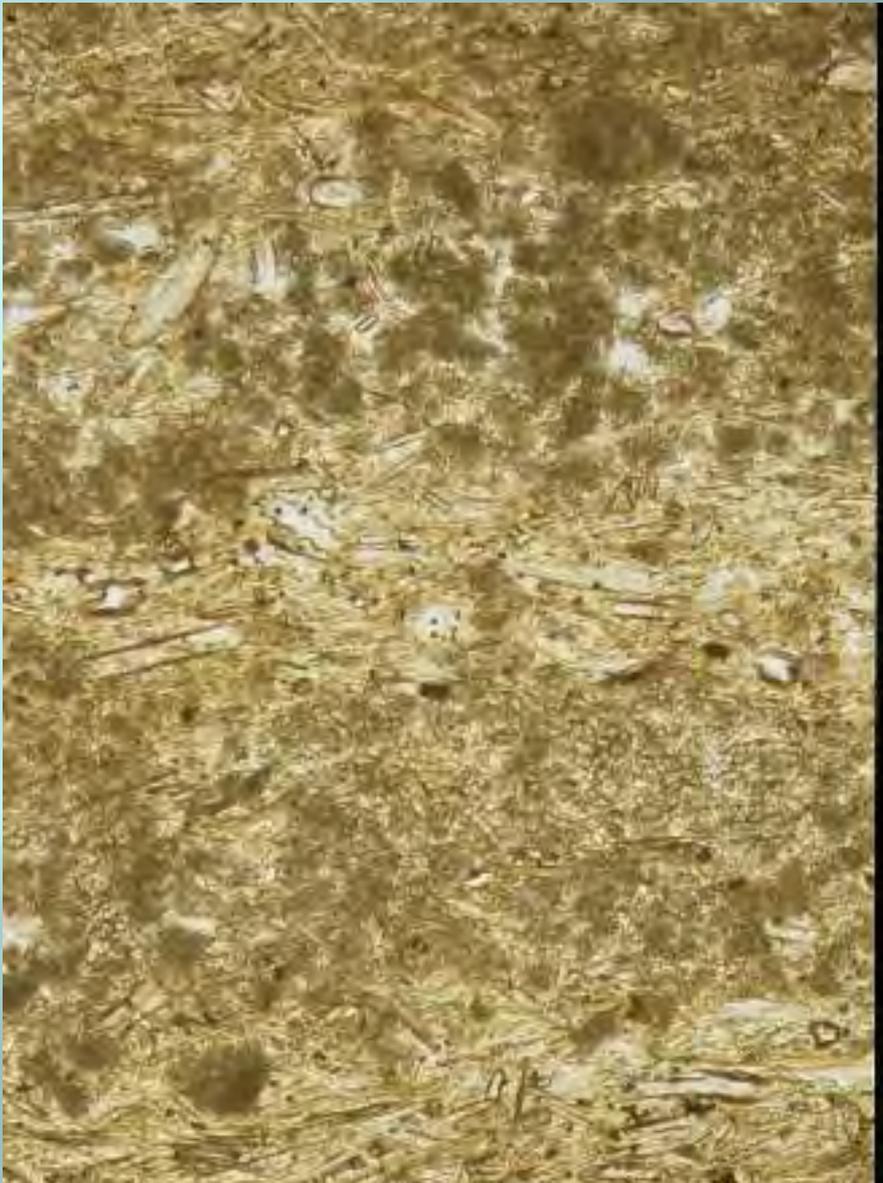
Rade Unité D 1



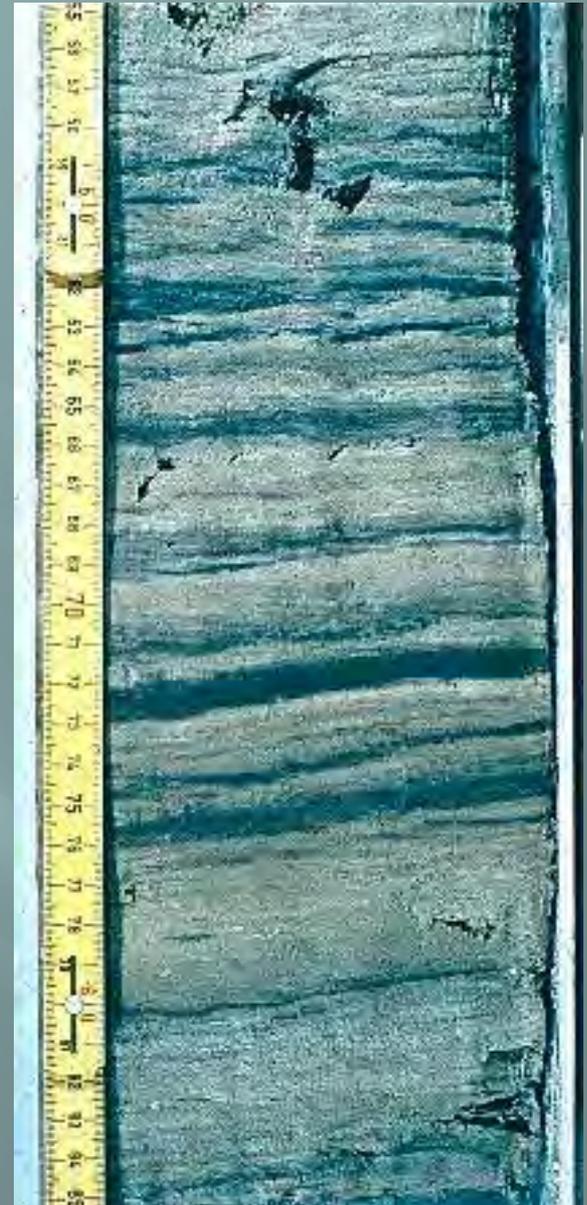
Rade Unité D 1



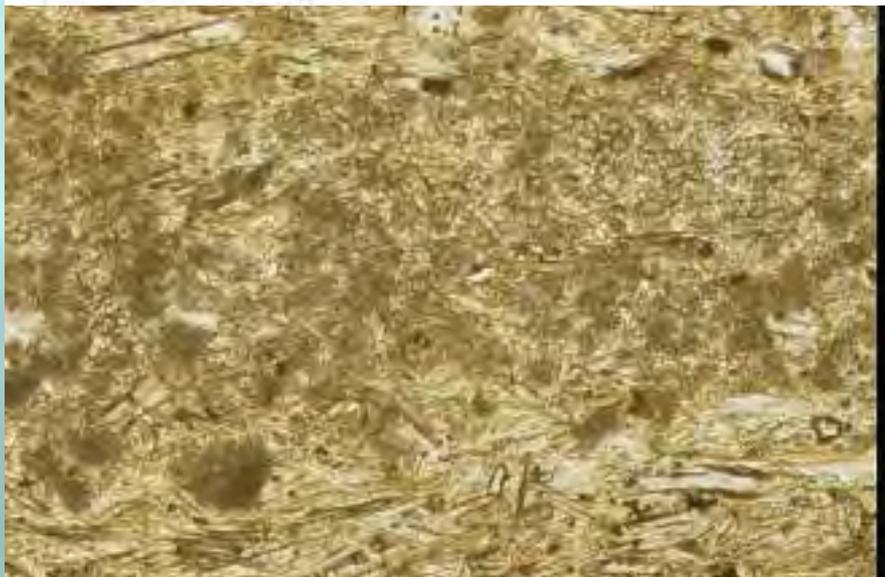
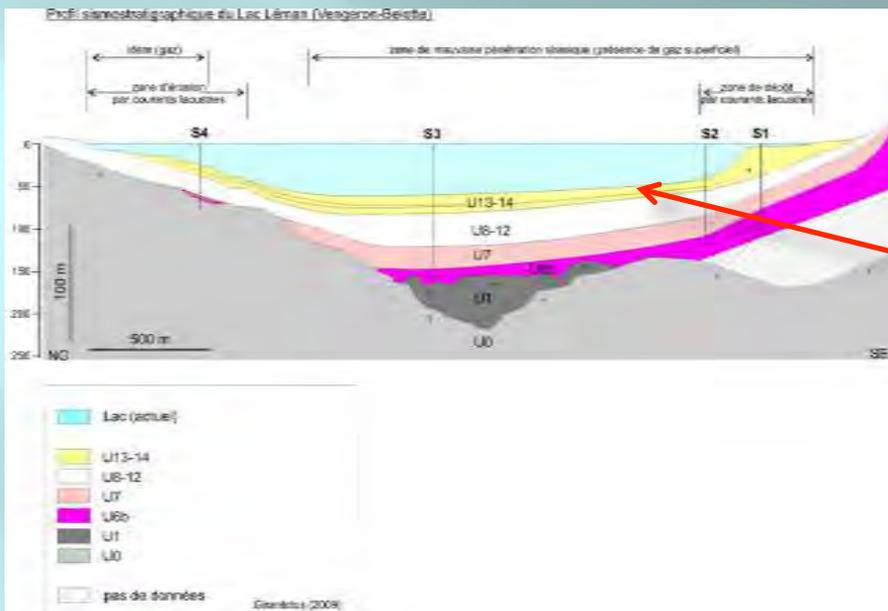
Rade Unité D 3



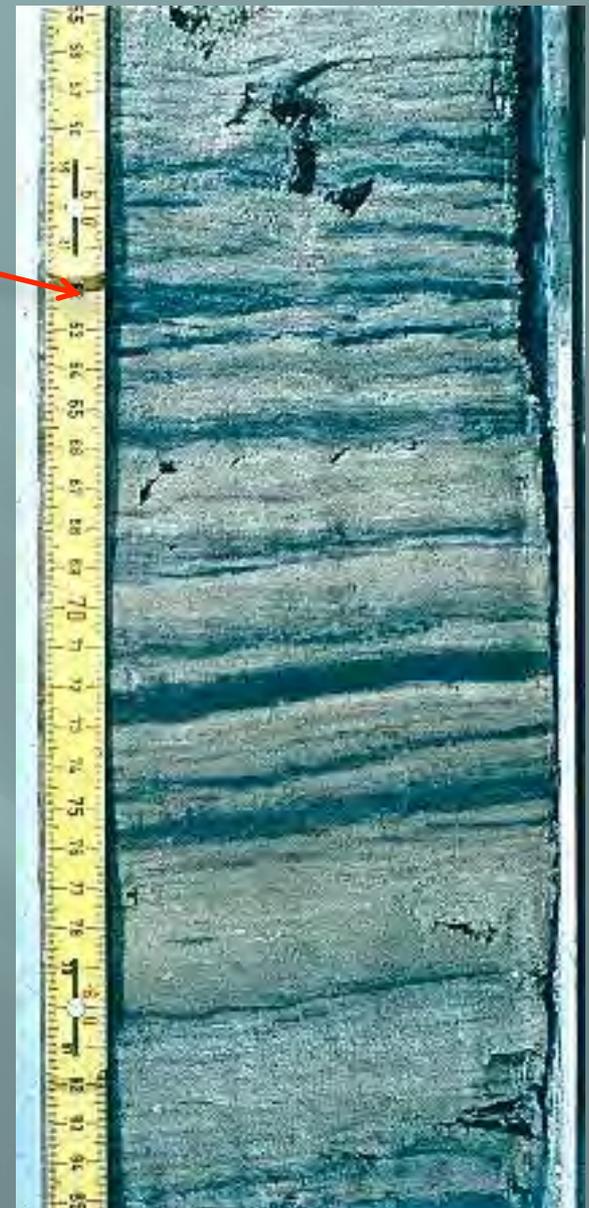
**craie lacustre, hauteur slide: env.
3 cm**



**sédiments
postglaciaires**



**craie lacustre, hauteur slide: env.
3 cm**



**sédiments
postglaciaires**

Conclusions de la présentation du 5/04/2017

Variantes en tunnel sous-lacustre

- toute construction d'un tunnel dans les sédiments de retrait glaciaires et les sédiments lacustres postglaciaires est à éviter. De même que les variantes de pose d'un «tuyaux» au fond du lac, respectivement la pose d'un «tuyaux» dans les couches de surface: 1) impact environnemental énorme, 2) incertitude technique concernant la faisabilité du projet dans ces sédiments fortement mobiles, 3) problème de l'inhomogénéité des terrains (présence de blocs erratiques du genre Pierres du Niton). La prévision des coûts et des délais de réalisation est à peu de choses près impossible
- seul moyen pour éviter ces risques: ouvrage en tunnel dans la Molasse
- **LA PLUS GRANDE SURPRISE GEOLOGIQUE D'UN TUNNEL DE TRAVERSEE DU LAC, CE SERAIT DE N'AVOIR AUCUNE SURPRISE GEOLOGIQUE !**

Conclusions de la présentation du 5/04/2017

Variantes en tunnel sous-lacustre

Avertissement: toute variante de tunnel affectant les sédiments de surface devra par ailleurs 19tenir compte de deux contraintes:

- 1) déplacement et éventuellement abandon de la prise d'eau potable au large du Vengeron (80% de l'eau potable du Canton de Genève)**
- 2) enlèvement des munitions déposées au fond du lac depuis les années 1930.**

Conclusions de la présentation du 5/04/2017

Variantes de traversée par un pont haubané

- **la construction de fondements pour un pont haubané paraît possible sur les deux rives du lac, de même que dans le lac même, sur rive droite, tant que les sédiments de retrait glaciaire et les sédiments lacustres recouvrant la Molasse et la moraine basale compacte (Unité 6 sur slide 5) peuvent être enlevés pour permettre le fondement des piliers sur un substrat approprié**
- **la construction de fondements pour des piliers de pont sur et dans les dépôts de retrait glaciaire et les sédiments lacustres de surface est à éviter**

Bouclément autoroutier de l'agglomération franco-valdo-genevoise

Mission d'expertise

Analyse des impacts sur la nature et le paysage des variantes pont et tunnel du projet de traversée du lac

10 mai 2017



Ordre du jour

1. Surfaces et volumes concernés - Variantes de projet
2. Présentation des risques et impacts : tableaux de synthèse
 - Milieux et flore
 - Faune aquatique
 - Avifaune
 - Chiroptères
 - Vertébrés terrestres
 - Paysage
3. Mesures minimisation et de compensation
4. Synthèse et conclusion
5. Questions et échanges

1. Surfaces et volumes concernés – Variantes de projet

| Variantes | Situation | Etapes | Phases | Surfaces terrestres impactées (ha) | Surfaces lacustres impactées (ha) | Dont surfaces d'herbiers (ha) | |
|--------------|--|--|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|-------------|
| Ponts | Accroche Vengeron // Rive droite | Installation de chantier | Chantier | 3.00 | - | - | |
| | | | Exploitation | Remis en état | - | - | |
| | | Batardeau en phase de chantier et extension en remblai en phase d'exploitation | Chantier | - | 3.70 | 2.90 | |
| | | | Exploitation | - | 2.60 | 2.05 | |
| | Accroche Pointe-à-la-Bise // Rive gauche | Installation de chantier | Chantier | 1.50 | - | - | |
| | | | Exploitation | Remis en état | - | - | |
| | | Batardeau | Chantier | - | 0.15 | - | |
| | | | Exploitation | - | Remis en état | - | |
| | | Galeries immergées | Chantier | - | 1.35 | 1.25 | |
| | | | Exploitation | - | 1.10 | 1.00 | |
| | | Ile artificielle | Chantier | - | 1.05 | 0.75 | |
| | | | Exploitation | - | 0.85 | 0.60 | |
| | | Galerie émergée (ou trémie) | Chantier | - | 0.90 | - | |
| | | | Exploitation | - | Remis en état | - | |
| | | Embases (pour le pont suspendu) : concerne uniquement la rive gauche car compris dans le remblai en rive droite) | Chantier | - | 0.40 | - | |
| | | | Exploitation | - | 0.40 | - | |
| | Tronçon lacustre | Pylônes | Chantier | - | 0.75 | - | |
| | | | Exploitation | - | 0.75 | - | |
| | Totaux | | | Chantier | 4.50 | Multi-haubané : 7.90 Pont suspendu : 8.30 | 4.90 |
| | | | | Exploitation | Remis en état | Multi-haubané : 5.30 Pont suspendu : 5.70 | 3.65 |

Volumes de sédiments : Multi-haubané = env. 300'000 m³ // Suspendu = env. 400'000 m³

1. Surfaces et volumes concernés – Variantes de projet

| Variantes | Situation | Etapes | Phases | Surfaces terrestres impactées (ha) | Surfaces lacustres impactées (ha) | Dont surfaces d'herbiers (ha) |
|-----------|--|-------------------------------------|---------------|--|---|---|
| Tunnels | Accroche Vengeron // Rive droite | Installation de chantier | Chantier | 3.00 | - | - |
| | | | Exploitation | Remis en état | - | - |
| | | Batardeau en phase de chantier | Chantier | - | 0.35 | 0.05 |
| | | | Exploitation | - | Remis en état | - |
| | Accroche Pointe-à-la-Bise // Rive gauche | Installation de chantier | Chantier | 1.50 | - | - |
| | | | Exploitation | Remis en état | - | - |
| | | Batardeau en phase de chantier | Chantier | - | 0.80 | 0.60 |
| | | | Exploitation | - | Remis en état | - |
| | Darse | | Chantier | 0.50 | 4.50 | Inconnu |
| | | | Exploitation | Remis en état | - | - |
| | Tronçon lacustre | Tunnel immergé sur le fond lacustre | Chantier | - | 50.40 | 8.80 (5.5 ha en rive droite et 3.3 ha en rive gauche) |
| | | | Exploitation | - | 23.00 | 4.00 (2.5 ha en rive droite et 1.5 ha en rive gauche) |
| | | Tunnel flottant | Chantier | - | < 1 ha | - |
| | | | Exploitation | - | < 1 ha | - |
| Totaux | | Chantier | 5.00 | Fond lacustre : 56.05 Flottant : 6.65 | Fond lacustre : 9.45 Flottant : 0.00 | |
| | | Exploitation | Remis en état | Fond lacustre : 23.00 Flottant : < 1 ha | Fond lacustre : 4.00 Flottant : 0.00 | |

Volumes de sédiments : Fond lacustre = **env. 4'000'000 m³** // Flottant = inconnu (< à 1 mio)

2. Risques et impacts : Milieux et flore

| Variantes | | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|------------------------------|--|--------------------|------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts certains | Destruction de milieux terrestres | Faible à moyen | Neutre à positif | Faible à moyen | Neutre à positif | Faible à moyen | Neutre à positif | Faible à moyen | Neutre à positif |
| | Destruction de milieux aquatiques (herbiers) | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | - |
| | Destruction de milieux aquatiques hors herbiers | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Fort | Fort | Moyen à fort | Moyen |
| Impacts potentiels / Risques | Dégradation des milieux aquatiques : mise en suspension des sédiments | Moyen à fort | - | Moyen à fort | - | Fort | - | Moyen à fort | - |
| | Dégradation des milieux lacustres : modification de la courantologie et de la sédimentologie | - | Faible | - | Faible | - | - | - | Faible |
| | Dégradation des milieux riverains : batillage | Faible | - | Faible | - | Faible | - | Faible | - |

Référentiel : Petit-Lac





2. Risques et impacts : Faune aquatique

| | | Variantes | | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|------------------------------|--|-------------|--------|--------------------|--------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | | Phases | | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts certains | Destruction de milieux aquatiques (herbiers, enrochements, fond limono-graveleux) | Faible | Faible | Faible | Faible | Moyen à fort | Moyen | Faible | Faible | | |
| | Dérangements/perturbations : mise en suspension des sédiments | Moyen | - | Moyen | - | Moyen à fort | - | Moyen | - | | |
| | Dégradation des milieux lacustres : modification de la courantologie et de la sédimentologie | - | Faible | - | Faible | - | - | - | Négligeable | | |
| Impacts potentiels / Risques | Dérangements/perturbations (bruit, vibrations, lumière) | Négligeable | - | Négligeable | - | Négligeable | - | Négligeable | - | | |

Référentiel : Petit-Lac

2. Risques et impacts : Avifaune



2. Risques et impacts : Avifaune

| | Variantes | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|---------------------------------------|--|--------------------|----------------|---------------|----------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Phases | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts certains | Destruction de milieux terrestres | Faible | - | Faible | - | Faible | - | Faible | - |
| | Destruction de milieux aquatiques | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible | Faible |
| Impacts potentielles / Risques | Dégradation des milieux lacustres : mise en suspension des sédiments | Moyen | - | Moyen | - | Moyen à fort | - | Moyen | - |
| | Dégradation des milieux lacustres : modification de la courantologie et de la sédimentologie | - | Faible | - | Faible | - | - | - | Négligeable |
| | Dérangements/perturbations (bruit, vibrations, lumière, trafic lacustre) | Moyen | Faible à moyen | Moyen | Faible à moyen | Moyen | - | Moyen | - |
| | Mortalité : collision | - | Moyen à fort | - | Moyen à fort | - | - | - | - |

2. Risques et impacts : Avifaune



Pont de l'Oresundsbron (Suède-Danemark)

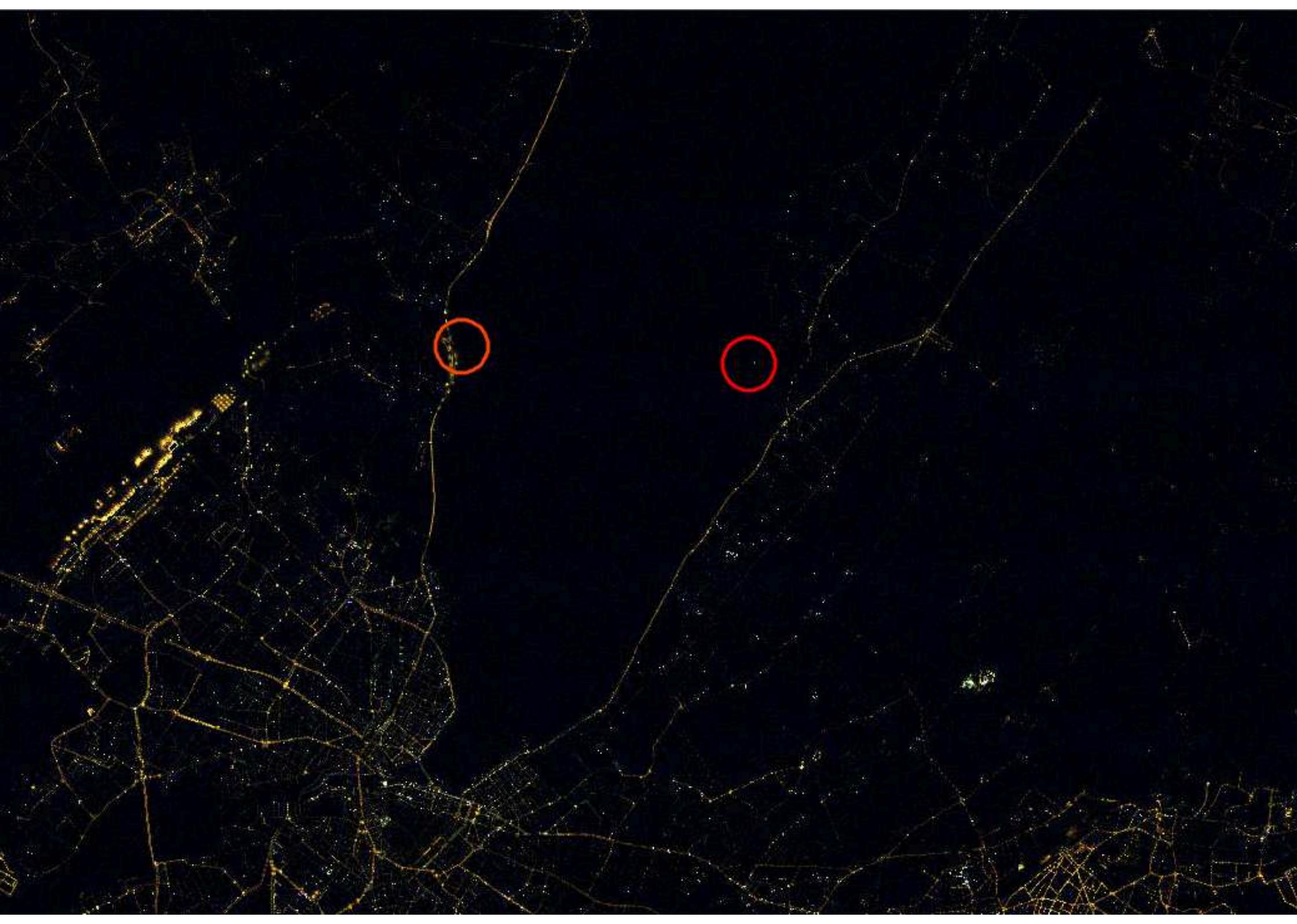
2. Risques et impacts : Chiroptères

| | Variantes | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|-------------------------------------|--|--------------------|--------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Phases | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts certains | Destruction de milieux terrestres | Faible | - | Faible | - | Faible | - | Faible | - |
| Impacts potentiels / Risques | Dérangements/perturbations liés à l'éclairage (déplacements, secteurs de chasse) | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | Moyen à fort | - | Moyen à fort | - |
| | Dérangements/perturbations : bruit, vibrations | Négligeable | - | Négligeable | - | Négligeable | - | Négligeable | - |
| | Mortalité : collision avec le trafic | - | Moyen | - | Moyen | - | - | - | - |

Référentiel : Petit-Lac

Sérotine bicolore (en danger à GE)



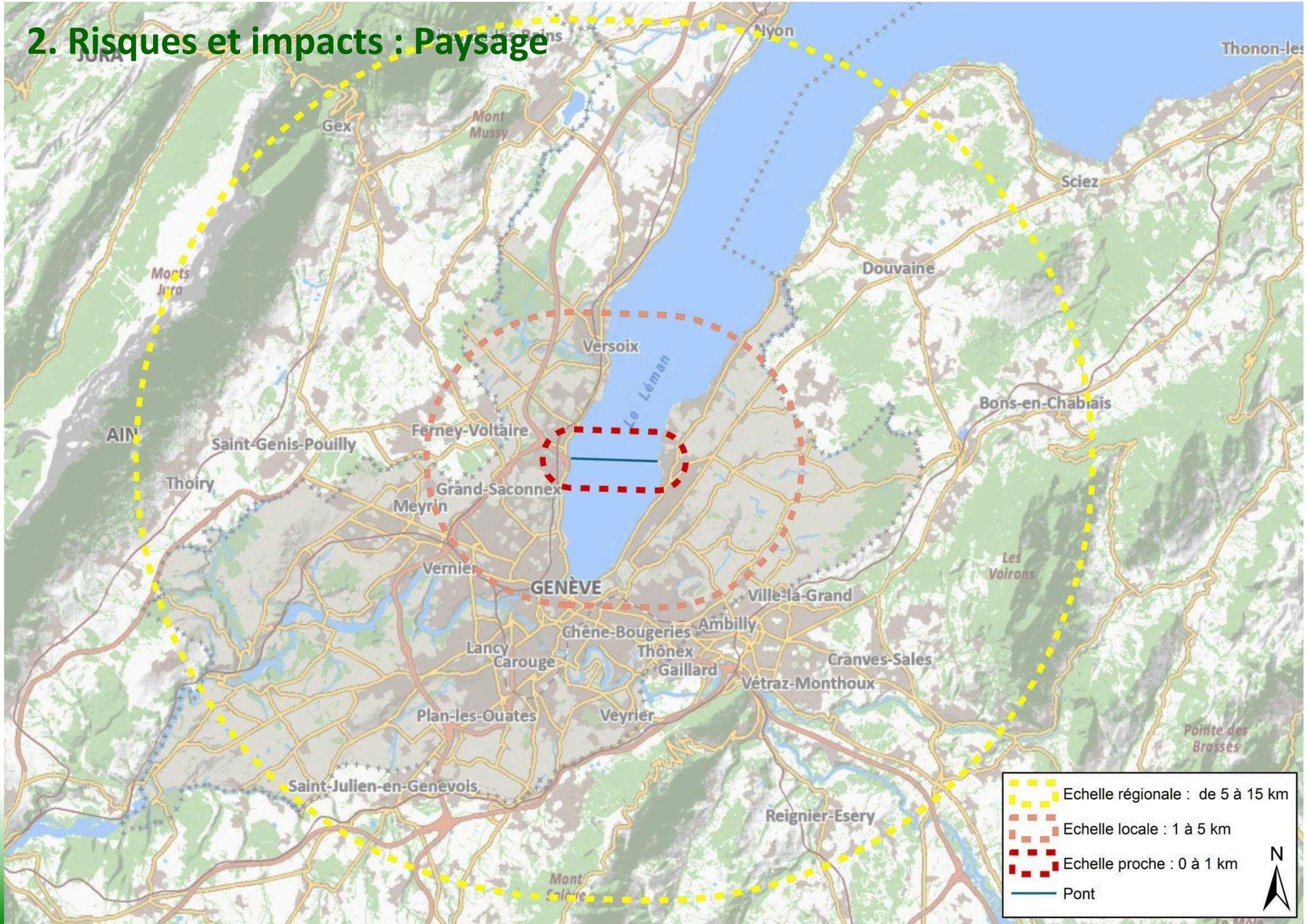


2. Risques et impacts : Vertébrés terrestres

| | | Variantes | | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|------------------------------|---|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|--------------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | | Phases | | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts certains | Destruction de milieux terrestres | Négligeable à faible | Neutre à positif | Négligeable à faible | Neutre à positif | Négligeable à faible | Neutre à positif | Négligeable à faible | Neutre à positif | Négligeable à faible | Neutre à positif |
| | Dérangements/perturbations (bruit, vibrations, lumière) | Faible à moyen | - | Faible à moyen | - | Faible à moyen | - | Faible à moyen | - | Faible à moyen | - |
| Impacts potentiels / Risques | Perturbation des déplacements / connectivité | Moyen | - | Moyen | - | Moyen | - | Moyen | - | Moyen | - |

Référentiel : Petit-Lac

2. Risques et impacts : Paysage



2. Risques et impacts : Paysage

| | Variantes | Pont multi-haubané | | Pont suspendu | | Tunnel sur fond lacustre | | Tunnel flottant | |
|---------|-------------------------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Phases | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation | Réalisation | Exploitation |
| Impacts | Echelle régionale : 5 à 15 km | Faible à moyen | Moyen à fort | Faible à moyen | Moyen à fort | Négligeable | - | Négligeable | - |
| | Echelle locale : 1 à 5 km | Moyen | Fort | Moyen | Fort | Faible | - | Faible | - |
| | Echelle proche : 0 à 1 km | Moyen à fort | Fort | Moyen à fort | Fort | Faible à moyen | - | Faible à moyen | - |



3. Mesures de minimisation et de compensation

Dégradation des milieux - MES

- Mise en suspension des sédiments
 - ➔ Mise en place de barrages filtrants : sédimentation
 - ➔ Mode d'excavation des sédiments à étudier



3. Mesures de minimisation et de compensation

Dégradation des milieux, suite

- Navigation : définition d'un périmètre précis pour les trajets et manœuvres, vitesse, etc.
 - ➔ Limitation du batillage sur les milieux riverains sensibles (roselières Pointe-à-la-Bise)
- Mise en place d'un brise-vagues temporaire protégeant la réserve



Dérangements /nuisances / collision : lumières

- Minimisation des impacts liés à l'éclairage en phases de chantier et d'exploitation
 - ➔ Orientation, forme de l'ampoule, période d'usage, longueurs d'ondes adaptées, modulation en fonction des pics de migrations, du temps, etc.

3. Mesures de minimisation et de compensation

Dérangements /nuisances / collision : lumières

- Mise en place d'éclairages stroboscopiques et/ou de réflecteurs
- Eviter/limiter les éclairages à but «esthétique»

Perturbation des déplacements

- Mise en place de barrières/parois étanches à la faune autour des emprises du chantier
 ➔ Eviter le piégeage

Autres

- Couleur de l'ouvrage : préférer une couleur contrastée avec l'arrière-plan
- Diamètre des câbles ≥ 20 cm ou mise en place de marquages
- Mise en place de filets le long du tablier du pont afin de retenir les déchets
- Collecte et traitement des eaux pluviales (risque de pollution)

3. Mesures de minimisation et de compensation

- Remise en état des milieux terrestres et aquatiques → plus-value / état actuel
- Aménagement de milieux de valeurs sur l'extension du Vengeron
- Aménagement de l'île sur la galerie semi-immersée des variantes de pont
- Déplacement du camping et agrandissement de la réserve naturelle de Pointe-à-la-Bise
- Revitalisation / agrandissement de la réserve naturelles des Crénées (VD)



3. Mesures de minimisation et de compensation

- Revitalisation de la réserve naturelle de Pointe-à-la-Bise (plan de gestion)
- Revitalisation du Creux-de-Genthod
- Aménagement d'îles artificielles à la Pointe-à-la-Bise
- Pose de nichoirs artificielles sur le tablier et les pylônes du pont (avifaune, chiroptères)

Rappel des surfaces impactées :

| Variantes | Surfaces lacustres impactées (ha) | Dont surfaces d'herbiers (ha) |
|-----------|--|---|
| Ponts | Multi-haubané : 5.40 Pont suspendu : 5.70 | 3.65 |
| Tunnels | Fond lacustre : 23.00 Flottant : >1.00 | Fond lacustre : 4.00 Flottant : 0.00 |

Mesures compensatoires :

| Variantes | Surfaces (ha) |
|--------------------------------------|---------------|
| Camping Pointe-à-la-Bise | 2.70 |
| Réserve des Crénées | 1.00 |
| Extension du Vengeron | 1.30 |
| Ile sur la galerie | 0.85 |
| Iles au large de la Pointe-à-la-Bise | 0.20 |
| Totaux | 6.05 |

4. Synthèse et conclusion

Impacts certains

- Destruction de vastes surfaces de milieux terrestres et aquatiques → Impact fort
- Paysage à proximité de l'ouvrage → Impact fort

Impacts potentiels / Risques

Ampleur et gravité complexe à appréhender en l'état → Nombreuses inconnues

- Pont : collision oiseau, lumière
- Tunnel : matières en suspension (MES)

| | | Phase de réalisation | Phase d'exploitation |
|---------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Variantes de pont | Multi-haubané | -- | --- |
| | Suspendu | -- | --- |
| Variantes de tunnel | Fond lacustre | --- | -- |
| | Flottant | - | - |

4. Synthèse et conclusion

Compensation des impacts

- Tunnels : si enfouissement de l'ouvrage \longrightarrow plus d'impact définitif
- Bilan global potentiellement neutre à positif sous réserve mise en œuvre des mesures précitées



5. Questions et échanges



Communes de la rive droite du lac

CONSEIL CONSULTATIF DE LA TRAVERSÉE DU LAC

Vue d'ensemble



Position commune

- ▶ **Traversée indispensable**
- ▶ Préserver les rives du lac et cadre général
- ▶ Réduire les nuisances (bruit, lumière)
- ▶ Mesures d'accompagnement (pas de nouvel accès proche des rives)
- ▶ Prendre en compte les projets en cours

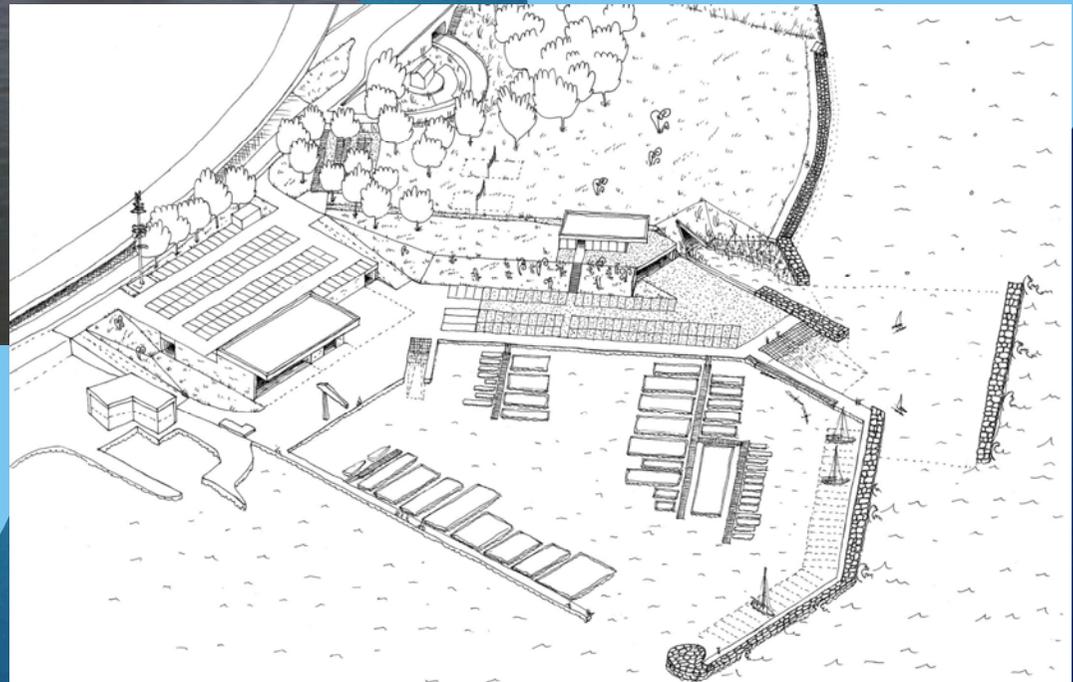
Le cadre du Vengeron



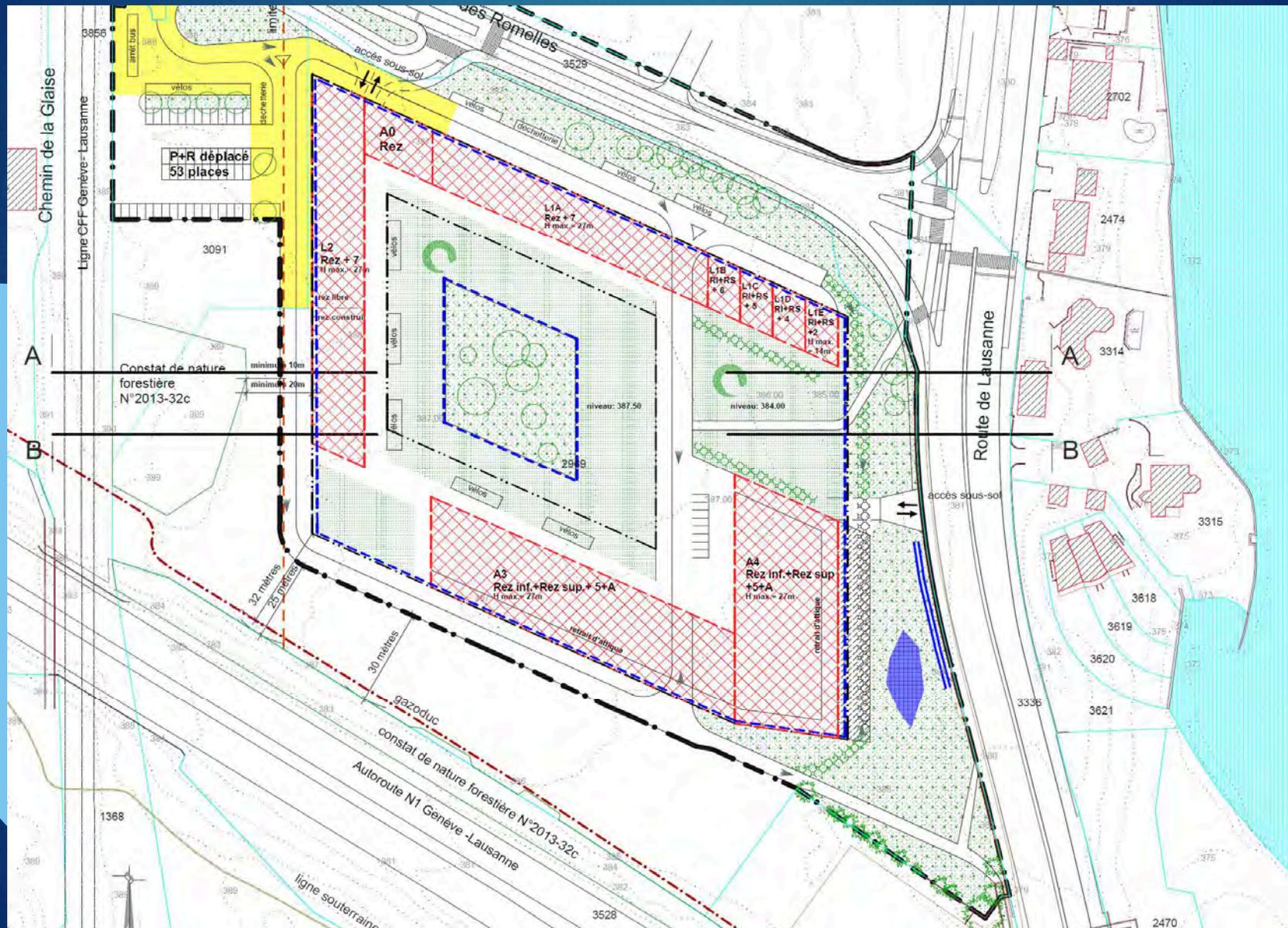
Le site depuis la rive droite



Projets



Champ-du-Château



Champ-du-Château



Conclusion : tunnel-pont-tunnel

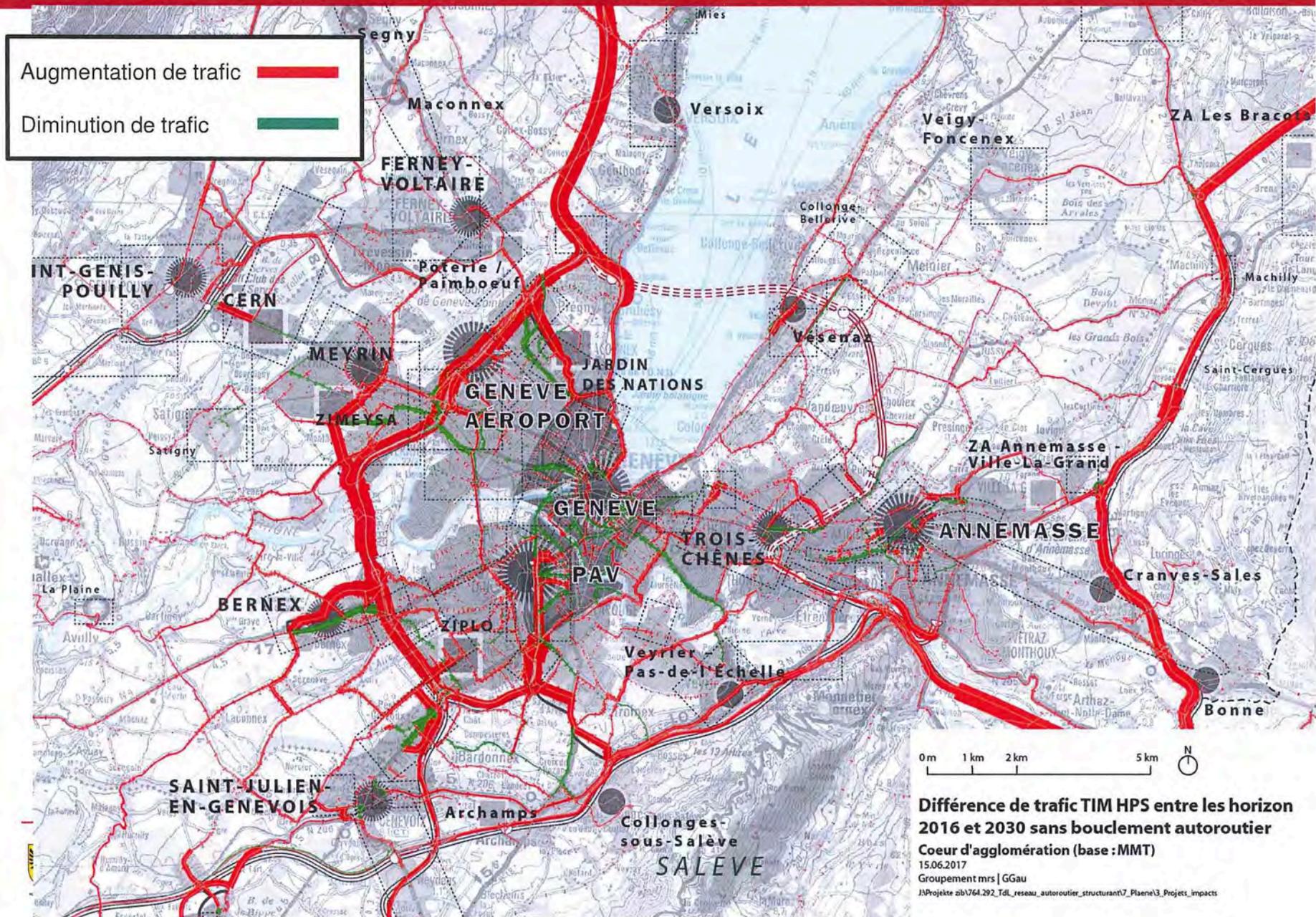


SOLUTION PONT

RTS UN

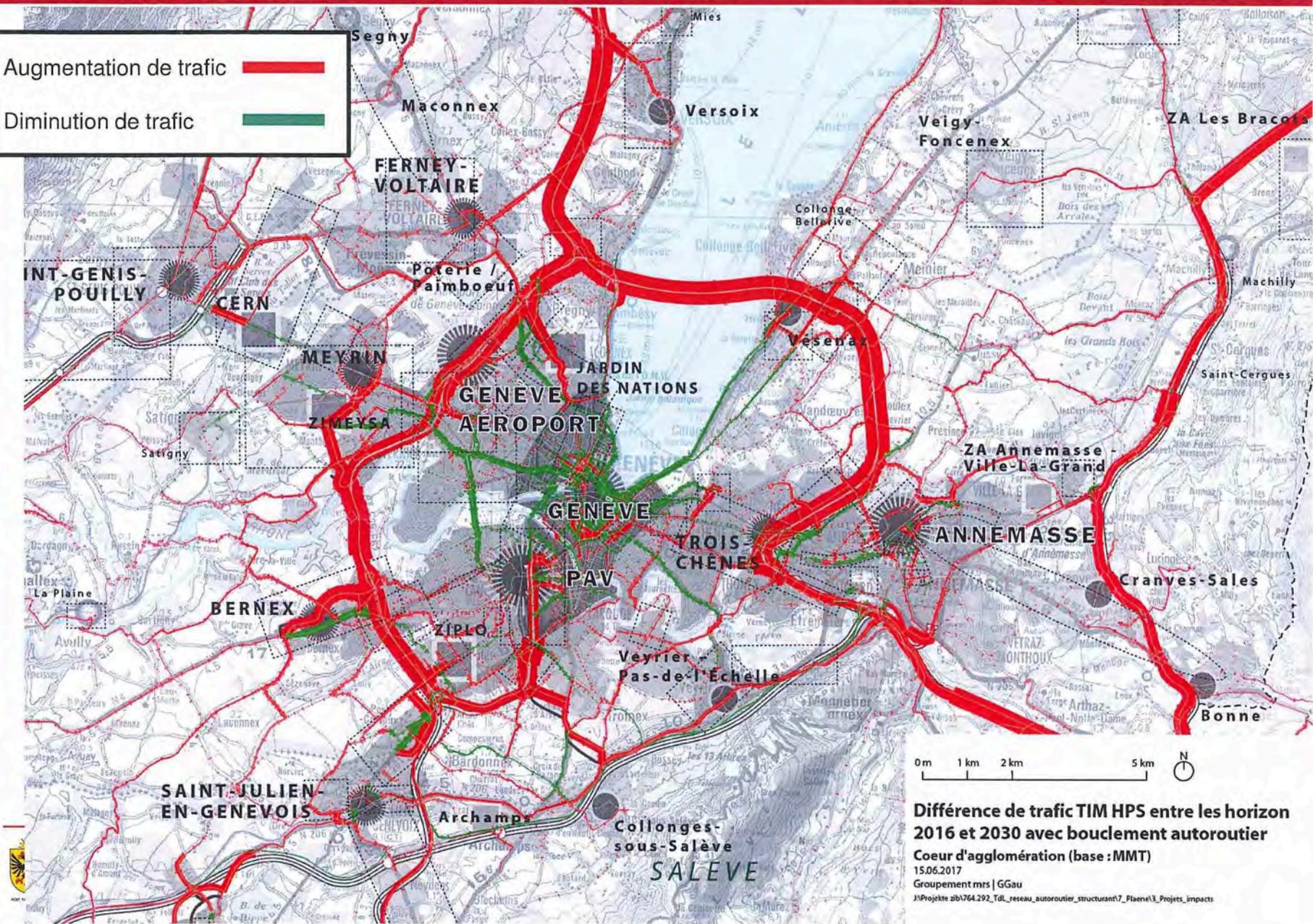
PRESENTATION DES COMMUNES DE LA RIVE GAUCHE

EVOLUTION 2016 - 2030, SANS LA TRAVERSÉE DU LAC



EVOLUTION 2016 - 2030, AVEC LA TRAVERSÉE DU LAC

Augmentation de trafic —
Diminution de trafic —



0m 1km 2km 5km N

Différence de trafic TIM HPS entre les horizon 2016 et 2030 avec bouclément autoroutier

Coeur d'agglomération (base : MMT)

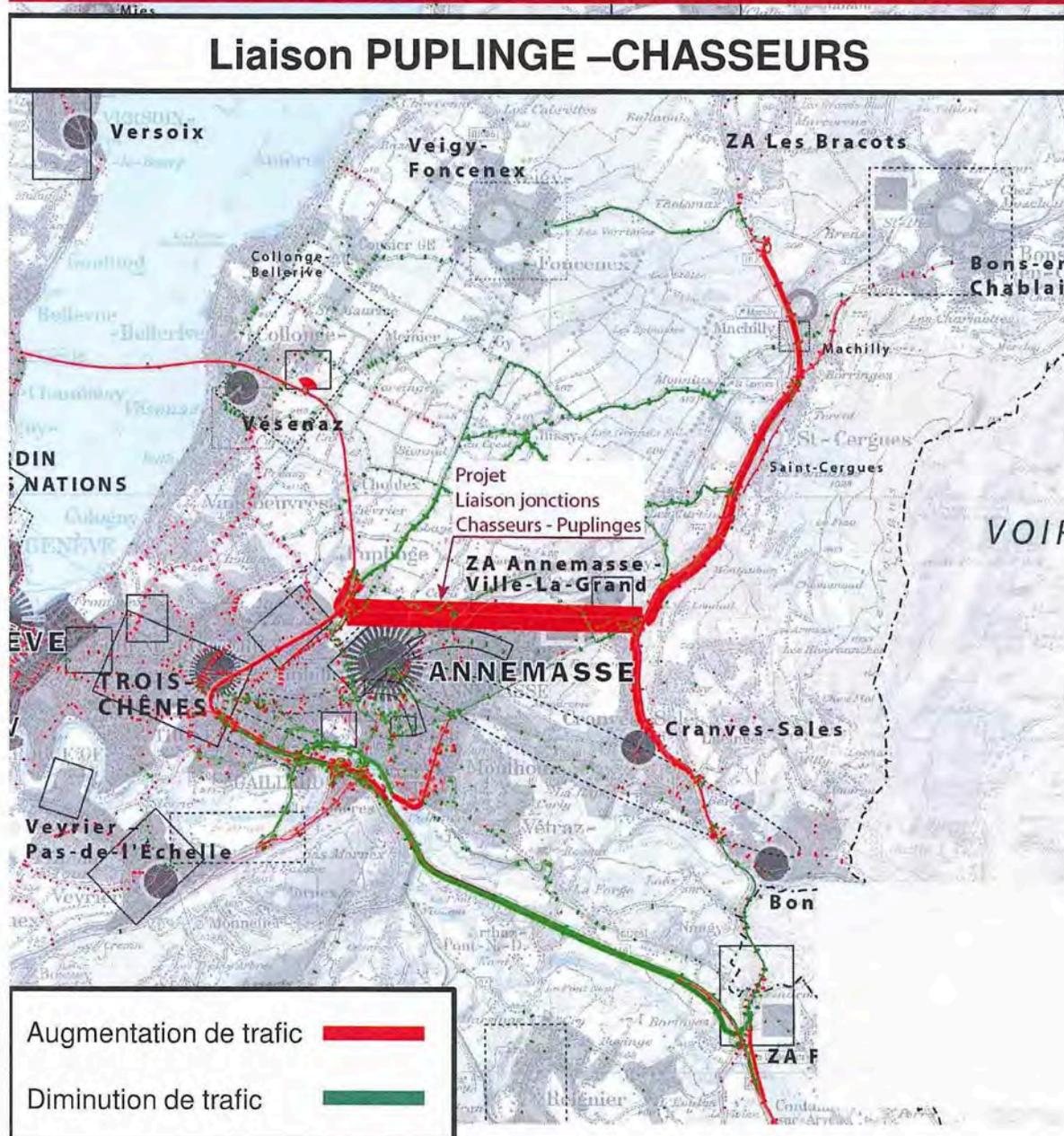
15.06.2017

Groupement mrs | GGau

J:\Projet\zib\764.292_TdI_reseau_autoroutier_structurant7_Plaene\3_Projets_impacts

EVALUATION D'UNE NOUVELLE LIAISON ROUTIÈRE

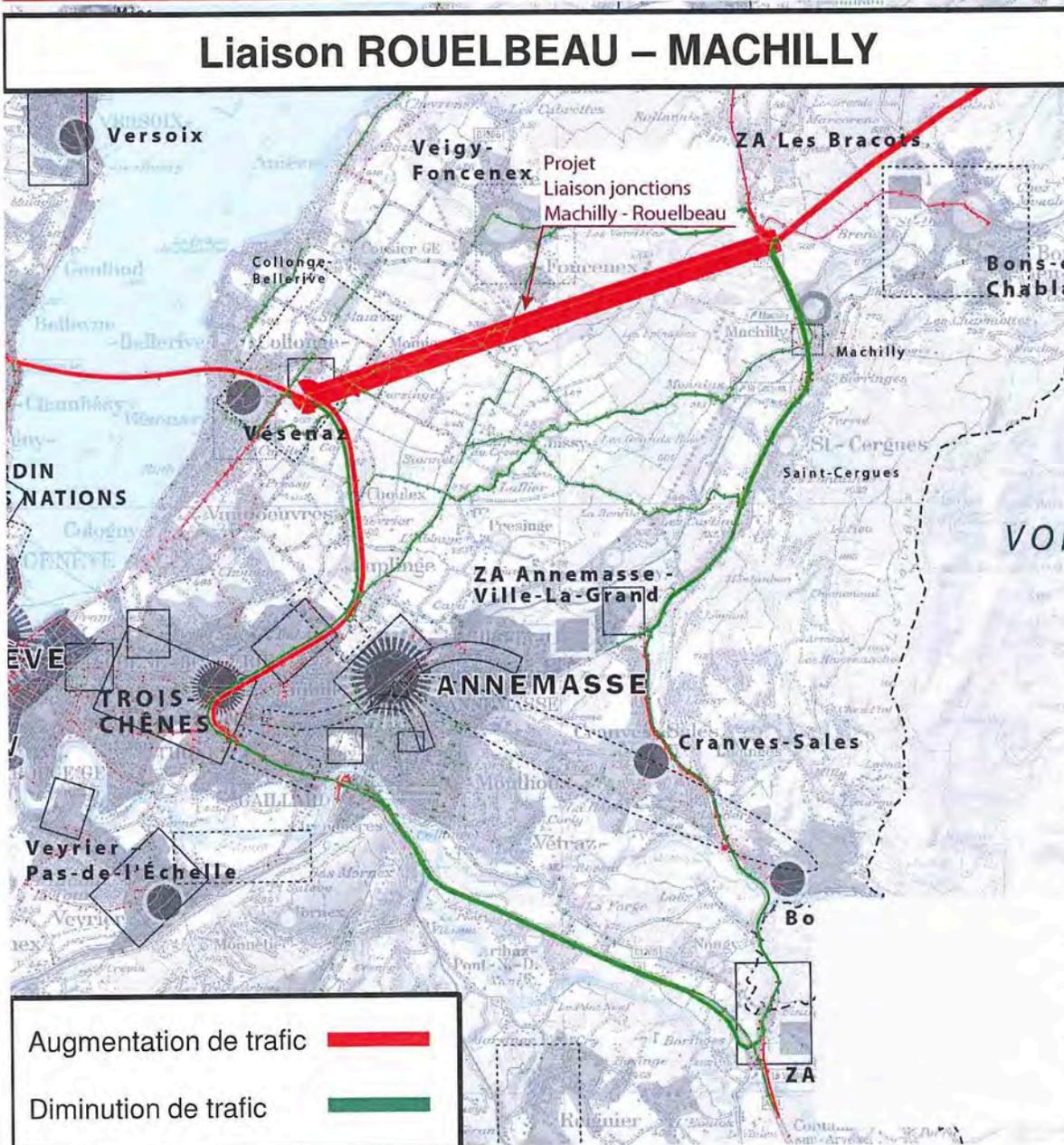
Liaison PUPLINGE –CHASSEURS



- Structuration du réseau routier au nord de l'agglomération d'Annemasse et de la rive gauche
→ réduction des nuisances dans les bourgs et cœur d'agglomération d'Annemasse
- → opportunités et nécessité de fortes mesures de valorisation et requalification dans le secteur Annemasse-Nord
- Implantation dans des secteurs environnementaux et paysagers sensibles
- Faisabilité à confirmer

EVALUATION D'UNE NOUVELLE LIAISON ROUTIÈRE

Liaison ROUELBEAU – MACHILLY



- Structuration du réseau routier dans la Plaine de la Seymaz
→ réduction des nuisances dans les bourgs
- Implantation dans des secteurs environnementaux et paysagers sensibles
- Faisabilité à étudier

INTÉGRATION DES NOUVELLES JONCTIONS (ROUELBEAU)

VUE À 30M DE HAUTEUR

6

Situation projetée





INTÉGRATION DES NOUVELLES JONCTIONS (PUPLINGE)

VUE À 30M DE HAUTEUR

8



Situation projetée

Note de synthèse : mobilité, transformation numérique, véhicule autonome, grandes infrastructures de transport et traversée du lac

Date : 23 août 2017

Rapporteur : Thomas Gauthier

Note : le rapporteur et les experts qui ont participé à l'étude et à la rédaction de la présente note reconnaissent plusieurs limites à leur travail. Limités par le temps (le premier atelier de travail a eu lieu le 22 juin 2017), ils ont dû procéder à une revue succincte de la littérature et ont affiné les éléments de la présente note via plusieurs échanges bilatéraux.

Résumé exécutif

Depuis au moins une décennie, la transformation numérique a bouleversé notre quotidien. C'est une force aux effets encore largement insoupçonnés, dans leur ampleur et leur durée, qui transforme tout ce qu'elle touche.

Dans le domaine de la mobilité, c'est combinée aux énergies renouvelables et aux nouvelles attentes et usages des individus qu'elle a le potentiel de transformer en profondeur les déplacements, notamment à Genève.

Dans le contexte des travaux de la commission consultative "traversée du lac", la présente note aboutit essentiellement à une conclusion et à une recommandation :

- Quelque soit le choix de l'ouvrage retenu (pont ou tunnel), aucune étude ni aucune expertise dont un ou plusieurs membres du groupe d'experts qui a rédigé la présente note serai-en-t au courant n'indique une incompatibilité avec les nouvelles infrastructures de mobilité envisageable telles que les véhicules électriques autonomes ;
- Il apparaît essentiel, en parallèle ou en amont du lancement des prochaines études portant sur le type d'ouvrage retenu (pont ou tunnel), de conduire une investigation prospective approfondie des articulations possibles entre la traversée du lac et le système de mobilité à Genève dont on imagine qu'il sera profondément impacté par la transformation numérique (notamment la mise en service possible de flottes de véhicules autonomes) dans un horizon temporel compatible avec celui de la mise en service de l'ouvrage.

À propos des méthodes utilisées pour rédiger la présente note

La présente note reprend les **données** et les **avis d'expert-e-s** collectés selon plusieurs méthodes complémentaires.

Les données utilisées pour rédiger la présente note ont été principalement identifiées et analysées par le professeur Thomas Gauthier, mandaté par Monsieur Matthieu Baradel pour coordonner l'étude. M. Baradel et les experts impliqués dans l'étude (voir détails plus bas) ont également identifié et communiqué au prof. Gauthier les liens vers plusieurs études, rapports et autres documents pertinents. Les références utilisées pour rédiger la présente note sont listées en annexe.

Le 22 juin 2017, un **premier atelier** a réuni M. Baradel (chef de projet), le prof. Gauthier, trois experts, ainsi que plusieurs représentants de l'administration cantonale.

Ce premier atelier a permis :

- De préciser le **contexte** dans lequel la commande du projet et de la présente note se situe. Le chef de projet, M. Baradel a notamment rappelé la mission de la **commission consultative "traversée du lac"** à qui le présent rapport est destiné ;
- D'expliciter les axes qu'il convient d'explorer au cours de la séance du jour ainsi que durant plusieurs entretiens bilatéraux entre le prof. Gauthier et les trois experts en vue du second atelier prévu le 16 août 2017. L'objectif de ce second atelier est présenté plus bas.

À l'issue de ce premier atelier, il a été acté que :

- L'exploration **prospective** dirigée par le prof. Gauthier concernera en premier lieu la **transformation numérique**, les développements qui s'y rapportent (notamment le **véhicule autonome**), ainsi que leurs impacts sur les grandes infrastructures de transport et la traversée du lac ;
- Les données préliminaires discutées durant le premier atelier, les avis exprimés par les experts et les représentants de l'administration à cette même occasion, ainsi que les données et avis supplémentaires collectés par la suite serviront à produire une version préliminaire de la présente note. Le prof. Gauthier sera chargé de piloter la rédaction de la note et de la remettre à M. Baradel au plus tard une semaine avant le second atelier ;
- La version préliminaire de la note servira de point de départ aux discussions qui auront lieu durant le second atelier ;
- La note sera organisée en deux parties principales. Dans la première partie, les principales **variables contextuelles** en lien avec la transformation numérique et identifiées au préalable seront présentées sous la forme de petits descriptifs (une demi-page). La seconde partie se présentera quant à elle sous la forme d'un **scénario prospectif**. L'acteur central de ce scénario sera l'**autorité de transport**, comprise comme l'entité étatique en charge de

l'implémentation de la politique cantonale de transport. Le contexte dans lequel évoluera l'autorité de transport sera nourri par les variables contextuelles présentées dans la première partie de la note.

- Le second atelier aura pour finalité de faire évoluer la version préliminaire de la note de sorte à intégrer pleinement les **perspectives des représentants de l'administration** qui participeront à l'atelier. En outre, il s'agira lors de cette séance de travail d'**anticiper les impacts plausibles** de la transformation numérique et du développement du véhicule autonome sur les grandes infrastructures de transport et la traversée du lac.

Introduction

Ce rapport a pour objectif d'éclairer les membres de la commission consultative "traversée du lac" au sujet de plusieurs tendances clés susceptibles d'avoir un impact profond et parfois irréversible sur la mobilité à Genève et dans d'autres métropoles de taille comparable à travers le monde.

Il a été rédigé à la suite de plusieurs entretiens individuels avec les experts impliqués dans cette étude (voir plus bas) et de deux ateliers au cours desquels les mêmes experts ont échangé avec plusieurs représentants de l'administration cantonale autour des questions suivantes :

Les experts impliqués dans cette étude sont :

- Prof. Philippe Riot, professeur de stratégie à emlyon business school ;
- Dr Quentin Ladetto, directeur de la prospective technologique à armasuisse ;
- Antoine Stroh, responsable du pôle conception de l'offre aux Transports publics de Genève.

Première partie : l'environnement contextuel - le véhicule autonome et sept autres variables principales

À l'issue des entretiens individuels et des ateliers, six tendances clés pour la mobilité à Genève et plus généralement dans les métropoles de taille comparable à travers le monde ont été identifiées :

1. Les véhicules électriques
2. La mobilité partagée
3. Les véhicules autonomes
4. La connectivité et l'Internet des objets
5. Les transports publics / les transports en commun
6. La décentralisation des systèmes énergétiques

À l'issue des entretiens individuels et des ateliers, chaque tendance clé a fait l'objet d'un descriptif succinct.

1. Les véhicules électriques

Depuis le début des années 2010, les ventes de véhicules électriques ont augmenté rapidement. Plusieurs facteurs se combinent pour l'expliquer : incitations financières (le plus souvent sous forme de primes) aux acheteurs, diminution rapide du coût des batteries électriques, nouvelles réglementations en matière d'économie d'énergie, choix stratégiques et investissements des constructeurs automobiles dans les véhicules électriques, et pour finir, demande croissante de la part des consommateurs.

Dans la plupart des marchés, les véhicules électriques ne représentent encore aujourd'hui au mieux que quelques pourcents de toutes les ventes de véhicules neufs. Dans quelques cas particuliers, leur adoption est beaucoup plus marquée. En Norvège, les ventes de véhicules électriques neufs représentent ainsi plus d'un quart de toutes les ventes de véhicules neufs.

Il est intéressant de remarquer que les constructeurs automobiles historiques ont pour la plupart largement entamé le virage vers la production en masse de véhicules électriques. Forts de leur savoir-faire, de leurs réseaux de distribution, de leur image de marque etc. ils pourraient bien réussir la transformation de leur offre. Néanmoins, ils font face à la concurrence et à la capacité d'innovation de nouveaux entrants, au premier rang desquels le californien Tesla. En tant que nouveaux entrants, ceux-ci ne souffrent a priori pas ou en tout cas peu du dilemme de l'innovateur. Décrit par Clayton Christensen, professeur à Harvard,

le dilemme de l'innovateur stipule qu'un acteur établi n'est pas capable d'innovation radicale car il court alors le risque de détruire son marché existant tout en n'ayant aucune garantie vis-à-vis d'un marché qu'il aurait réussi à créer et qui serait encore plus intéressant que celui qui serait du même coup détruit. Au-delà des propos de Christensen, on pourrait ajouter que le business model (la partie "organisation" de la chaîne - ou de la constellation - de valeur) de l'acteur établi est difficile à transformer compte tenu des ressources engagées et des enjeux sociaux que cela représente (notamment en termes de maintien de l'emploi).

2. La mobilité partagée

La mobilité partagée a évolué rapidement depuis quelques années. Aujourd'hui, les services proposés par des entreprises telles qu'Uber, LeCab, Lyft etc. sont en concurrence directe avec les acteurs traditionnels du secteur tels que les taxis ou les transports publics. La mobilité partagée a également le potentiel de se substituer à la propriété privée et individuelle d'un véhicule.

Signe que la mobilité partagée est certainement amenée à bouleverser la mobilité : les capitaux investis pour soutenir le développement des nouveaux acteurs de ce secteur s'élevaient déjà à plus de 10 milliards de dollars en 2015 et continuent de croître.

Uber, un acteur emblématique qui préfigure la généralisation de la Mobility-as-a-Service ?

Au début des années 2000, le recours au Software-as-a-Service (SaaS ; logiciel en tant que service) s'est petit à petit généralisé dans les organisations, aussi bien publiques que privées. Symbole du SaaS, le cloud computing est devenu la norme pour de très nombreuses organisations qui sous-traitent à des acteurs dominants (Microsoft, IBM, Amazon etc.) la maintenance, les mises à jour etc. d'infrastructures informatiques physiquement regroupées sous forme de "fermes de serveurs". En parallèle de cette transformation des usages, les compétences nécessaires au sein des services informatiques des organisations évoluent également. Pour faire parler le potentiel des données générées par leurs activités et/ou par leurs clients, les entreprises se sont lancées plus récemment, depuis les années 2010, dans des campagnes de recrutement à grande échelle de data scientists, des experts en mathématiques, informatique et visualisation de données.

Dans le domaine de la mobilité, des acteurs déjà emblématiques tels qu'Uber ont contribué à faire émerger un modèle d'affaires innovant : la Mobility-as-a-Service (MaaS ; mobilité en tant que service).

Certains analystes prévoient qu'à l'horizon 2030, 95% des passagers-kilomètres aux États-Unis seront parcourus grâce à des véhicules à la demande, électriques et autonomes. Les conséquences d'une telle rupture dans les pratiques de mobilité sont potentiellement innombrables pour des secteurs tels que les industries automobile et pétrolière. Au-delà des progrès techniques, l'élément déclencheur principal du déploiement de la MaaS sera le gain financier pour les utilisateurs qui abandonneront

dans le même temps leur véhicule privé. Les économies réalisées pourraient alors être réinjectées dans l'économie sous la forme de nouvelles dépenses et/ou de nouveaux investissements.

3. Les véhicules autonomes

La National Highway Traffic Safety Administration américaine, l'agence fédérale en charge de la sécurité routière, a établi une classification des véhicules autonomes qui comporte 5 niveaux :

- Niveau 0 = aucune automatisation : le conducteur a un contrôle total et à tout instant des fonctions principales du véhicule (moteur, accélérateur, direction et freins) ;
- Niveau 1 = automatisation de certaines fonctions : certaines fonctions du véhicule sont automatisées (par exemple le système antiblocage des roues - ABS - agit sur le freinage pour aider le conducteur à garder le contrôle du véhicule) ; néanmoins, le conducteur garde le contrôle du véhicule ;
- Niveau 2 = automatisation de fonctions combinées : au moins deux fonctions principales sont contrôlées simultanément par ordinateur (par exemple, les systèmes d'aide au stationnement - park assist - contrôlent simultanément la direction et la marche arrière du véhicule) ;
- Niveau 3 = conduite autonome limitée : dans certaines conditions de circulation (par exemple, sur autoroute), le conducteur peut céder le contrôle complet du véhicule au système informatique embarqué. La Google car est actuellement à ce stade d'automatisation ;
- Niveau 4 = conduite autonome complète : le véhicule est capable d'assurer seul l'ensemble des fonctions critiques de sécurité sur l'ensemble du trajet, avec ou sans conducteur à l'intérieur du véhicule.

Plusieurs facteurs semblent indiquer qu'il est raisonnable d'anticiper que les véhicules autonomes de niveau 4 pourraient être en circulation d'ici une dizaine d'années au plus : technologies disponibles, investissements consentis par les constructeurs automobiles et leurs fournisseurs, mise en place de partenariats stratégiques avec les acteurs des secteurs de l'assurance et des télécommunications etc.

Plus ambitieux encore, le constructeur californien Tesla a annoncé que ses clients seraient en mesure dès 2018 d'ordonner à leur véhicule de traverser les États-Unis sans conducteur à bord.

L'une des principales difficultés dans l'analyse de l'émergence puis du déploiement à grande échelle des véhicules autonomes est la nature éminemment réticulaire (plutôt que linéaire) de la création de valeur qui leur est associée.

Le véhicule autonome est l'aboutissement de la convergence entre systèmes mécanique et informatique. Il se distingue de son prédécesseur, le véhicule conventionnel, en cela qu'il ne se situe pas quelque part le long d'une chaîne de valeur matérialisée par la chaîne de montage. Il s'inscrit plutôt au sein d'une **constellation** qui crée de la **valeur** à travers les nombreuses interactions, tantôt créatrices, tantôt destructrices, qui prennent place entre fournisseurs de pièces détachées, éditeurs de logiciels, conducteurs/propriétaires de véhicules, infrastructures publiques, capteurs connectés etc.

Face à une constellation de valeur plutôt qu'une chaîne de valeur, il est difficile d'anticiper qui seront les futurs "attracteurs", c'est-à-dire les acteurs qui joueront un rôle majeur dans la mobilité de demain.

4. La connectivité et l'Internet des objets

L'Internet des objets (IoT) est un réseau de capteurs connectés et capables de traiter rapidement les données qu'ils enregistrent.

Plusieurs acteurs de la mobilité ont déjà recours au potentiel de l'IoT afin de proposer de nouveaux services à leurs clients. À titre d'exemple, Volvo teste actuellement la possibilité de créer une sorte de réseau social "machine-to-machine" de sorte qu'un véhicule membre puisse par exemple en temps réel avertir les autres d'un danger. De son côté, Tesla procède déjà à la mise à jour à distance des logiciels embarqués à bord de ses véhicules.

S'agissant des consommateurs, ils sont de plus en plus nombreux à être prêts à se tourner vers un autre constructeur si celui-ci propose des niveaux de connectivité plus élevés dans ses véhicules.

5. Les transports publics / les transports en commun

Un nombre croissant de villes à travers le monde s'efforcent d'améliorer et d'étendre leurs réseaux de transports publics. L'insertion de véhicules autonomes dans les flottes pourrait permettre de réduire les coûts opérationnels tout en augmentant la fiabilité et la capacité (par exemple, en termes de nombre de voyageurs transportés). En marge des axes les plus fréquemment empruntés par les transports publics, le recours à des véhicules autonomes en soutien de la flotte existante de véhicule pourrait permettre de proposer des solutions de mobilité partagée à la demande dans des zones jusque-là moins bien voire pas du tout desservies par les transports publics. Il pourrait aussi répondre aux attentes de certains usagers prêts à payer un prix plus élevé pour avoir une solution de transport plus individualisée. Une question se posera alors : les usagers souhaitent-ils être seuls dans le véhicule ou sont-ils au contraire prêts à le partager avec d'autres ?

6. La décentralisation des systèmes énergétiques

Au cours des dix dernières années, le coût de production des énergies renouvelables a considérablement diminué. Dans l'hypothèse où cette tendance se prolonge et

s'accompagne de la baisse significative du coût des batteries et des autres éléments essentiels à la distribution d'énergies renouvelables, il est possible que celles-ci jouent un rôle majeur dans la mobilité de demain.

Pour commencer, nous pourrions assister à l'adoption rapide et massive de véhicules électriques performants au niveau économique et qui circuleraient sur des réseaux routiers adaptés à leurs besoins en matière de recharge électrique.

Dans son ouvrage "La troisième révolution industrielle" paru en 2013, le prospectiviste américain Jeremy Rifkin précise les cinq piliers sur lesquels reposerait cette nouvelle révolution industrielle, condition sine qua non selon lui pour éviter l'effondrement du système socio-économique global. Ces cinq piliers sont :

- la transition d'un régime énergétique basé sur le carbone vers un régime énergétique basé sur les énergies renouvelables ;
- la reconfiguration des infrastructures et des bâtiments en mini-centrales électriques capables de produire, stocker (troisième pilier) et distribuer localement ou à plus grande distance l'énergie électrique selon les besoins des utilisateurs ;
- le développement de réseaux intelligents de distribution de l'énergie, les smart grids, capables de répondre en temps réel de façon efficiente aux besoins des utilisateurs connectés aux réseaux ;
- la transition des véhicules à moteur à combustion interne vers des véhicules hybrides puis 100% électriques.

Deuxième partie : scénario prospectif

Comment lire le scénario prospectif qui suit ?

Le scénario prospectif qui suit articule tour à tour plusieurs “bifurcations” qui pourraient se présenter au cours des quinze à vingt prochaines années. Les auteurs de la présente note ont cherché à rendre visibles les directions possibles que pourraient prendre plusieurs composants de la mobilité de demain à Genève tels que les acteurs globaux et les acteurs locaux, la macro- et la micro-mobilité, les données de mobilité et bien sûr les citoyen-ne-s.

Résumé

Les transformations énergétique et numérique se combinent pour créer les conditions d'une nouvelle mobilité à Genève et, plus largement, d'une nouvelle organisation du canton.

L'État prend la mesure des tendances récapitulées dans la première partie de ce document. Il a pleinement conscience que trois enjeux seront au coeur de ses préoccupations :

- L'enjeu **écologique** (qualité de l'air, préservation des espaces verts, utilisation des matières premières etc.) ;
- L'enjeu **technologique** (convergence de plusieurs technologies - intelligence artificielle, production/stockage/distribution d'énergie électrique “propre” etc.) ;
- L'enjeu **démocratique** (partenariats avec de grands acteurs privés respectueux de la vie privée, de la liberté, de la solidarité etc. et “éclairés” grâce à de nombreuses initiatives citoyennes d'éducation populaire, d'innovation locale etc.).

Introduction

Sur fond de restrictions budgétaires chroniques et d'enjeux écologiques et de santé publique de plus en plus prégnants, l'autorité genevoise de transport fait face à des enjeux nombreux et variés.

La spécificité du territoire genevois et de ses frontières naturelles (lac et montagne) rend difficile de proposer à tous les usagers un temps de trajet raisonnable entre domicile, lieu de travail, services etc. En périphérie et dans les zones transfrontalières, là où les réseaux de transports publics sont les moins denses, le recours massif au véhicule individuel aggrave à la fois les problèmes de congestion routière et de pollution (qui concernent également le centre-ville).

Transition écologique et transformation numérique

Devant ce constat, l'autorité de transport s'engage dans une transformation profonde. Elle décide d'activer pleinement un levier unique, une force qui a le potentiel de transformer tout ce qu'elle touche : **le numérique et l'explosion des données** qui l'accompagne.

Pour commencer, l'autorité de transport continue de déléguer à un prestataire (il pourrait toujours s'agir des Transports publics genevois) la mise en oeuvre des transports publics sur les axes principaux de mobilité. Elle continue également d'exiger du prestataire un maillage plus fin sur l'ensemble du territoire cantonal.

L'explosion des données générées, diffusées, captées, traitées, stockées et/ou rediffusées par les opérateurs publics de transport en commun et surtout par les usagers eux-mêmes (principalement via leurs smartphones) contribue à créer les conditions propices à l'irruption de **nouveaux entrants** dans le champ de la mobilité.

Aux côtés des TPG qui continuent d'être un opérateur majeur sur le territoire cantonal, des acteurs innovants proposent à leur tour des services qui répondent aux attentes des usagers. À y regarder de plus près, il est intéressant de réaliser que les acteurs en question sont répartis en deux catégories très différentes l'une de l'autre. D'un côté, on retrouve les **acteurs locaux** (associations, comités de quartier, collectifs informels de citoyens, individus etc.) ; de l'autre, ce sont les **entreprises globales** telles que Google, Tesla, Uber, Amazon, Apple etc.

Acteurs locaux et entreprises globales

L'État reconnaît aux acteurs locaux une expertise et un rôle importants. **Piliers de la vie sociale** des quartiers, des municipalités et du canton dans son ensemble, ils contribuent à **co-créer** avec celles et ceux qui le souhaitent des services qui répondent au mieux aux besoins des habitants. Grâce à l'installation de nombreux lieux de prototypage et de **fabrication numérique collaborative** (les [fab labs](#)), les acteurs locaux ont désormais accès à l'expertise et aux ressources (savoirs, savoir-faire, imprimantes 3D et autres équipements etc.) qui leur permettent de tester grandeur nature, rapidement et à moindre coût des prototypes innovants auprès des usagers.

Pour permettre aux acteurs locaux de contribuer durablement à l'autonomie (et non à l'autarcie) et à la vitalité du canton, l'État doit être en capacité d'identifier les usages et les services les plus fertiles qu'ils contribuent à diffuser largement auprès de la population. De nombreuses questions se posent alors : quelle **grille d'analyse** (nécessairement innovante elle aussi) utiliser afin d'apprécier leur potentiel (économique, social etc.) ? Quelles modalités (là encore, nécessairement innovantes) de **soutien** peuvent être envisagées de façon à préserver la pertinence locale des innovations tout en renforçant encore plus les liens entre innovateurs et usagers ?

Plusieurs expériences pourraient être tentées. À titre d'exemple, des dispositifs de type financement participatif local pourraient être à l'étude. En parallèle, des crédits d'impôt savamment dosés pourraient être octroyés aux contribuables afin d'inciter les

investissements individuels directs et locaux (à l'échelle du quartier, de la municipalité etc.) tout en préservant les conditions de la solidarité à l'échelle du canton.

L'État est également intéressé par les solutions de mobilité "clés en main" que proposent des entreprises globales à Genève ainsi qu'aux métropoles du monde entier. Capables de déployer à l'échelle du globe et dans le monde réel les [tests A/B](#) qui ont fait leur réussite sur Internet, les "géants du numérique", devenus plus simplement et depuis longtemps déjà les "géants économiques", Google, Tesla, Uber, Amazon, Apple etc. ont démontré qu'ils ont désormais l'expertise et la capacité nécessaires pour assurer le pilotage et l'exploitation de l'ensemble des infrastructures de mobilité du canton.

En outre, la gestion intelligente des données (de mobilité), qui requiert justement l'expertise qui a fait le succès des entreprises susmentionnées, se révèle rapidement être la condition sine qua non pour que les deux types de mobilité souhaités par l'État et détaillés plus bas (macro-mobilité et micro-mobilité) puissent faire système à l'échelle du canton.

Micro- et macro-mobilité

En même temps que l'autorité de transport se soucie de trouver un équilibre entre solutions locales et solutions "clés en main", elle doit contribuer à créer des synergies entre deux modes complémentaires de mobilité :

- La macro-mobilité (l'offre traditionnelle de transport, qui sera vraisemblablement toujours proposée par les TPG) ;
- La micro-mobilité (mobilité individuelle et partagée, de deux à une dizaine d'utilisateurs concernés), particulièrement efficace en périphérie et dans les zones transfrontalières.

Les données de mobilité : actif stratégique, outil de politique publique et bien commun

Pour à la fois faire face et valoriser la quantité de données générées par les infrastructures de mobilité, les usagers eux-mêmes etc., l'autorité de transport mettra progressivement en place, seule ou plus vraisemblablement en collaboration avec un ou plusieurs partenaires-publics et/ou privés, une **autorité des données**. Son rôle : gérer directement et en temps réel la totalité des données liées au fonctionnement de l'ensemble des transports (publics et privés) pour mieux réguler la mobilité à l'échelle du canton.

D'abord capable d'agrèger et de rendre disponible les horaires en temps réel de toutes les modalités de transport public, l'autorité des données a petit à petit accès à toutes les données de stationnement (taux d'occupation des places - de moins en moins nombreuses - sur voirie et dans les parcs de stationnement etc.) et peut dès lors proposer aux usagers - en particulier aux automobilistes - des informations en temps réel afin de leur permettre d'optimiser leurs trajets et leurs stationnements.

C'est ensuite au tour des données générées, stockées et utilisées par les **acteurs privés** de rejoindre le "patrimoine informationnel" de l'autorité des données.

En profitant dans le même temps de la multiplication des **objets connectés** utilisés directement ou indirectement dans le contexte de la mobilité à Genève (comme par exemple les capteurs insérés dans les infrastructures routières afin de suivre en temps réel le trafic routier et les externalités telles que les différents types de pollution associés), les ressources en données ainsi que les potentialités de l'autorité des données s'enrichissent.

Plus tard, l'autorité des données décide de rendre **accessibles et exploitables** la totalité des données temps réel de mobilité qu'elle gère. Elle s'inscrit ainsi dans un mouvement d'**ouverture des données publiques** initié dans les années 2010 au niveau fédéral et cantonal. Il s'agit pour elle d'atteindre simultanément plusieurs objectifs liés plus ou moins directement à la politique publique qu'elle est chargée de mettre en oeuvre :

- En transformant les données de mobilité en **bien commun**, elle rend possible le développement de solutions innovantes par les acteurs locaux ;

- En apportant une contribution essentielle à "Genève, **laboratoire vivant** ([Genève Lab](#))", elle envoie un signal fort et attire les **start-up** (au sujet desquels on rappelle ici qu'il s'agit d'entreprises à fort potentiel de croissance et qui ont le plus souvent comme objectif de conquérir un marché global) qui voient dans l'accès à ces données une opportunité unique d'accélérer le développement de leurs prototypes innovants.

Deux enjeux pour le citoyen : apprendre en agissant et agir en apprenant

Clairement, la mise en oeuvre d'une mobilité durable et souhaitable à l'échelle du canton nécessitera le déploiement de **systèmes techniques** (véhicules électriques autonomes, voies de circulation dédiées, stations de recharge, données etc.) de plus en plus complexes.

De plus en plus **complexes**, les infrastructures de mobilité seront fatalement de moins en moins intelligibles. Dès le milieu des années 2010, les résultats du deep learning, un type particulier d'intelligence artificielle, firent les gros titres des médias grand public lorsque ses spécialistes les plus aguerris confessèrent qu'eux-mêmes n'étaient pas en mesure de les anticiper et encore moins de les expliquer.

Dès lors, à l'heure où des flottes de véhicules autonomes se déplacent sans presque aucune intervention humaine à travers tout le canton, qui peut encore prétendre pouvoir expliquer, et plus encore, maîtriser le fonctionnement de l'ensemble ?

Depuis les années 2010, les initiatives éphémères et les dispositifs pérennes de **médiation**, d'**éducation** et de **débat citoyen** autour des systèmes techniques sur lesquels reposent plusieurs pans de la vie publique à Genève (tel que le vote électronique) se sont multipliés et ont joué pleinement leur rôle.

Avec l'arrivée puis la multiplication des infrastructures connectées de mobilité et en particulier du véhicule autonome, ces mêmes initiatives et dispositifs doivent être enrichis et

parfois même repensés afin d'intégrer pleinement des ruptures techniques telles que l'intelligence artificielle.

Troisième partie : conclusions et impacts plausibles de la transformation numérique et du développement du véhicule autonome sur les grandes infrastructures de transport et la traversée du lac

Aujourd'hui, le paradigme socio-économique installé au lendemain de la Seconde guerre mondiale domine encore : la production et la consommation de masse demeurent deux piliers essentiels de notre modèle de société.

Ce paradigme s'est inscrit jusque-là dans l'hypothèse (voire la certitude) que les ressources (matières premières, énergies fossiles etc.) étaient inépuisables. Aujourd'hui, les multiples expertises (notamment celles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) semblent indiquer que l'activité humaine est à l'origine, au moins en partie, du changement climatique et les événements extrêmes et imprévisibles (canicules, crues, tsunamis, ouragans etc.) qui s'ensuivent.

Dès lors, la transition écologique est bel et bien notre horizon, notre objectif. Plusieurs décennies de déceptions nous obligent cependant à admettre que s'il semble que nous soyons capables de décrire son but, nous peinons à tracer un chemin qui nous permettra de l'atteindre.

Depuis au moins une décennie, la transformation numérique a quant à elle bouleversé notre quotidien. C'est une force aux effets encore largement insoupçonnés, dans leur ampleur et leur durée, qui transforme tout ce qu'elle touche.

En à peine quelques années, l'organisation des entreprises et des filières (concept dont on peut interroger de plus en plus la pertinence), les biens et les services, les modes de vie etc. ont été bouleversés. En moins de dix ans (elle a été fondée en 2008), l'entreprise californienne Airbnb a vu sa valeur dépasser celle d'acteurs historiques tels que Marriott ou AccorHotels... Sans posséder le moindre hôtel. Créée en 2009, l'entreprise (toujours californienne) Uber a su imposer aux quatre coins du globe un modèle d'affaires en rupture par rapport aux acteurs traditionnels tels que les taxis... Sans posséder le moindre véhicule (en tout cas en 2017). Historiquement, c'est au milieu des années 1990 (en 1994 précisément), que la création d'Amazon a ouvert la voie à un nouveau modèle d'affaires : l'économie de plateforme. Ses successeuses, tels qu'Airbnb puis Uber, ont su démontrer - sans être jusque-là démenties - qu'il avait le potentiel de transformer les secteurs d'activités les plus divers et variés.

Au-delà des transformations évoquées jusque-là (entreprises, filières, biens et services, modes de vie etc.), il en est une qui nous importe tout particulièrement dans le contexte de la présente note : les infrastructures. À l'ère numérique, l'infrastructure essentielle n'est peut-être plus celle des transports (routes, voies ferrées, ponts, tunnels etc.), qui a vu son développement accéléré grâce aux efforts de reconstruction et aux nombreux investissements consentis au lendemain de la Seconde guerre mondiale.

Aujourd'hui, l'infrastructure dont dépend de plus en plus l'ensemble des "transactions" de la vie individuelle, sociale et économique reposent sur Internet, les systèmes de géolocalisation (tels que le GPS américain ou le système européen de positionnement Galileo), les serveurs et plateformes de cloud computing et, de plus en plus les objets connectés.

Au-delà des solutions qu'elle apporte déjà dans des domaines aussi divers et variés que le commerce de détail, la logistique, la santé, l'éducation etc., la transformation numérique nous propose un challenge immense : celui de disposer d'un modèle partagé pour la comprendre et agir avec et grâce à elle.

Dans le domaine de la mobilité, il peut être aisé de continuer à définir et à mettre en oeuvre une politique publique (d'où découlent d'importantes décisions d'investissement) à l'aide d'outils et de méthodes qui appartiennent à une époque révolue. Tenir compte des effets profonds, durables voire irréversibles de la transformation numérique sur la mobilité nécessite de remettre en cause au moins en partie la vision que l'on a de cette dernière.

Pour en revenir à la question à laquelle il incombe aux membres de la commission consultative "traversée du lac" de répondre - faut-il construire un pont ou un tunnel ? -, la prise en compte de la transformation numérique implique d'aborder dans le même temps d'autres questions telles que :

- Que signifierait l'introduction puis le déploiement rapide de véhicules électriques autonomes dans les métropoles du monde et à Genève en particulier ?
- Comment anticiper les interactions entre le mode de traversée du lac retenu et la mobilité électrique autonome ?

Il est illusoire de chercher à répondre de façon définitive à ces deux questions. Un éclairage peut néanmoins être apporté en reconnaissant que traversée du lac d'une part, et transformation numérique d'autre part, agissent sur la mobilité à Genève selon deux modes bien distincts.

Mobilité électrique autonome

Même si nous n'avons pas le recul nécessaire pour en attester, il est envisageable que le déploiement de la mobilité électrique autonome se fasse en **plusieurs étapes** et que chaque étape soit au moins en partie **réversible**. À l'instar du lancement d'une nouvelle application pour smartphone ou d'un nouveau logiciel pour ordinateur, la mobilité électrique autonome pourrait d'abord être testée.

Par exemple, un nombre limité de véhicules avec conducteur (même si celui-ci pourrait n'être amené à intervenir qu'en cas de danger imminent) et de bornes de recharge pourraient être mis en service au sein d'un périmètre délimité. En outre, un système de notation inspiré de celui mis en place par Uber ou par d'autres acteurs dans d'autres secteurs d'activité (Airbnb, Netflix etc.) pourrait permettre d'évaluer en temps réel la valeur

perçue par les usagers et, le cas échéant, de modifier l'offre en phase de test (en modifiant le périmètre géographique où le test a lieu, en fournissant aux usagers des informations complémentaires auxquels ils souhaitent avoir accès etc.).

Traversée du lac

À la différence du déploiement de la mobilité électrique autonome, la traversée du lac ne se prête pas aux expérimentations et aux retours d'expérience que permettent les infrastructures numériques. La marge de manoeuvre dont les autorités disposent pour adapter les conditions d'exploitation d'un tel ouvrage à des changements (démographiques, économiques, écologiques, sociétaux etc.) est probablement moindre par rapport à celle d'infrastructures numériques telles que la mobilité électrique autonome.

Nous disposons probablement d'un savoir technique plus important s'agissant d'un grand projet d'infrastructure tel qu'un pont ou un tunnel que du déploiement de flottes de véhicules électriques autonomes. Néanmoins, une inconnue de taille demeure et renvoie à une question posée plus haut : **quelle sera l'ampleur de l'impact, en termes absolus ainsi que relativement à celui de la traversée du lac, de la transformation numérique et a fortiori des véhicules électriques autonomes sur la mobilité à Genève ?**

Si les études déjà réalisées et les avis des experts impliqués dans la rédaction de cette note ne permettent pas de répondre, il ne semble par contre pas exister à notre connaissance d'éléments indiquant que la transformation numérique et le déploiement de véhicules électriques autonomes seraient incompatible avec l'une ou l'autre des options (pont ou tunnel) disponibles pour la traversée du lac.

Références

An integrated perspective on the future of mobility, McKinsey, 2016

Business planning for turbulent times: new methods for applying scenarios, R. Ramirez, J. Selsky et K. van der Heijden (éd.), 2010

[CHvote : le système de vote électronique genevois](#)

Datanomics : les nouveaux business models des données, S. Chignard et L.-D. Benyayer, 2015

[Genève Lab](#)

Kit AgirLocal : le numérique au service des démarches environnementales de nos territoires, La Fing, 2016

[Land transport authority](#), État de Singapour

La fabrique des mobilités, 2015

La prospective stratégique pour les entreprises et les territoires, M. Godet et P. Durance, 2011

La transition numérique des transports en commun, TheFamily, 2015

Le temps des ruptures, La Fing, 2012

Mobilité 2030 : stratégie multimodale pour Genève, État de Genève, 2013

Nos systèmes : pour une rétroingénierie sociale des systèmes techniques, H. Guillaud, 2016

[opendata.ch](#)

Open data : comprendre l'ouverture des données publiques, S. Chignard, 2012

[opendata.swiss : portail des données ouvertes de l'administration publique suisse](#)

Open models : les business models de l'économie ouverte, L.-D. Benyayer (éd.), 2014

Rapport final de l'étude Prospective de la mobilité dans les villes moyennes, Futuribles International, 2011

Rethinking transportation 2020-2030: the disruption of transportation and the collapse of the internal-combustion vehicle and oil industries, RethinkX, 2017

[SITG : le territoire genevois à la carte](#)

Strategic reframing, R. Ramirez et A. Wilkinson, 2016

The causal texture of organizational environments, F. Emery et E. Trist, 1965

Transitions, La Fing, 2015

[Véhicule autonome](#), Wikipédia (consulté le 14/08/2017)

DETA - Direction générale
des transports
Direction de projet Traversée du lac
Monsieur Matthieu Baradel, Directeur
Ch. des Olliquettes 4 – CP 271
1211 Genève 8

| | |
|---------|-----------------|
| DGT | |
| Reçu le | 19 MAI 2017 (I) |
| Resp. | TIB |
| Copie | AP |

Genève, le 18 mai 2017

Projet de Traversée du lac – audition par le conseil consultatif

Monsieur le Directeur,

Nous avons pris connaissance avec beaucoup d'intérêt de votre e-mail du 27 avril dernier, ainsi que du rapport de synthèse des études de faisabilité d'une traversée du lac daté de mars 2011.

En préambule, nous vous remercions de votre invitation à être auditionnés par le conseil consultatif Traversée du lac, qui doit rendre un avis, d'ici à septembre 2017, sur la question d'une traversée du lac en pont ou en tunnel. Le soussigné se tient à votre entière disposition pour fixer cette audition, de préférence au mois de juin.

Permettez-nous de vous faire part d'ores et déjà de la position qui est la nôtre, en tant qu'office du tourisme missionné pour promouvoir la destination :

- Tout ouvrage contribuant à réduire le trafic en désengorgeant le centre-ville aurait un impact positif au plan de l'attractivité touristique ;
- Toujours sous l'angle de l'attractivité touristique, un pont enjambant les deux rives de la Rade serait préférable à un tunnel, dès lors qu'un tel ouvrage aurait toutes les chances de devenir une « icône touristique ». Le Golden Gate Bridge à San Francisco, le Verrazano-Narrows Bridge à New York et les ponts sur le Bosphore à Istanbul sont devenus des symboles représentatifs de ces villes ; il en serait probablement de même pour Genève.

Nous précisons que notre avis n'est basé sur aucune considération technique ou financière.

Vous souhaitant bonne réception de la présente, nous vous prions de croire, Monsieur le Directeur, à l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Philippe Vignon
Directeur général

Copie à : M. Daniel Loeffler, représentant du Canton au sein du Conseil de Fondation

Votre personne de contact :
David von Flüe
Tél. direct : +41 21 614 62 40
Fax : +41 21 614 62 44
E-mail : dvflue@cgn.ch

**République et Canton de Genève
Direction générale des Transports
Conseil consultatif Traversée du lac
A l'att. De M. Raymond Loretan
Case postale 271
1211 Genève 8**

Lausanne, le 25 avril 2017
DvF/yg

Concerne : projet « traversée du lac et boucllement autoroutier

Monsieur le Président,

Nous avons pris connaissance avec intérêt, du projet « traversée du lac et boucllement autoroutier » avec ses deux variantes : « tunnel immergé » et « pont multi-haubané ».

La variante « tunnel immergé » serait plus judicieuse du point de vue de la sécurité de navigation et de la perturbation du trafic lacustre.

La variante « pont multi-haubané » devrait prendre en compte une hauteur de 25 mètres pour le passage des grandes unités.

Nous restons volontiers à votre disposition pour détailler nos impératifs sécuritaires et vous préciser les caractéristiques de nos unités ainsi que nos routes de navigation.

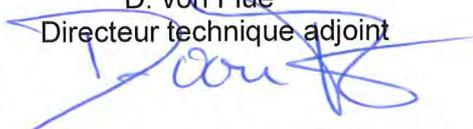
Dans l'intervalle, nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président, nos salutations distinguées.

CGN SA

L.-A. Baehni
Directeur Général



D. von Flüe
Directeur technique adjoint



Copie : M. Marcel Beauverd, Président Commission des ports (mbeauverd@bluewin.ch)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'aviation civile OFAC
Direction

CH-3003 Berne, OFAC scl

Courrier A

M. Matthieu Baradel
Département de l'environnement, des transports et de
l'agriculture (DETA)
Direction générale des transports
Direction de la planification
Chemin des Olliquettes 4
Case postale 271
1211 Genève 8

| | |
|------------|-------------|
| DGT | |
| Reçu le | 02 JUN 2017 |
| Resp. | |
| Copie | |

Référence du dossier : OFAC scl / 073.2-2017/00028

Votre référence : -

Berne, le 31 mai 2017

Genève – Traversée du lac Léman en pont ou en tunnel

Monsieur,

Votre courrier du 10 avril 2017 a retenu notre meilleure attention. A cet égard, vous trouverez en pièce jointe le pré-examen aéronautique établi par notre office concernant l'étude d'avant-projet pour la construction d'une traversée du Lac Léman à Genève.

En outre, l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) recommande de privilégier, dans le groupe « variantes pont », la version en pont haubané. Ainsi, le préavis de l'Aéroport International de Genève (AIG) ainsi que les expertises effectuées par Skyguide en 2010 sont cohérentes avec notre appréciation de l'avant-projet.

Nous restons bien entendu à disposition pour toute question et vous prions d'agréer, Monsieur, l'assurance de notre considération distinguée.

Christian Hegner
Directeur

Ludovic Schneeberger
Section Plan sectoriel et installations

Annexe : - mentionnée
Copie : - interne, SIAP

Office fédéral de l'aviation civile OFAC

Ludovic Schneeberger

Adresse postale: 3003 Berne

Siège: Mühlestrasse 2, 3063 Ittigen

Tél. +41 58 465 08 95, fax +41 58 465 80 32

Ludovic.Schneeberger@bazl.admin.ch

www.ofac.admin.ch



C O O . 2 2 0 7 . 1 1 . 3 . 3 0 9 4 6 6 6

Faint header text at the top left of the page.



| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |

Faint text and markings on the right side of the page, possibly a signature or address.

Faint text in the middle of the page, possibly a date or reference number.

Faint text at the bottom left of the page.

Faint text at the bottom right of the page.



Pré-examen aéronautique

Date : 22 mai 2017
Pour : LESA scl
Copie à : L-LESA, L-SIAP, SIFS dil, SIAP mof pts bum

Référence du dossier : OFAC / 073.2-2017/00028

GENEVE - Traversée du Lac : Etude de faisabilité

Ce pré-examen fait suite au dossier du 10 avril 2017 transmis par le *Conseil Consultatif Traversée du Lac* quant à l'étude d'avant-projet pour la construction d'une traversée du Lac Léman à Genève.

Les documents soumis ont fait l'objet d'un pré-examen des exigences aéronautiques, principalement en termes de conception et d'exploitation aéroportuaires (*Règlements (CE) n° 216/2008, (CE) n° 1108/2009 et (UE) n° 139/2014*), dont le résultat est présenté ci-après. Pour ce, nous nous sommes concentrés sur les documents suivants :

- Lettre, Détermination quant à une traversée du lac Léman en pont ou en tunnel, 10.4.17 ;
- Traversée du Lac, Contournement Est de Genève, Rapport de synthèse des études de faisabilité Version 22, 28.3.11 ;

Afin de compléter l'analyse, les autres documents ont été utilisés :

- Aéroport de Genève, Cadastre des surfaces de limitation d'obstacles, Indice 4, 15.6.16 ;
- Plan TL-17.0-14, Solutions haubanées courbes, plan général, 26.3.10 ;
- Mémo de Skyguide, LSGG : Traversée du lac ("pont suspendu"), Impact on Instrument Flight Procedures for Geneva, 22.6.10 ;
- Mémo de Skyguide, LSGG : Traversée du lac ("solution haubanées courbes"), Impact on Instrument Flight Procedures for Geneva, 22.6.10.

A l'époque de la rédaction du rapport de synthèse, l'exploitant de l'aéroport de Genève (AIG) avait été consulté afin de formuler un préavis sur les deux variantes en pont, dont le tracé relie le Vengeron et la Pointe à la Bise (~3 km) :

- 1) Une solution multi-haubanée avec six pylônes et cinq portées principales de 335 m à 380 m ;
- 2) Une solution suspendue avec deux pylônes et une portée principale de 1275 m.

Office fédéral de l'aviation civile OFAC

Philippe Roth

Adresse postale: 3003 Berne

Tél. +41 58 465 13 20

Philippe.Roth@bazl.admin.ch

www.ofac.admin.ch



L'OFAC est aujourd'hui sollicité par le *Conseil Consultatif Traversée du Lac* afin de se prononcer sur le préavis de l'AIG et sur la possibilité de disposer d'une dérogation à la zone de sécurité de l'aéroport.

Les variantes « tunnel », également présentées dans le rapport de synthèse, ne font ni l'objet dudit préavis de l'AIG ni de ce pré-examen aéronautique. De même les questions liées au trafic routier - par exemple les reports de charge ou non sur l'autoroute A1 devant l'aéroport et les conséquences au niveau de l'accessibilité du terminal - ne font pas l'objet de cette note.

1. Préavis de l'AIG

Le mémo de l'AIG date du 24 juin 2010. Les thèmes qui ont été pré-analysés sont ceux qui sont habituellement repris dans une analyse d'obstacle à la navigation aérienne :

- Les surfaces de limitation d'obstacles et le respect de la zone de sécurité de l'aéroport ;
- Les surfaces de protection contre les obstacles liées aux indicateurs visuels de pente d'approche ;
- Les impacts sur les minima opérationnels des procédures de vol et ceux sur les équipements de communication, navigation et surveillance aériennes (Skyguide).

Dans la solution multi-haubanée, les pylônes ont une hauteur max. au-dessus du lac de 92.8 m (p5), 109.1 m (p6), 126.2 m (p7), 124.5 m (p8), 104.3 m (p9) et 85.2 m (p10) selon le plan TL-17.0-14 (réf. aussi §14.1.1 : « *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.* »).

En admettant un niveau¹ du lac à 372 m, les sommets des mâts se trouvent à : 464.8 m (p5), 481.1 m (p6), 498.2 m (p7), 496.5 m (p8), 476.3 m (p9) et 457.2 m (p10).

Dans la solution suspendue, les hauteurs des pylônes sont nettement supérieures. Nous les estimons à 1.5 fois celle du pylône le plus haut de la variante haubanée ($h \cong 187.5$ m ; réf. §14.2.4), le rapport de synthèse n'ayant pas approfondi cette variante. Dès lors, les sommets des mâts se trouvent à environ 560 m, ce que confirme le mémo de Skyguide avec 567.5 m sur un extrait de plan.

Les surfaces de limitation d'obstacles comprises dans la zone de sécurité de l'aéroport de Genève et qui concernent les variantes de tracé du pont sont les suivantes : surface horizontale à 464 m, surface conique entre 464 m et 564 m et rien sur une bande d'environ 500 m à l'ouest de la Pointe à la Bise.

Pour la variante haubanée, la zone de sécurité de l'aéroport a été intégrée à la coupe longitudinale du plan TL-17.0-14. Seul le pylône p5 est touché par la surface horizontale et la perce de 80 cm. La surface conique concerne les pylônes p6 à p8. De par l'absence d'altitudes sur la coupe longitudinale du plan TL-17.0-14 et de plan de situation avec à la fois le tracé du pont et les surfaces de limitation d'obstacles, il est difficile de calculer exactement le percement éventuel de la surface conique. Toutefois l'ordre de grandeur devrait être au plus de 2 m, ce qui est également le résultat de l'AIG. Enfin les deux derniers pylônes p9 et p10 ne sont pas touchés par la zone de sécurité.

Pour la variante suspendue, les percements sont massifs. Rien que pour le pylône ouest, le percement de la surface conique se monte à plus de 90 m.

Au niveau de la surface de protection contre les obstacles, il est correct de dire que la traversée du lac entre le Vengeron et la Pointe à la Bise n'affecte pas les indicateurs de pente d'approche.

¹ Selon <http://ge.ch/eau/lac-leman/niveau-du-lac>.

Les analyses effectuées à l'époque (juin 2010) par Skyguide couvrent aussi bien les questions opérationnelles des procédures de vol que les impacts sur les équipements de communication, navigation et surveillance aériennes. Sans surprise, la variante avec un pont suspendu présente des impacts négatifs notamment au niveau des équipements de navigation aérienne. A noter que les deux variantes de pont sont compatibles avec les procédures de vol de l'aéroport de Genève.

Le préavis de l'AIG ainsi que les expertises de Skyguide sont ainsi cohérentes avec notre appréciation de l'avant-projet.

2. Dérogation à la zone de sécurité

Comme indiqué plus haut, la variante en pont haubané occasionne des percements de la zone de sécurité de max. 2 m. Vu les servitudes qui accompagnent une zone de sécurité et le résultat de l'analyse préliminaire, l'OFAC pourra entrer en matière en vue d'une dérogation, de commun accord avec l'exploitant de l'aéroport de Genève. Cette variante en pont haubané a également les faveurs de Skyguide. Nous rendons les responsables du projet attentifs au fait que l'objet devra être annoncé et autorisé comme obstacles à la navigation aérienne, il sera balisé et que l'éclairage nocturne choisi (p.ex. des haubans) passera par une solution de haut en bas afin de limiter les risques d'éblouissement pour les équipages et éventuellement les contrôleurs aériens.

En revanche, la variante en pont suspendu n'est, de notre point de vue, pas compatible avec les exigences aéronautiques. D'une part les percements de la zone de sécurité sont majeurs et d'autre part l'ouvrage risque fortement d'occasionner des perturbations inacceptables de certains équipements de navigation aérienne. Dans ce cas une dérogation ne saurait se justifier.

3. Conclusion

Nous recommandons au *Conseil Consultatif Traversée du Lac* de privilégier dans le groupe « variantes pont » la version en pont haubané. Une fois la variante définie, des nouvelles analyses aéronautiques pourront être conduites.

Philippe Roth

Senior Aerodrome Safety Inspector

DO/FDU

Monsieur Raymond Loretan
Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA)
Direction générale des transports
Direction de projet Traversée du lac
Chemin des Olliquettes 4
Case postale 271 - 1211 Genève 8

Genève, le 13 juin 2017

Concerne :

Votre lettre du 10 avril 2018 - Détermination quant à une traversée du Lac Léman en pont ou en tunnel

Monsieur le Président,

Nous faisons suite à votre courrier du 10 avril dernier dans lequel vous souhaitez avoir un éclairage sur les contraintes liées aux trajectoires d'arrivées et de départs, relatives à la réalisation d'un pont.

Après avoir contacté notre fournisseur des services de la navigation aérienne Skyguide, il apparaît que les deux memos datant du 22 juin 2010 (que vous trouverez en annexe) sont encore à jour malgré les diverses évolutions de ces dernières années.

La variante en pont multi-haubané reste toujours l'option privilégiée.
En revanche, la version en pont suspendu demeure contraignante, en particulier sur l'un des trois critères étudiés :

- Préavis favorable concernant l'impact sur la partie IFP – Instrument Flight Procedures
- Préavis favorable concernant l'impact sur la partie « surveillance »
- Préavis défavorable concernant l'impact sur la partie « équipements de la navigation »

Si toutefois vous deviez continuer les études sur cette dernière variante, il faudrait alors mener une étude complémentaire plus poussée, afin de lever définitivement le doute sur sa faisabilité technico-opérationnelle concernant Skyguide et Genève Aéroport.

Enfin, la possibilité d'obtenir une dérogation de la part de notre régulateur l'OFAC – Office Fédéral de l'Aviation Civile reste relativement faible, dans la mesure où cela impacterait la sécurité du trafic aérien à l'arrivée et au départ de Genève.

En vous souhaitant bonne réception ainsi qu'un travail fructueux dans le rendu de votre recommandation, je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.



André SCHNEIDER
Directeur Général

Copies : M. Matthieu Baradel – Directeur de projet Traversée du Lac – DETA /DGT
M. Xavier Wohlschlag – Directeur opérations – Genève Aéroport
M. François Duret – Délégué aux affaires opérationnelles – Genève Aéroport
M^{me} Cécile du Mesnil d'Engente – Responsable des procédures de vol et espace aérien Skyguide Genève

Annexes : ment.



DETA
Case postale 3918
1211 Genève 3

Monsieur
Jean-Marc CHAPALLAZ
Rue des Jaquettes 8
1446 Baulmes

N^{réf.} : LB/DGGC/MB/jk – Aigle n° 602653-2017

Genève, le 19 avril 2017

Concerne : Traversée du lac avec production d'électricité

Monsieur,

Votre courriel du 29 mars 2017 m'est bien parvenu et a retenu ma meilleure attention.

Vous y développez votre idée d'adjoindre à une traversée du lac en pont des éoliennes qui pourraient ainsi servir de piliers pour le haubanage du pont.

Je considère toutes les propositions particulièrement intéressantes, telle que la vôtre, qui permettent d'étoffer les usages qui seraient faits d'un tel ouvrage.

Cependant, à ce stade, le choix entre une traversée du lac en pont ou en tunnel n'est pas encore fait.

Aussi, je vais transmettre votre proposition à Monsieur Raymond Loretan, Président du Conseil consultatif Traversée du lac, missionné actuellement par le Conseil d'Etat pour rendre un avis, d'ici à septembre 2017, sur une traversée en pont ou en tunnel. Il pourra ainsi en faire part aux membres de ce conseil.

En vous souhaitant bonne réception de la présente, je vous prie de croire, Monsieur, à l'assurance de ma parfaite considération.



Luc Barthassat

Copie : Monsieur Raymond Loretan, Président du Conseil consultatif Traversée du lac

De: Marceau Schroeter <marceau.schroeter@gmail.com>
Envoyé: lundi 27 mars 2017 21:18
À: Barthassat Luc (DETA)
Objet: Fwd: Genève - Traversée de la rade avec production d'électricité
Pièces jointes: Traversée de la rade Genève.pdf; ATT00001.htm

| | |
|---------------------|------------|
| DETA - 802 B. Lucie | |
| 28 MAR. 2017 | |
| CC | |
| D&E - CJK | |
| DET - PM - JBF | |
| Resp. | N. Barndel |

Envoyé de mon iPhone

Début du message transféré :

Expéditeur: "jmceng@bluewin.ch" <jmceng@bluewin.ch>
Date: 27 mars 2017 à 20:40:53 UTC+2
Destinataire: info@lucbarthassat.ch
Objet: Genève - Traversée de la rade avec production d'électricité
Répondre à: jmceng@bluewin.ch

Cher Monsieur,

J'ai pris connaissance récemment des propositions d'un célèbre architecte pour la traversée de la rade de Genève

<https://www.rts.ch/info/regions/geneve/8484721-l-architecte-santiago-calatrava-livre-sa-vision-de-la-traversee-du-lac-a-geneve.html>

Comme ingénieur actif dans le secteur des énergies renouvelables, il me semble qu'il est possible d'élargir l'usage de cet ouvrage en lui adjoignant la production d'électricité via des éoliennes qui pourraient en même temps servir de piliers pour le haubanage du pont.

J'ai résumé cette idée dans la pièce jointe.

C'est volontiers que je recevrai vos commentaires sur cette proposition innovante qui va dans le sens de la SE 2050, soit un maximum de production d'électricité localement à partir de sources renouvelables.

Avec mes cordiales et respectueuses salutations

J-M Chapallaz

--

J-M Chapallaz
 Ingénieur EPFL/SIA
 rue des Jaquettes 8
 CH-1446 BAULMES
 Tél/Fax: 0041 24 459 24 73
 E-Mail: jmceng@bluewin.ch

GENEVE - TRAVERSEE DE LA RADE AVEC PRODUCTION D'ELECTRICITE

Un architecte célèbre présente sa vision de la traversée de la rade de Genève

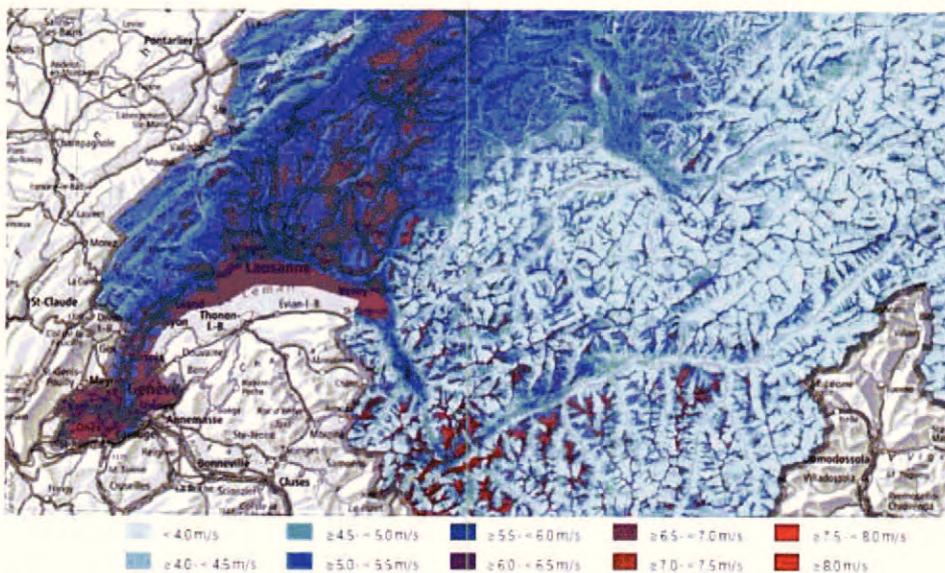
<https://www.rts.ch/info/regions/geneve/8484721-l-architecte-santiago-calatrava-livre-sa-vision-de-la-traversee-du-lac-a-geneve.html>

Nous proposons une vision originale et innovante dans laquelle cet ouvrage serait en même temps producteur d'électricité.

Avec 6 éoliennes de grande puissance utilisées en même temps comme mâts pour le haubanage du pont, il serait possible de produire l'équivalent de la consommation de 10'000 ménages !



En examinant la carte des vents éditée par l'OFEN, nous constatons que les vents sont très favorables dans la région lémanique et genevoise, ce qui assure une excellente productivité et rentabilité d'un tel projet.



Source: Atlas du vent - OFEN

Une idée originale et proposition de J-M Chapallaz, Ingénieur EPFL/SIA CH-1446 BAULMES

TRAVERSÉE DU LAC ET BOUCLEMENT AUTOROUTIER

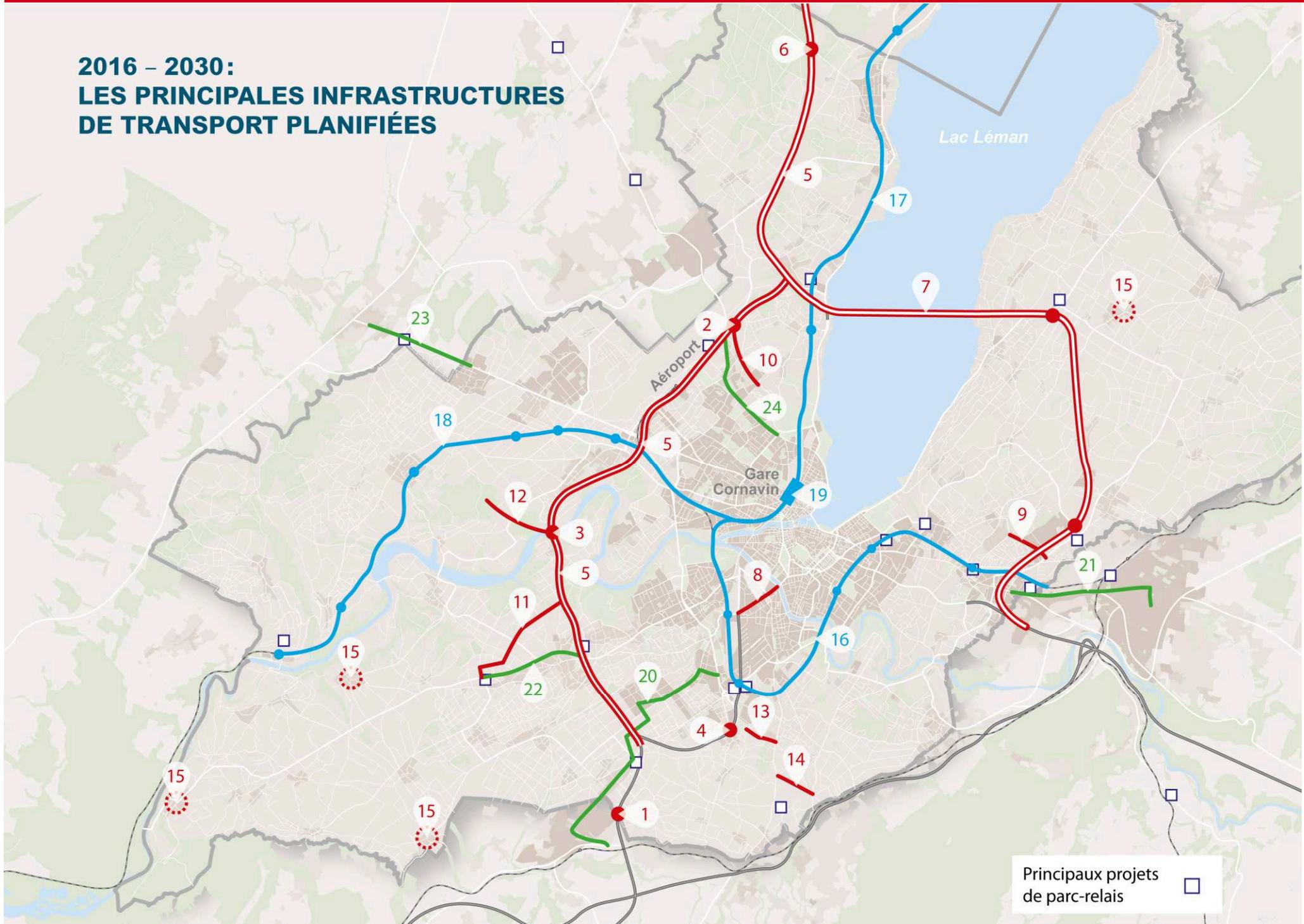
PRÉSENTATION DU PROJET DU CONSEIL D'ETAT

28.11.2016



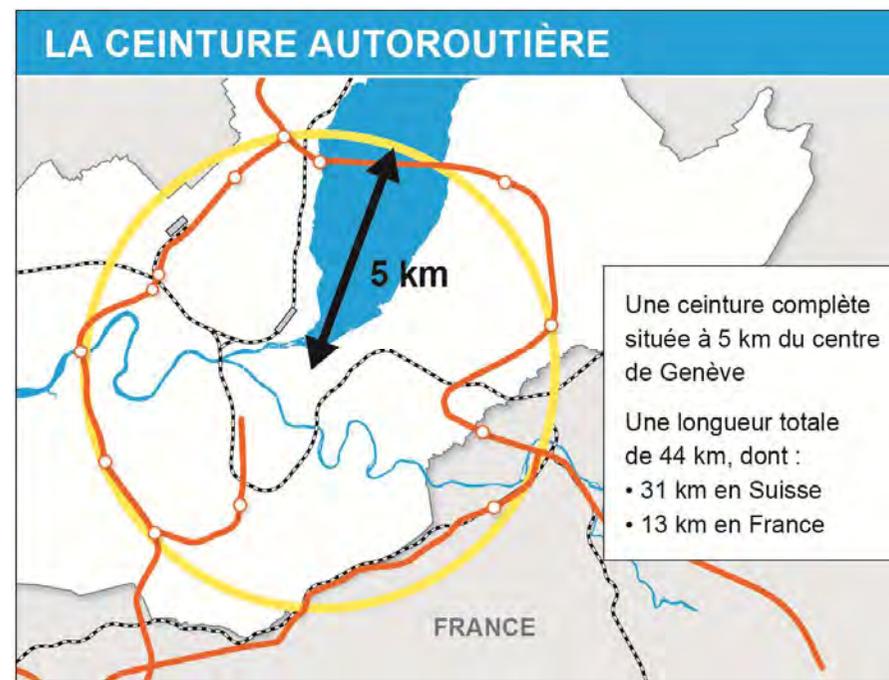
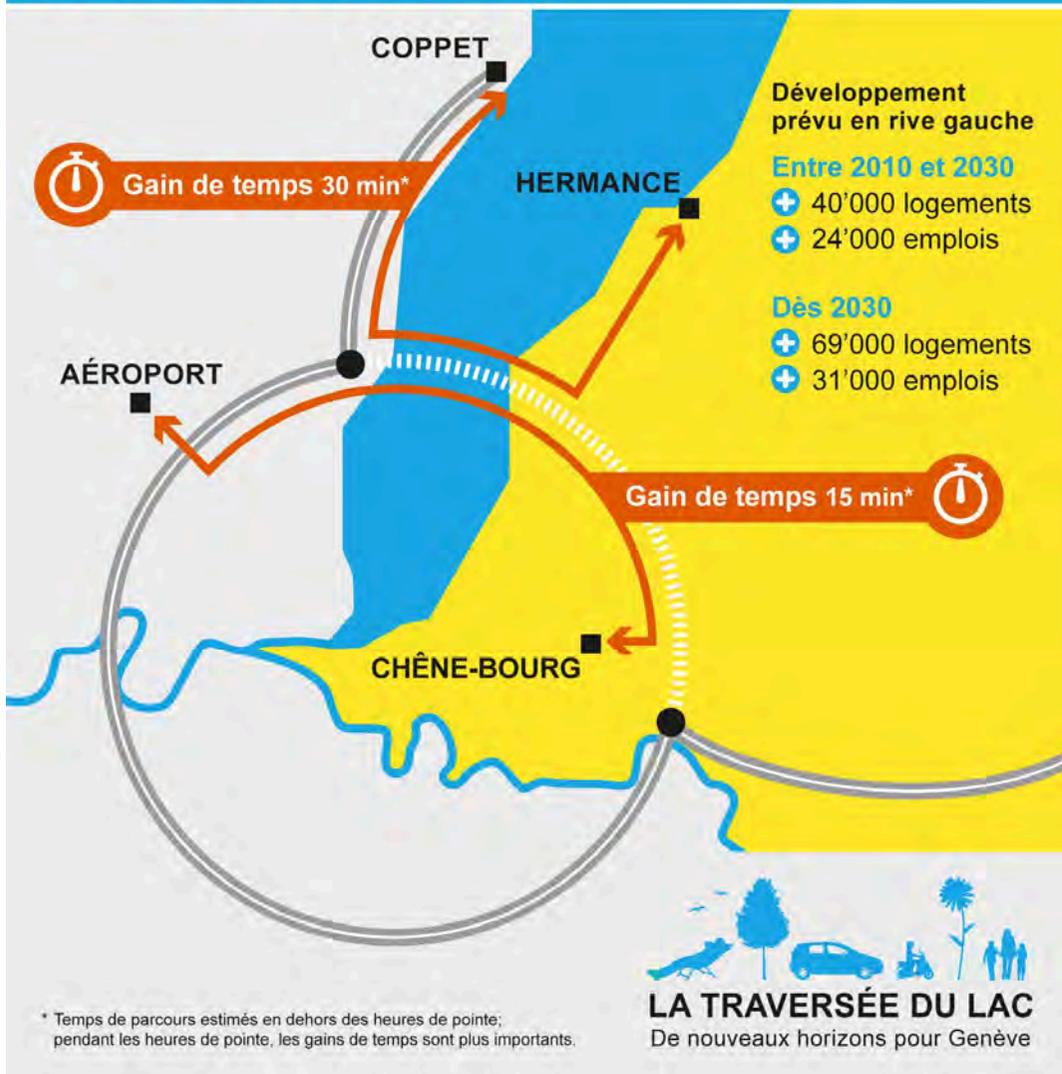
LA COMPLÉMENTARITÉ AU CŒUR DE LA STRATÉGIE

**2016 – 2030:
LES PRINCIPALES INFRASTRUCTURES
DE TRANSPORT PLANIFIÉES**



TRAVERSÉE DU LAC : POUR AMELIORER L'ACCESSIBILITE DE LA RIVE GAUCHE

LA GRANDE TRAVERSÉE DU LAC: POUR SOUTENIR LA CROISSANCE DE LA RIVE GAUCHE



TRAVERSEE DU LAC : UNE MEILLEURE QUALITE DE VIE POUR GENÈVE



100'000

habitants du centre qui respirent mieux

L'importante diminution du trafic automobile dans le centre va permettre de drastiquement diminuer les émissions polluantes dues aux véhicules motorisés.

Près de 100'000 personnes, soit l'équivalent de la moitié de la population de la ville de Genève, pourront ainsi bénéficier directement de cette amélioration de la qualité de l'air.



Des temps de déplacement plus courts

Avec la grande traversée du Lac, un automobiliste gagnera :

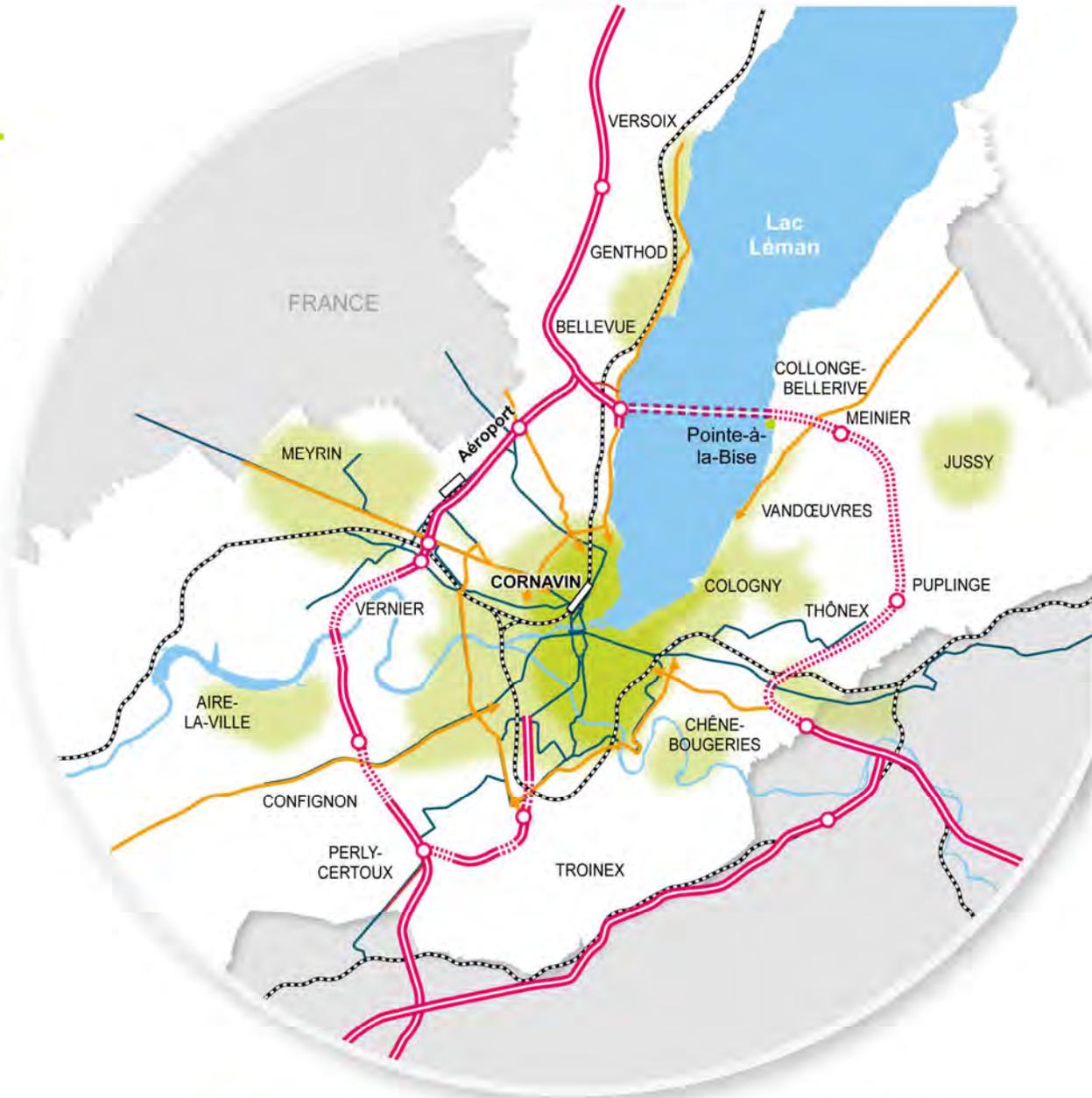
13 minutes pour aller de Collonges-Bellerive aux Nations

15 minutes pour aller de Coligny à Palexpo

15 minutes pour aller de l'Aéroport à Chêne-Bourg

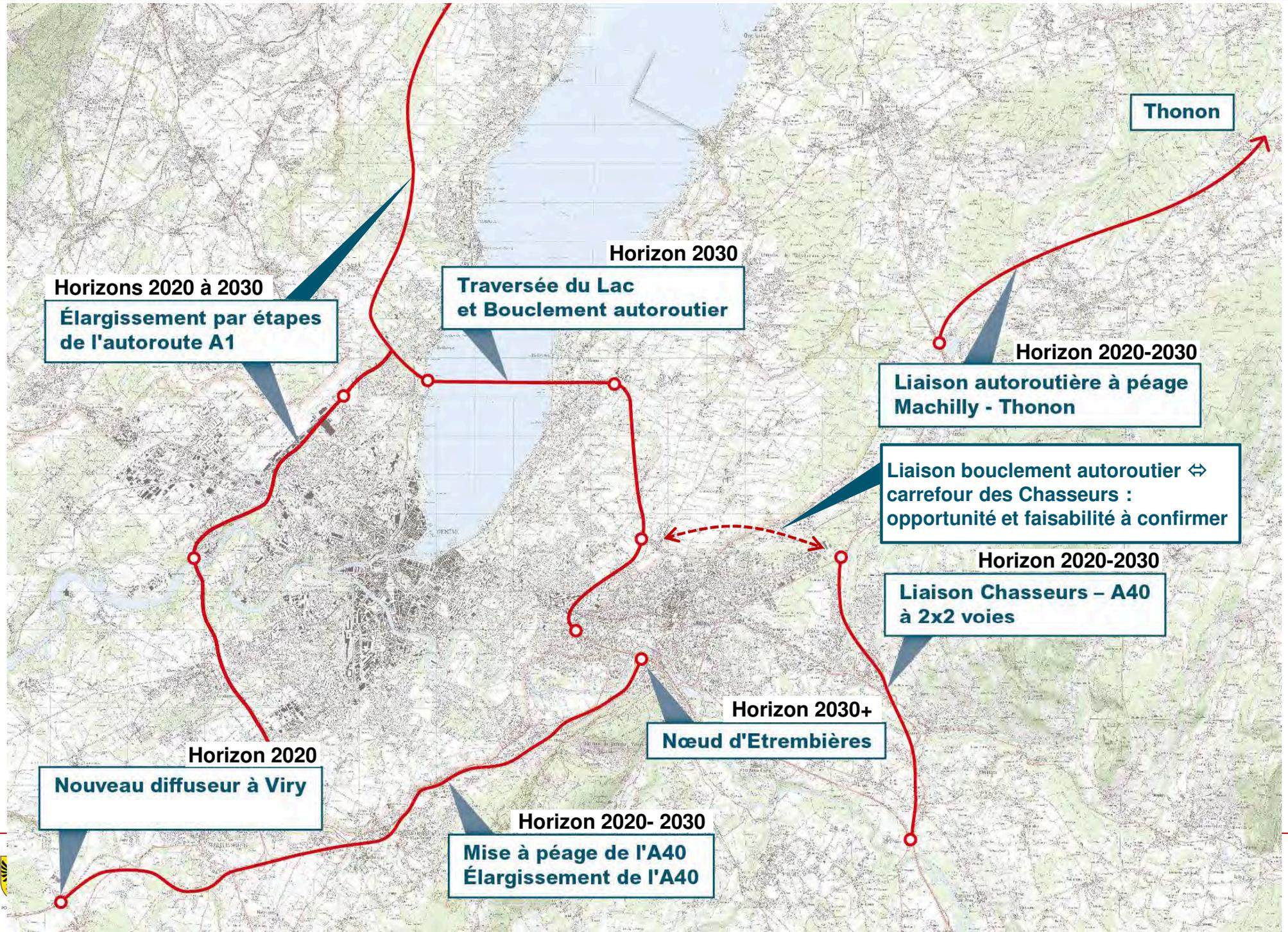
20 minutes pour aller de Versoix à Veyrier

Un tiers de trafic en moins dans l'hyper-centre



- Secteurs de réduction de trafic
- Autoroute
- Réseau ferroviaire Léman Express
- Réseau routier principal
- Grande traversée du lac (pont ou tunnel)
- Autoroute en tunnel
- Jonction
- Axe fort de transport public

LES DÉVELOPPEMENTS AUTOROUTIERS DU GRAND GENÈVE PRÉVUS D'ICI L'HORIZON 2030



2011 – 2013

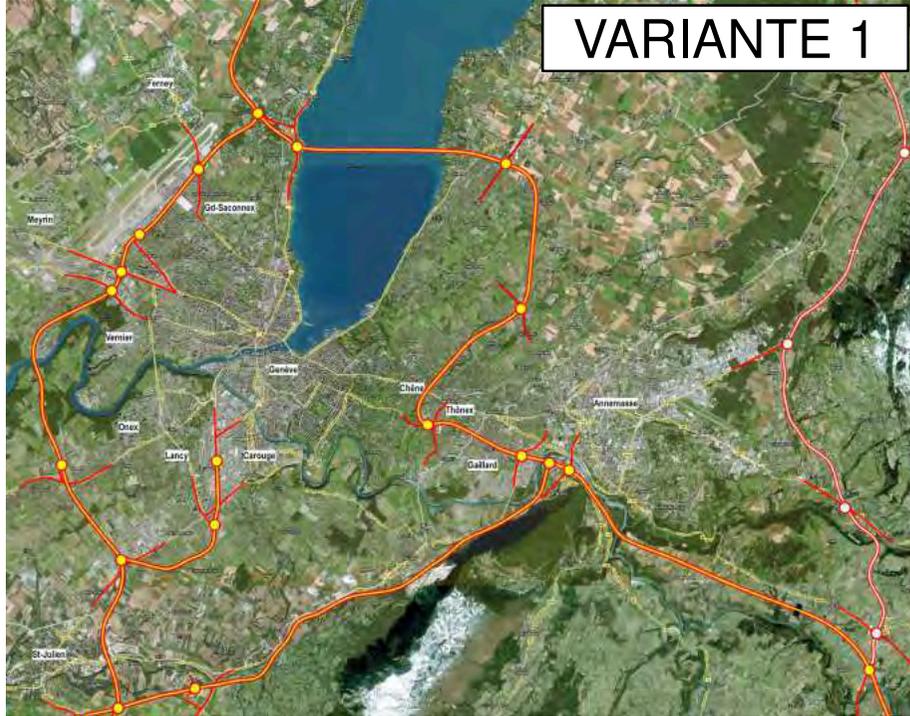
ÉTUDES CANTONALE ET FÉDÉRALE

> ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN PROJET DE BOUCLEMENT AUTOROUTIER

- Étude de trafic
- Options de tracés
- Géotechnique et sondages
- Contraintes et sensibilité environnementale – étude d'impact
- Conséquence sur l'aménagement du territoire (urbanisme-mobilité-paysage), coordination avec les planifications futures
- Techniques de réalisation et faisabilité
- Mesures d'accompagnement
- Coût et financement

ÉTUDE CANTONALE (2011) – DIFFÉRENTES VARIANTES ÉTUDIÉES

VARIANTE 1



VARIANTE 2



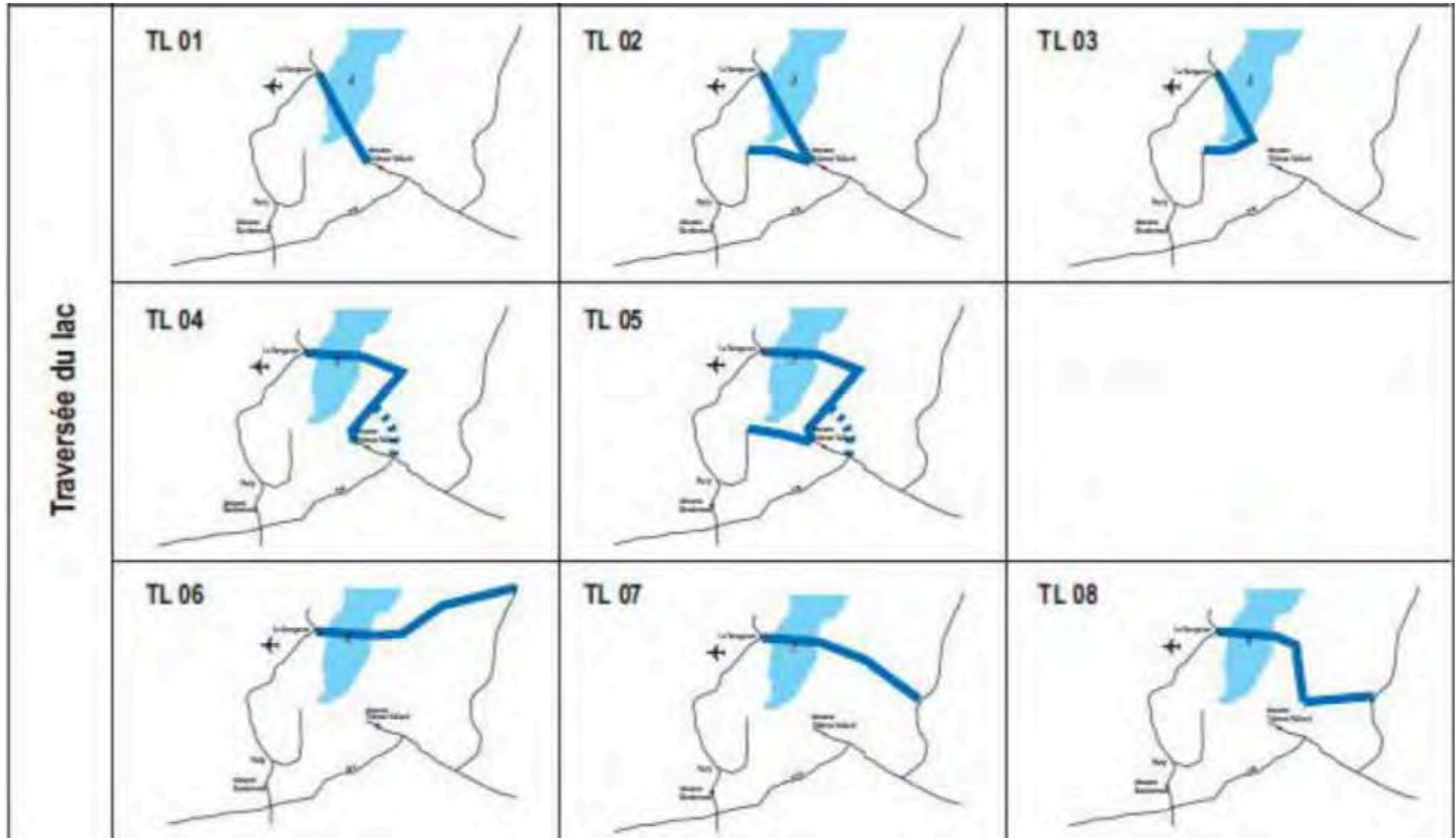
VARIANTE 3



VARIANTE 4



ÉTUDE FÉDÉRALE (2013) – DIFFÉRENTES VARIANTES ÉTUDIÉES



DÉTAIL DU PROJET ET PRINCIPES D'INTÉGRATION

PROJET DE BOUCLEMENT AUTOROUTIER : LE TRACÉ DE BASE CANTONAL



OBJECTIF DE RÉALISATION : HORIZON 2030

Bouclément autoroutier:

↘ Entre le Vengeron et Thônex-Vallard: 14 km

↘ Traversée du lac (pont ou tunnel): 3 km

↘ Sur la Rive gauche: 9 km en tunnel

↘ Jonctions et échangeurs: 2 km

INTÉGRATION DES NOUVELLES JONCTIONS (PUPLINGE)

VUE À 30M DE HAUTEUR



Situation projetée



Plan de situation

JONCTION

- Périmètre de la jonction
- Voies d'autoroute
- Voies de la jonction



Situation actuelle

INTÉGRATION DES NOUVELLES JONCTIONS (ROUELBEAU)

VUE À 30M DE HAUTEUR



Situation projetée



Plan de situation

JONCTION
Périmètre de la jonction
Voies d'autoroute
Voies de la jonction



Situation actuelle

ACCROCHE DE LA TRAVERSEE DU LAC (OPTION PONT) COTÉ POINTE À LA BIÈSE



ACCROCHE DE LA TRAVERSÉE DU LAC (OPTION PONT) COTÉ VENGERON



> PRÉFINANCEMENT CANTONAL DES OUVRAGES

▪ 2017 : préciser le projet

- ⇒ **Choix d'un pont ou d'un tunnel** pour le franchissement du lac sur la base des études déjà réalisées - préavis du **Conseil consultatif Traversée du Lac**
- ⇒ Dépôt d'un **projet de loi ouvrant un crédit d'études** pour le financement des études d'avant-projet du bouclage autoroutier et des mesures d'accompagnement associées en vue de la demande de dérogation fédérale pour l'instauration d'un péage sur ouvrage en 2019

▪ 2019 : sécuriser le financement

Sollicitation de l'Assemblée fédérale pour une dérogation à l'art. 82 cst autorisant à mettre en place un **péage d'infrastructure** sur la base d'études de niveau "Avant-projet"

▪ 2022 : limiter les risques et optimiser le financement

Décision quant aux modalités de financement et à la conclusion d'un éventuel Partenariat public-privé sur la base d'études de niveau "projet"

▪ 2025 : réalisation

Début des travaux

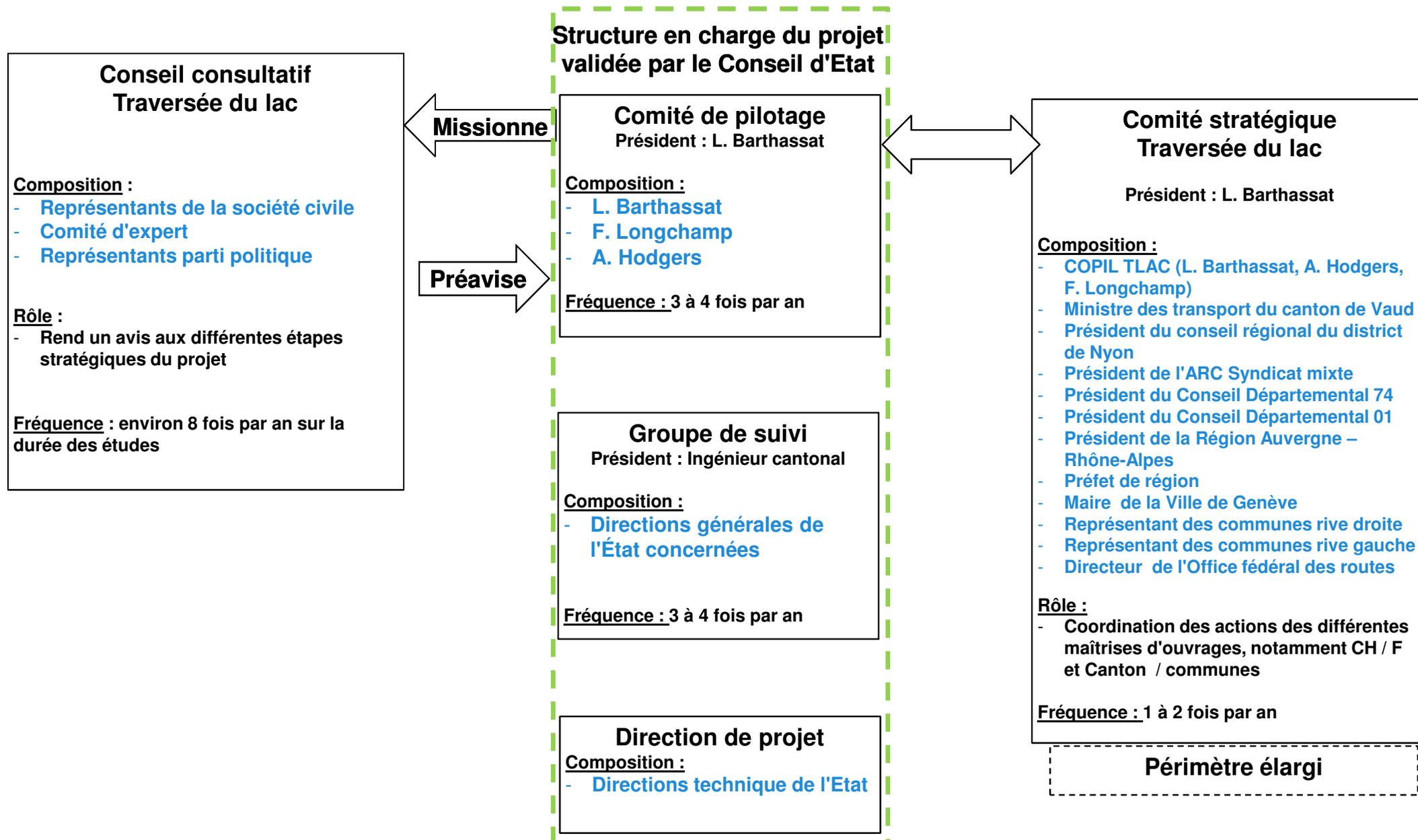
> EN PARALLÈLE, TRAVAIL AVEC LA CONFÉDÉRATION

Inscrire le bouclage autoroutier dans:

- le réseau des routes nationales
- dans le programme de développement stratégique adossé au FORTA

ORGANISATION

PILOTAGE STRATÉGIQUE (DÉCISION COPIL)



> DÉBUT DES TRAVAUX DU CONSEIL CONSULTATIF TRAVERSÉE DU LAC

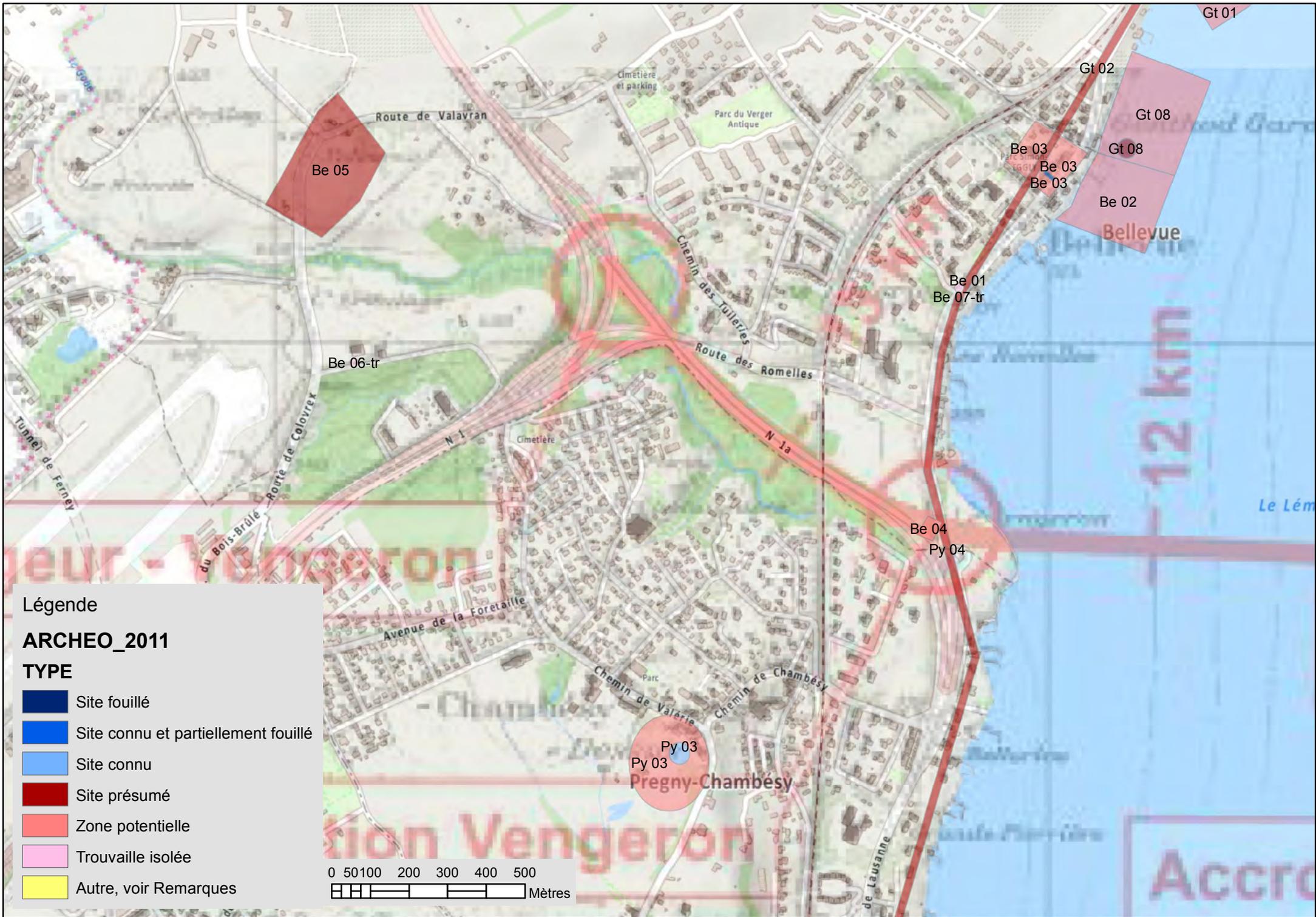
- Rôle : rendre un avis au Comité de pilotage sur la question de la traversée du lac **en pont ou en tunnel**
- Début des travaux : 28 novembre 2016
- Préavis : septembre 2017

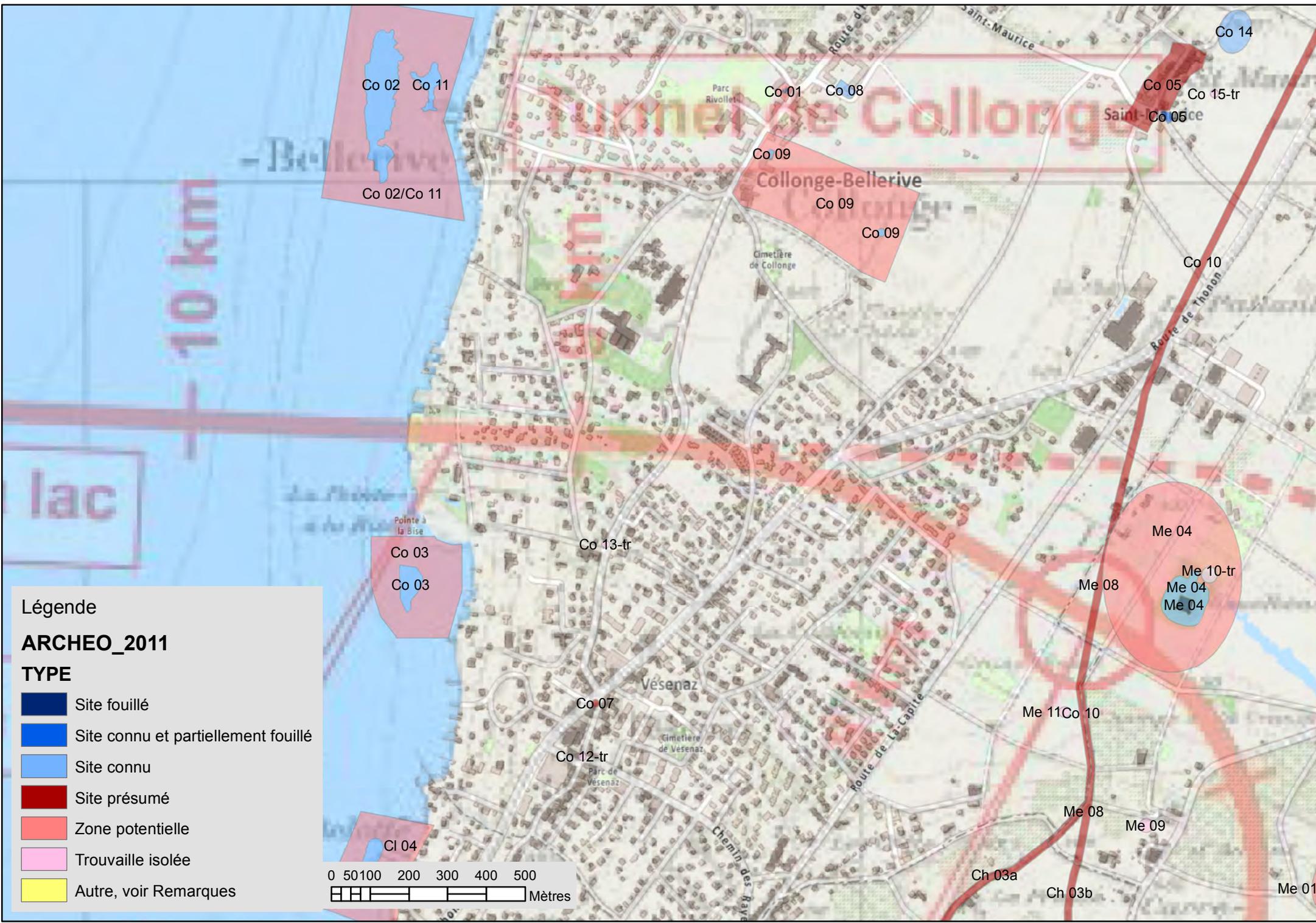
> AVANT LA DEMANDE DE DÉROGATION POUR AUTORISER UN PÉAGE D'INFRASTRUCTURE

- Préciser le projet :
 - ⇒ Élaboration d'un **avant-projet du boucllement autoroutier** : géotechnique, environnement, nature, paysage, agriculture, hydrologie, hydrogéologie, trafic, ...
 - ⇒ Élaboration d'un programme de **requalification du centre** : maximiser les opportunités liées au boucllement autoroutier en faveur des transports publics, mobilités douces et espaces publics
 - ⇒ Élaboration d'un **projet de territoire** : mesures d'accompagnement et coordination urbanisation – transport – environnement
 - ⇒ Précision des **scénarios financement** : financement public, en partenariat public-privé, recherche de partenaires

> OBJECTIF :

DÉPÔT DU DOSSIER À L'ASSEMBLÉE FÉDÉRALE - 2019





Légende

ARCHEO_2011

TYPE

- Site fouillé
- Site connu et partiellement fouillé
- Site connu
- Site présumé
- Zone potentielle
- Trouvaille isolée
- Autre, voir Remarques

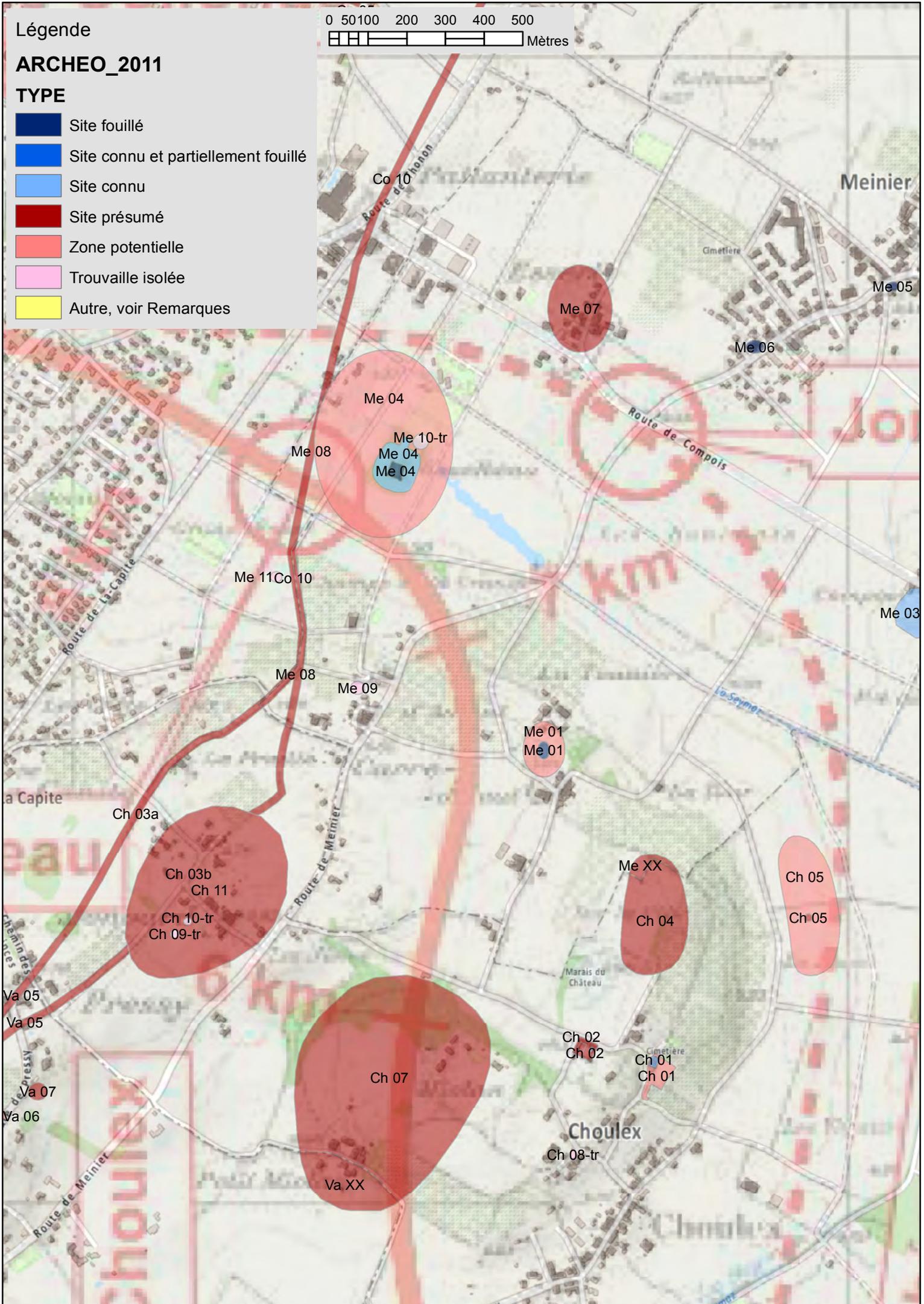
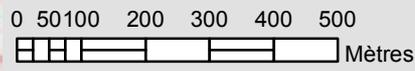
0 50 100 200 300 400 500
Mètres

Légende

ARCHEO_2011

TYPE

- Site fouillé
- Site connu et partiellement fouillé
- Site connu
- Site présumé
- Zone potentielle
- Trouvaille isolée
- Autre, voir Remarques

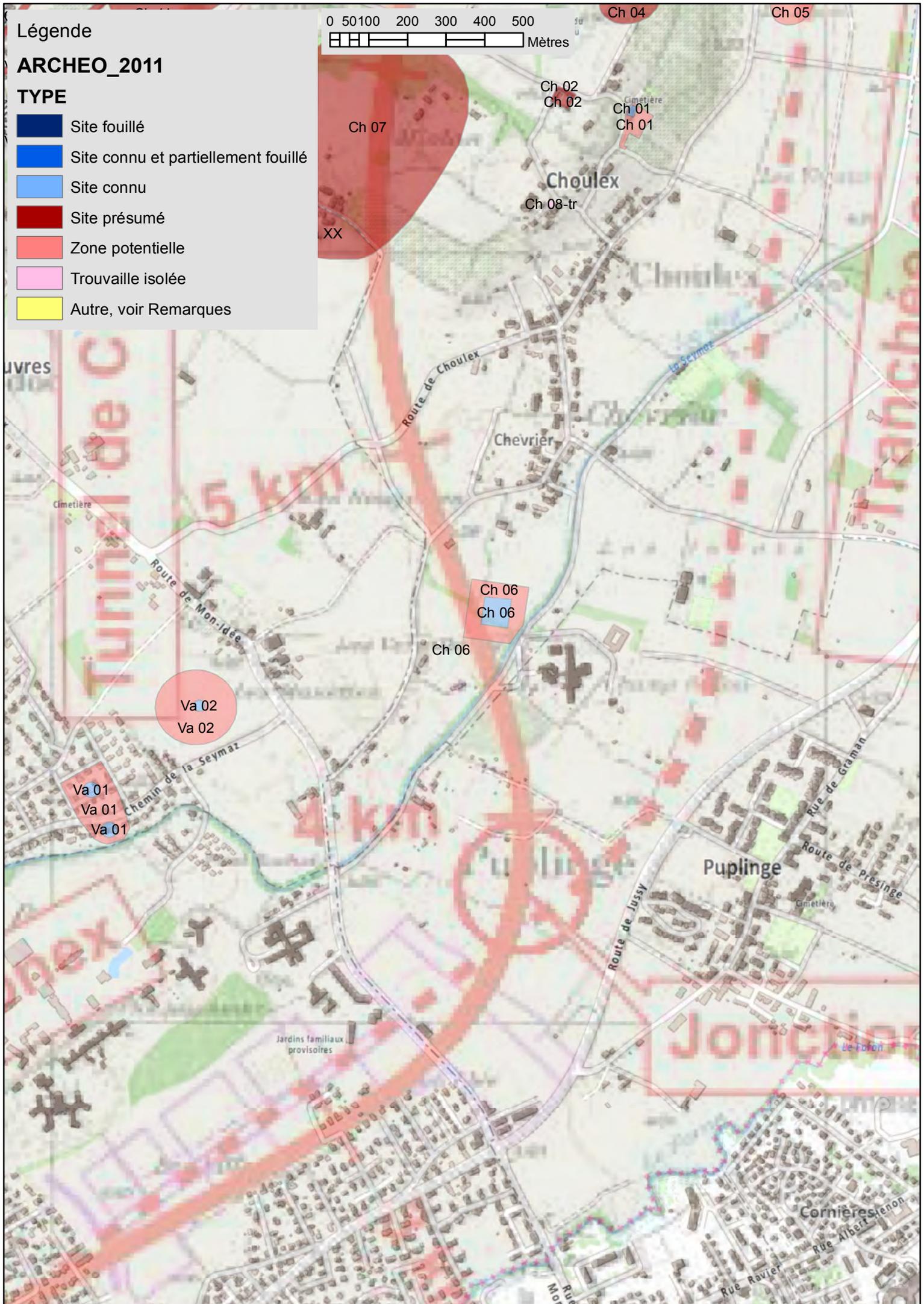
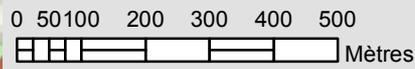


Légende

ARCHEO_2011

TYPE

- Site fouillé
- Site connu et partiellement fouillé
- Site connu
- Site présumé
- Zone potentielle
- Trouvaille isolée
- Autre, voir Remarques

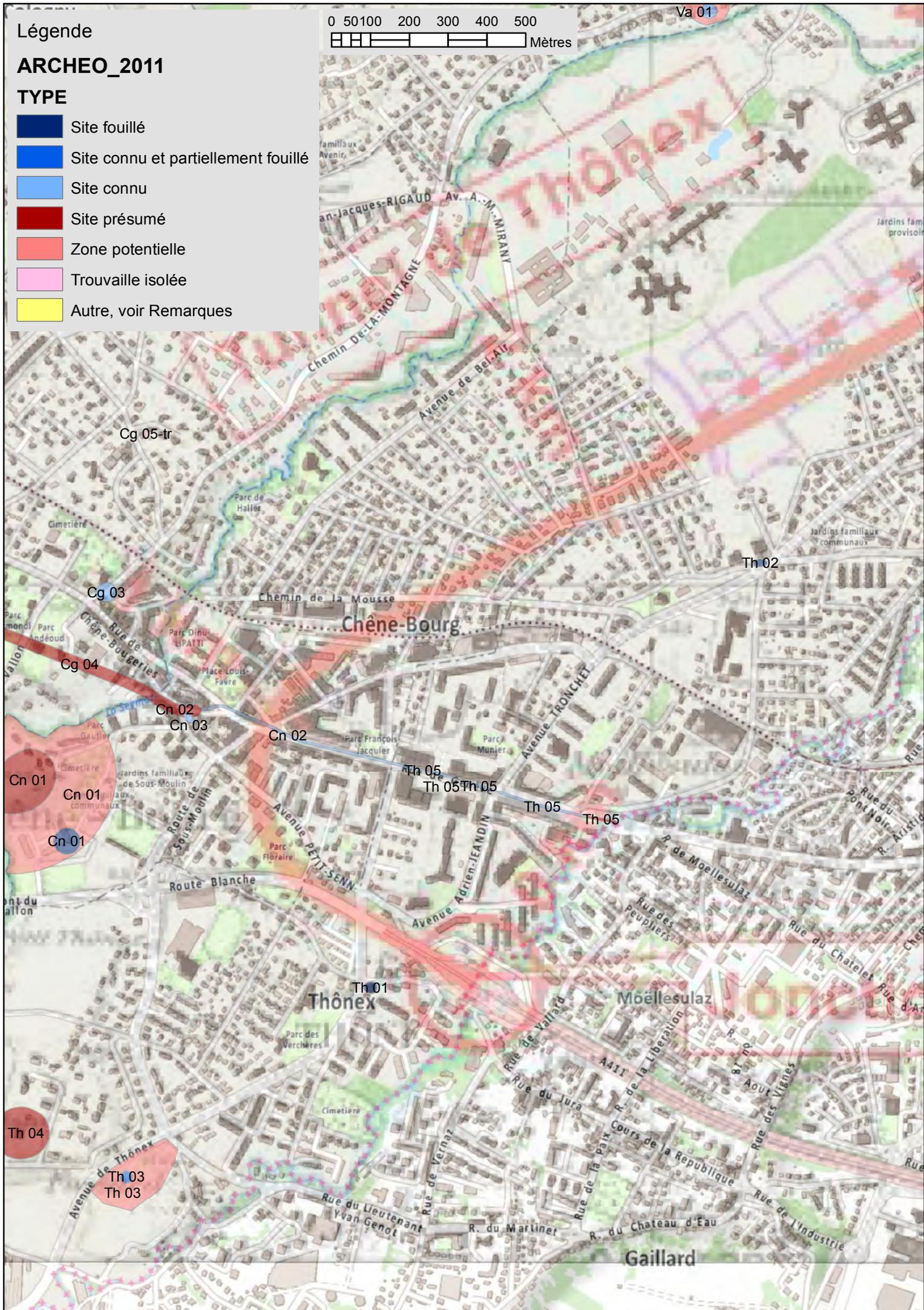
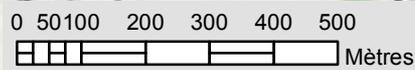


Légende

ARCHEO_2011

TYPE

- Site fouillé
- Site connu et partiellement fouillé
- Site connu
- Site présumé
- Zone potentielle
- Trouvaille isolée
- Autre, voir Remarques



TRAVERSÉE DU LAC ET BOUCLEMENT AUTOROUTIER

CONSEIL CONSULTATIF N°2

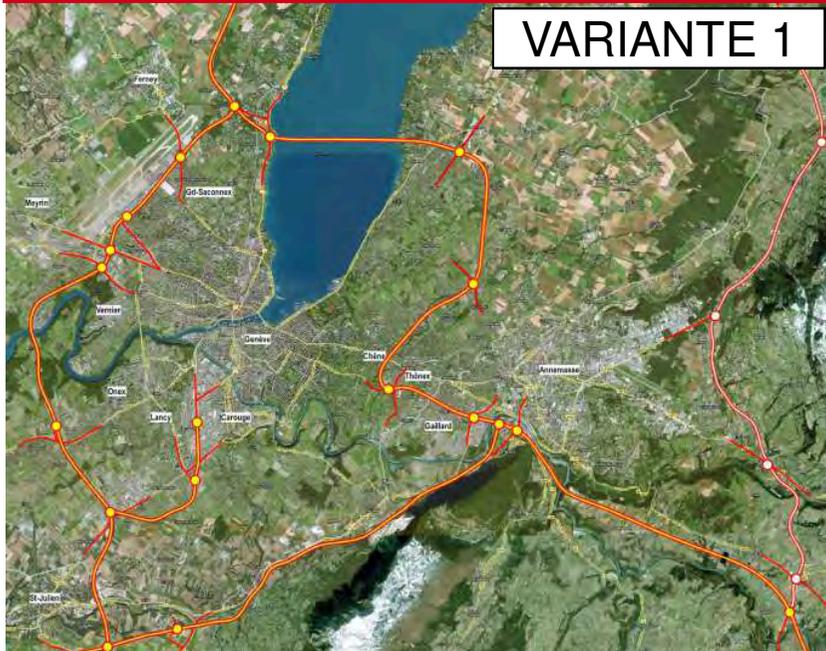
ÉTUDES EXISTANTES RELATIVES À LA TRAVERSÉE DU
LAC EN PONT OU EN TUNNEL

07.12.2016

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ CANTONALE
(2011)**

DIFFÉRENTES VARIANTES ÉTUDIÉES SOUS L'ANGLE DE L'OPPORTUNITÉ

VARIANTE 1



VARIANTE 2



VARIANTE 3



VARIANTE 4



ÉLÉMENTS AYANT CONDUIT AU CHOIX DU TRACÉ RETENU PAR LE CONSEIL D'ETAT

Pages 9 à 17 et 150 à 162 du rapport de synthèse

> RÉORGANISER LES CIRCULATIONS INTERNES AU CANTON ET À L'AGGLOMÉRATION

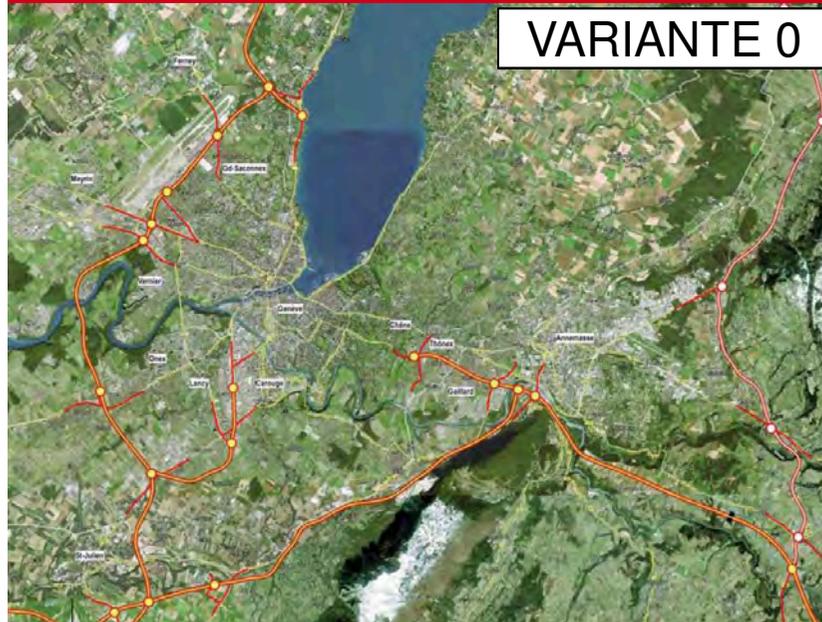
- Offrir des potentiels de délestage du cœur d'agglomération (évaluation à ce stade hors mesures de requalifications)
- Améliorer l'accessibilité et l'organisation des réseaux de transport de la rive gauche du lac

> CONTRIBUER À LA RÉSORPTION DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT SUR L'AUTOROUTE DE CONTOURNEMENT ACTUELLE

> RÉALISATION :

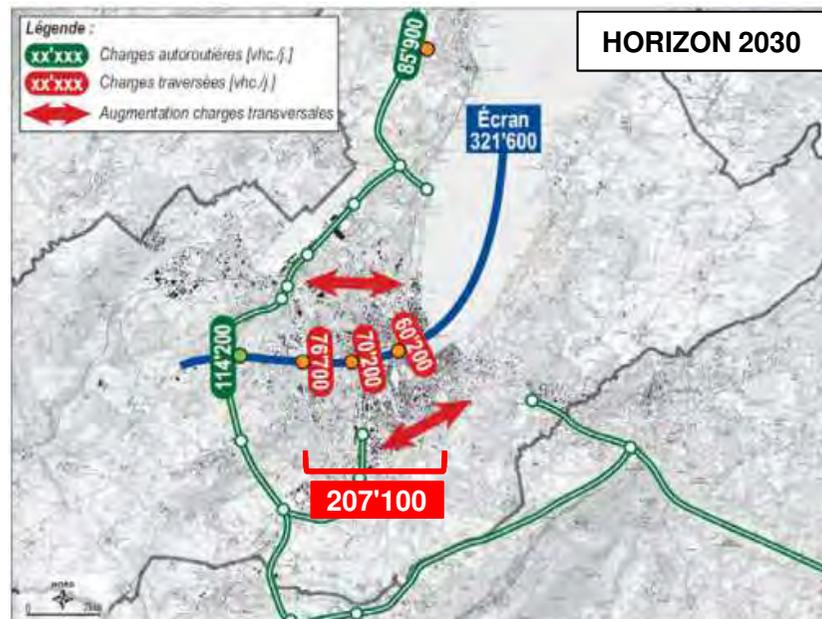
- Objectif d'une prise de compétence fédérale (vision en 2011)

ANALYSE DES VARIANTES – VARIANTE "0"



> RÉORGANISATION DES CIRCULATIONS

- Pas / peu de potentiel de réduction de trafic au cœur d'agglomération
- Augmentation des mouvements transversaux
- Pas d'amélioration pour la rive gauche

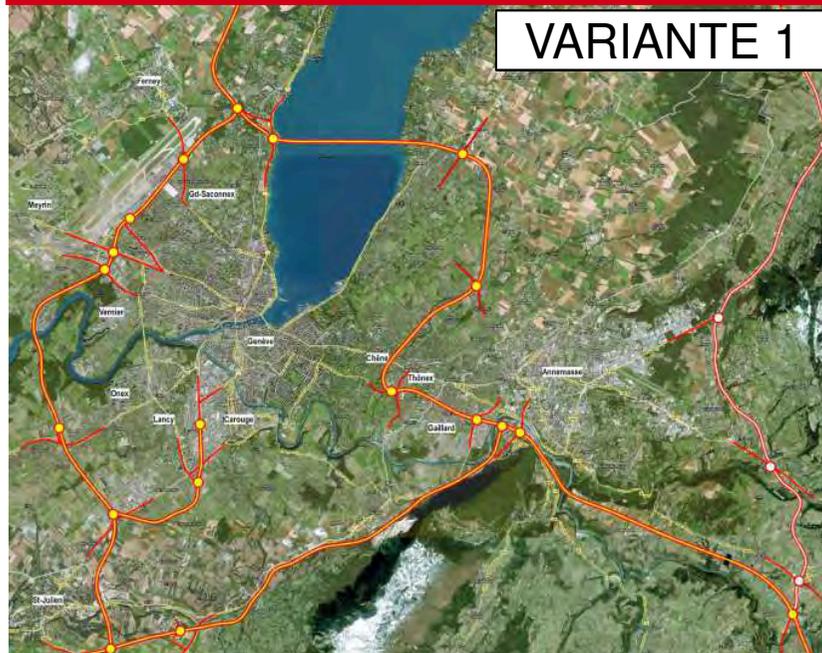


> TRAITEMENT DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT PAR UN ÉLARGISSEMENT UNIQUEMENT

> RÉALISATION OFROU

Figure 6 : Autoroute A1 élargie

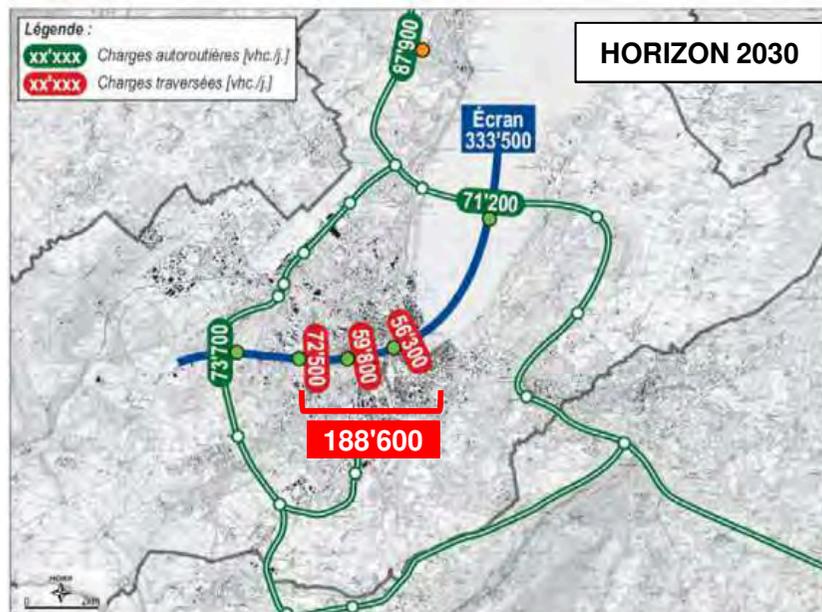
ANALYSE DES VARIANTES



> RÉORGANISATION DES CIRCULATIONS

- Le plus gros potentiel de report de trafic du cœur d'agglomération : -18'500 veh/j
- Contribue à une meilleure structuration des réseaux de transport de la rive gauche

→ Points confirmés par l'OFROU dans son analyse (notion "d'utilité supplémentaire")



> TRAITEMENT DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT

- Contribue à décharger l'actuelle autoroute de contournement : potentiel maximal entre les différentes variantes

> RÉALISATION POTENTIELLE OFROU

Figure 7 : Variante 1 : Vengeron – Pallanterie - Thônex

ANALYSE DES VARIANTES

VARIANTE 2



> RÉORGANISATION DES CIRCULATIONS

- Potentiel de report de trafic du cœur d'agglomération médian : -10'400 veh/j
- "multiplication de doubles traversées" en rive gauche

> TRAITEMENT DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT

- Contribution limitée à la décharge de l'autoroute A1 actuelle (grand transit vers le sillon alpin essentiellement)

→ Point confirmé par l'OFROU dans son analyse

> RÉALISATION :

- Réalisation bi-nationale avec coordination nécessaire des planifications

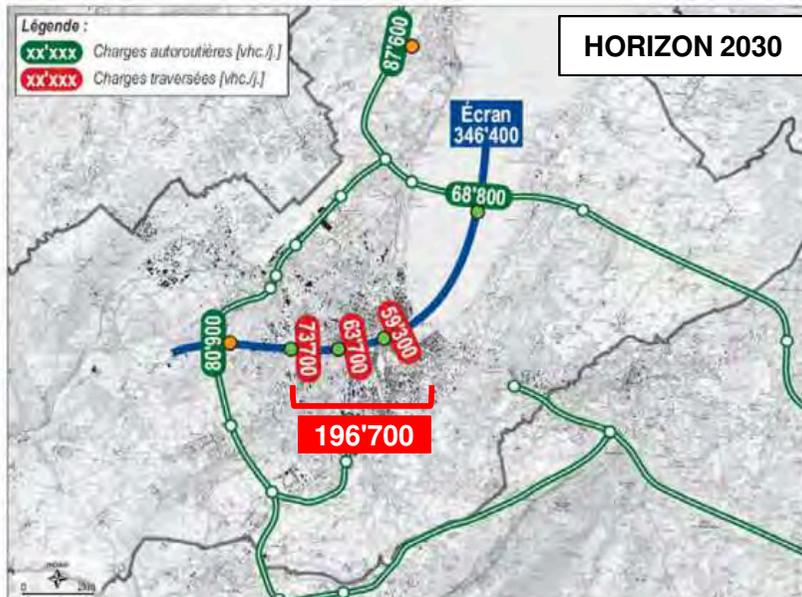


Figure 8 : Variante 2 : Vengeron – Pallanerie - Annemasse

ANALYSE DES VARIANTES

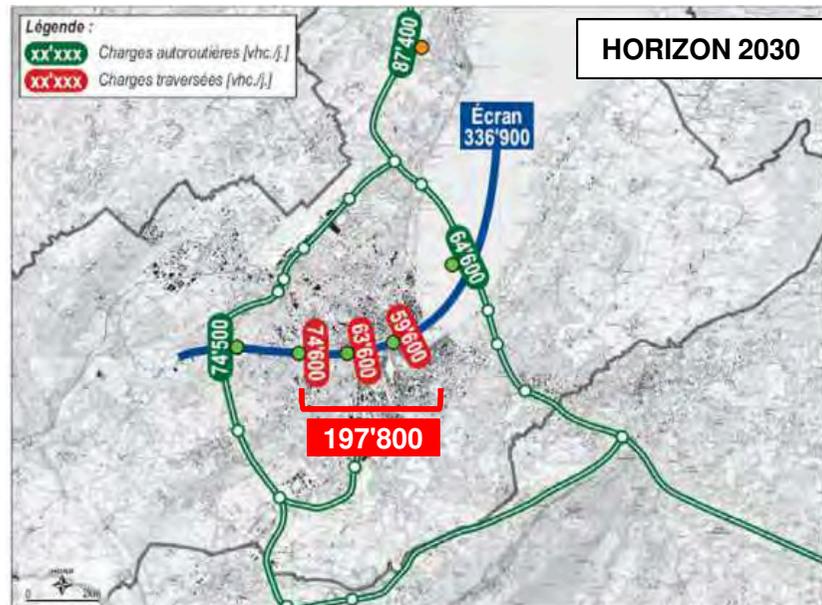


> RÉORGANISATION DES CIRCULATIONS

- Potentiel de report de trafic du cœur d'agglomération le plus faible : -9'300 veh/j

> TRAITEMENT DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT

- Contribue à décharger l'actuelle autoroute de contournement : potentiel médian entre les différentes variantes



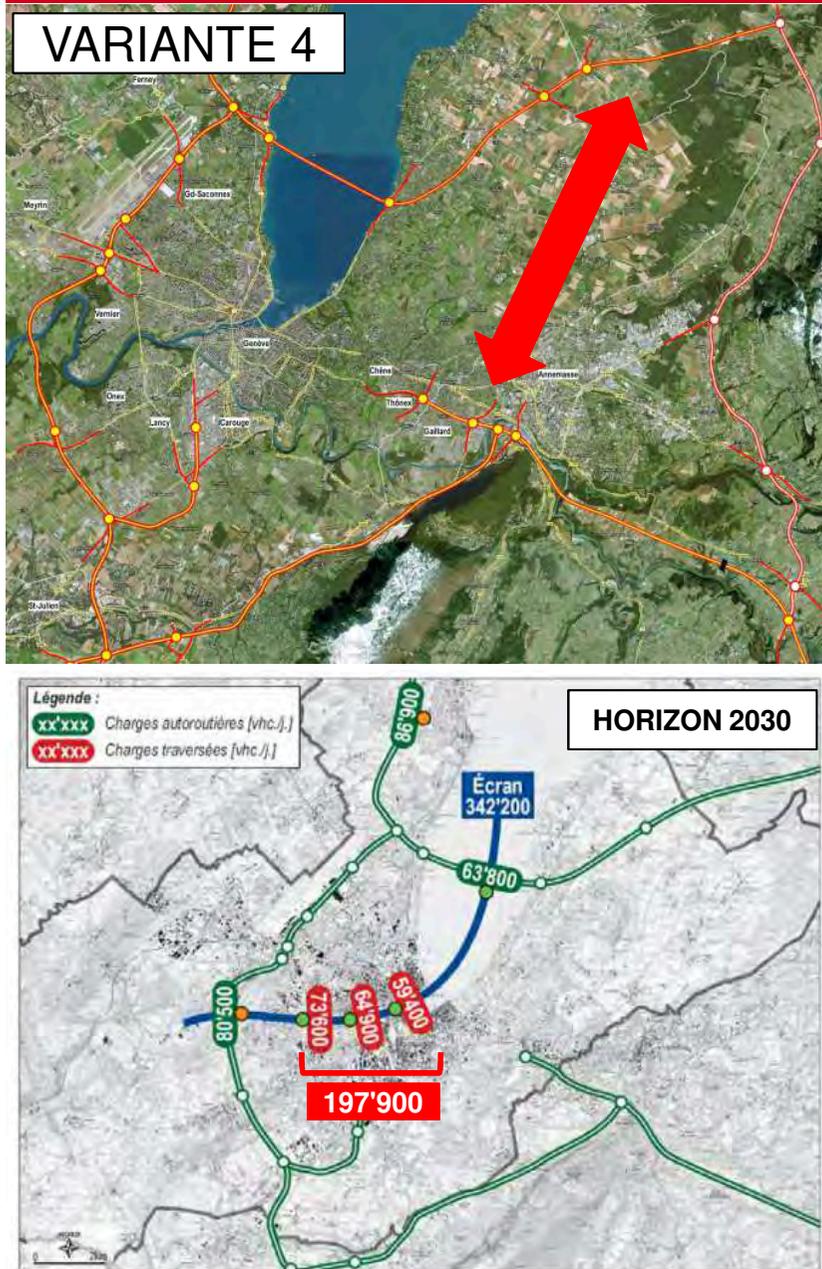
> RÉALISATION POTENTIELLE OFROU

> AUTRE POINT :

- Impact potentiel sur la nappe phréatique du Genevois en rive gauche du lac

Figure 12 : Variante 3c : Vengeron – Frontenex - Thônex

ANALYSE DES VARIANTES



> RÉORGANISATION DES CIRCULATIONS

- Potentiel de report de trafic du cœur d'agglomération le plus faible : -9'200 veh/j
- Risque de "multiplication de doubles traversées" en rive gauche

> TRAITEMENT DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT

- Contribution limitée à la décharge de l'autoroute A1 actuelle (grand transit vers le sillon alpin essentiellement)

→ Point confirmé par l'OFROU dans son analyse

> RÉALISATION :

- Réalisation bi-nationale avec coordination nécessaire des planifications

Figure 13 : Variante 4 : Vengeron – Belotte - Veigy

SYNTHÈSE CONCERNANT L'ANALYSE DES VARIANTES DE TRACÉS



VARIANTE RETENUE:

- Potentiel de délestage du centre-ville important
- Structuration des réseaux de transport de la rive gauche
- Décharge du réseau national important
- Variante retenue par la Confédération
- Dimension nationale de l'ouvrage (objectif de prise en compte par la Confédération)



VARIANTE ECARTEE :

- Potentiel de délestage du centre-ville médian
- Risques d'augmentation du trafic parasite en rive-gauche
- Décharge du réseau national médian
- Réalisation bi-nationale de l'ouvrage



VARIANTE ECARTEE :

- Potentiel de délestage du centre-ville faible
- Augmentation du trafic en rive gauche à l'approche du centre-ville
- Décharge du réseau national médian
- Impact potentiel sur la nappe phréatique du Genevois



VARIANTE ECARTEE :

- Potentiel de délestage du centre-ville faible
- Risques d'augmentation du trafic parasite en rive-gauche
- Décharge du réseau national médian
- Réalisation bi-nationale de l'ouvrage

LES VARIANTES DE TRAVERSÉE ENVISAGÉES DANS L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ CANTONALE

Pages 18 à 27 et 96 à 109 du rapport de synthèse

TUNNEL

TUNNEL FORÉ

TUNNEL IMMERGÉ

TUNNEL FLOTTANT

Variante non approfondie :

- Contexte géotechnique
- Difficultés / impossibilités constructives
- Risques constructifs
- Profil limitant les types de véhicules (PL)



Variante approfondie dans les études de faisabilité

Variante non approfondie :

- Difficultés constructives
- Risques constructifs
- Ouvrage jamais réalisé



PONT

PONT SUSPENDU

PONT MULTI-HAUBANNÉ

Variante non approfondie :

- Plafond aérien
- Difficultés constructives (ancrage coté Pointe à la Bise)
- Ouvrage plus coûteux que le pont haubané



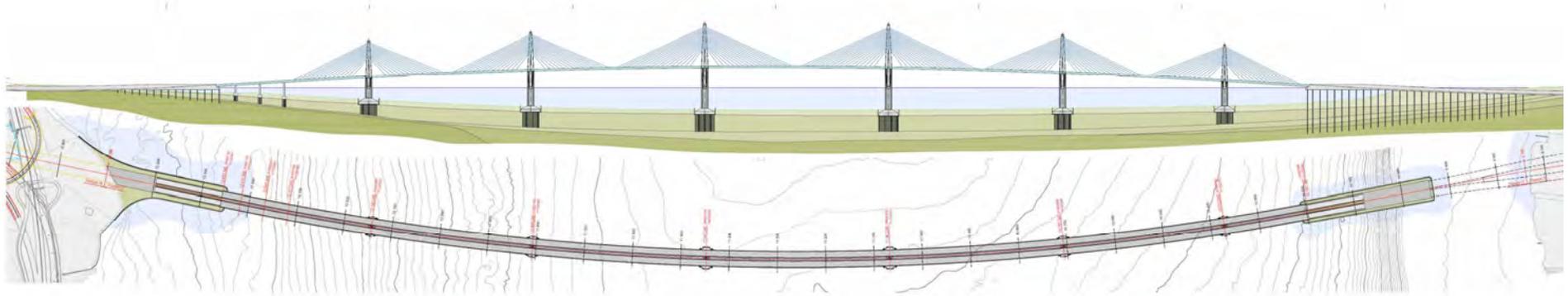
Variante approfondie dans les études de faisabilité

VARIANTE TUNNEL IMMERGÉ

- Processus de conception et de réalisation du tunnel immergé maîtrisés
- Incertitudes subsistant concernant la fondation des éléments du tunnel du fait du contexte géotechnique du fond du lac
- Avantages principaux :
 - ⇒ Limitation des besoins d'emprise
 - ⇒ Limitation des impacts en phase d'exploitation et en phase travaux
 - ⇒ Maîtrise des conditions de réalisation du génie-civil des éléments préfabriqués avec possibilité de choisir un site de préfabrication optimisé
- Enjeux :
 - ⇒ Gestion des matériaux (enjeux économiques et environnementaux)

VARIANTE PONT MULTI-HAUBANÉ

Pages 96 à 109 du rapport de synthèse



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

- Solution techniquement réalisable et financièrement maîtrisable
- Principale difficulté technique : massifs de fondation des pylônes (techniques de construction maritime), mais plusieurs exemples similaires déjà réalisés
- La technologie du pont à haubans présente un compromis avantageux entre nombre de fondations, hauteur des pylônes et longueur de travées
- Un tel ouvrage constituerait un nouvel élément architectural fort du lac et de la Région
- Nécessité d'une approche de type concours pour réaliser un tel ouvrage

SENSIBILITÉ ENVIRONNEMENTALE DES 2 VARIANTES

Pages 168-169 et 174 à 176
du rapport de synthèse

| | Variante Pont | Variante tunnel |
|--|--|--|
| Phase de construction | <ul style="list-style-type: none"> - Impact sur le milieu lacustre (turbidité) - Impacts de l'emprise chantier - Impacts sur la flore (herbiers) - Impacts sur la faune (dérangements) | <ul style="list-style-type: none"> - Déblais (vases lacustres) - Impacts de l'emprise chantier - Impacts sur la flore (herbiers) - Impacts sur la faune (dérangements) |
| Phase d'exploitation | <ul style="list-style-type: none"> - Impact paysager - Impact sur l'avifaune - Impacts sur la flore (herbiers) - Pollution lumineuse - Pollution des eaux | <ul style="list-style-type: none"> - Courants du lac - Gestion des eaux au sein de l'ouvrage - Gestion des accidents et incidents |
| Autres impacts en phase d'exploitation | <ul style="list-style-type: none"> - nouvelle île artificielle au large de la Pointe à la Bise - Impacts sur la faune et la flore | |

Impact fort

Impact faible / maîtrisable

Impact à relativiser

COÛTS

Pages 179 à 181 du rapport
de synthèse

| | Variante Pont | Variante tunnel |
|--|----------------------|----------------------|
| Estimation des coûts de construction Entre le Vengeron et Rouelbeau | 1.395 milliards F HT | 1.915 milliards F HT |

**DOCUMENT DE SYNTHÈSE
"TRAVERSÉE DU LAC" (2014)**

TRAVERSÉE DU LAC: PONT OU TUNNEL?

Deux solutions qui ont chacune des points forts et des points faibles.



TUNNEL



PONT

Entre Le Vengeron et La Pallanerie
1,9 milliard

COÛT DE CONSTRUCTION

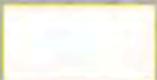


COÛT DE CONSTRUCTION

Entre Le Vengeron et La Pallanerie
1,4 milliard

3 à 4 millions par année

COÛT D'EXPLOITATION



COÛT D'EXPLOITATION

0,5 million par année

DÉVELOPPEMENT DE LA MOBILITÉ DOUCE



DÉVELOPPEMENT DE LA MOBILITÉ DOUCE

Le pont permet d'intégrer facilement une piste cyclable et une voie piétonne

L'isolation sonore est totale

ISOLATION SONORE

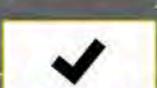


ISOLATION SONORE

L'isolation sonore est partielle

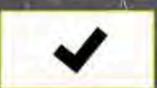
Contrairement au pont, le tunnel n'a aucun impact sur le paysage

PRÉSERVATION DU PAYSAGE



PRÉSERVATION DU PAYSAGE

ATTRAIT TOURISTIQUE



ATTRAIT TOURISTIQUE

Le pont peut avoir un impact positif sur le tourisme et l'image de Genève

Le tunnel ne constitue pas un obstacle au déplacement des oiseaux, contrairement au pont

PRÉSERVATION DE LA FAUNE



PRÉSERVATION DE LA FAUNE

ÉTUDE JURIDICO-ÉCONOMIQUE (2015)

FINANCEMENT DU BOUCLEMENT AUTOROUTIER : LES PRINCIPALES CONCLUSIONS

> FAISABILITÉ JURIDIQUE CONFIRMÉE

- Pour la mise en place d'un péage sur infrastructure
- Pour la mise en place d'un PPP pour financer une infrastructure de transport

⇒ Les ouvrages particuliers (pont et tunnels) sont bien adaptés à un financement en PPP et à la mise en place d'un péage (ouvrages que l'on peut délimiter) *(p. 54 du rapport)*

> POUR DEMANDER À L'ASSEMBLÉE FÉDÉRALE UNE DÉROGATION VISANT À METTRE EN PLACE UN PÉAGE

- Amener les études à un niveau d'AVANT-PROJET pour démontrer sa faisabilité

> POUR CONCLURE UN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ

- Amener les études à un niveau de PROJET pour cerner les risques et optimiser le coût global
- ⇒ "(...) Dans ce contexte, l'option d'un pont pour la réalisation de Traversée du lac permet de mieux contrôler et de baisser les coûts, que celle d'un tunnel."

> PARTENAIRES À ENVISAGER

- Partenaires publics
- Banque Européenne d'Investissement
- Caisses de pension

OPPORTUNITÉ ET FAISABILITÉ D'UNE TRAVERSÉE DU LAC EN MODES DOUX

FAISABILITÉ

> VARIANTE TUNNEL

- Cheminement modes doux (piétons / vélos) à exclure pour des raisons de sécurité

> VARIANTE PONT

- Cheminement modes doux (piétons / vélos) possible :
 - ⇒ Aménagement "à coté" : uni ou bi-directionnel, d'un coté ou de part et d'autre du tablier
 - ⇒ Aménagement "au-dessus" des voies de circulation
 - ⇒ Aménagement "en-dessous" du tablier



Figure 8 - Accroche possible de la variante d'aménagement "en-dessous" - vue en plan

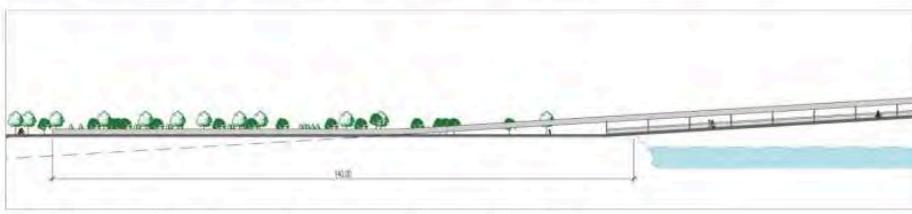


Figure 9 - Accroche possible de la variante d'aménagement "en-dessous" - profil en long

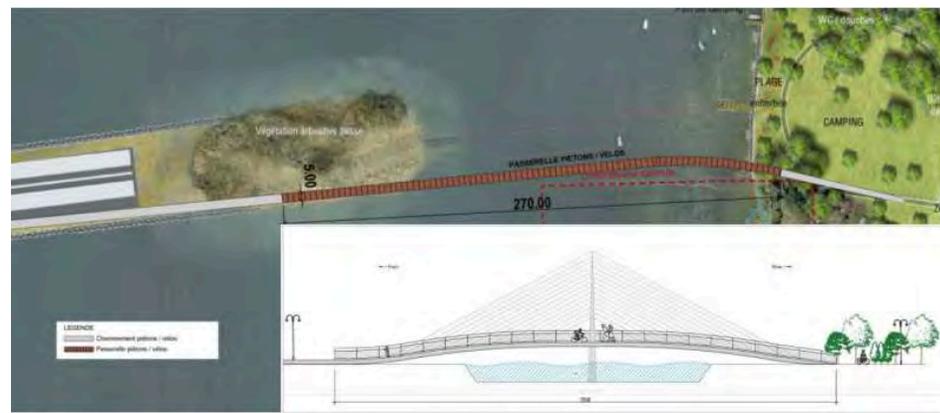


Figure 13 - Raccordement sur la rive gauche par une passerelle surélevée

EXEMPLES



Exemple : Pont de la Poya - Fribourg



Figure 4 - Exemple de cheminement MD au-dessus d'un pont (Brooklyn Bridge - New York)

OPPORTUNITÉ

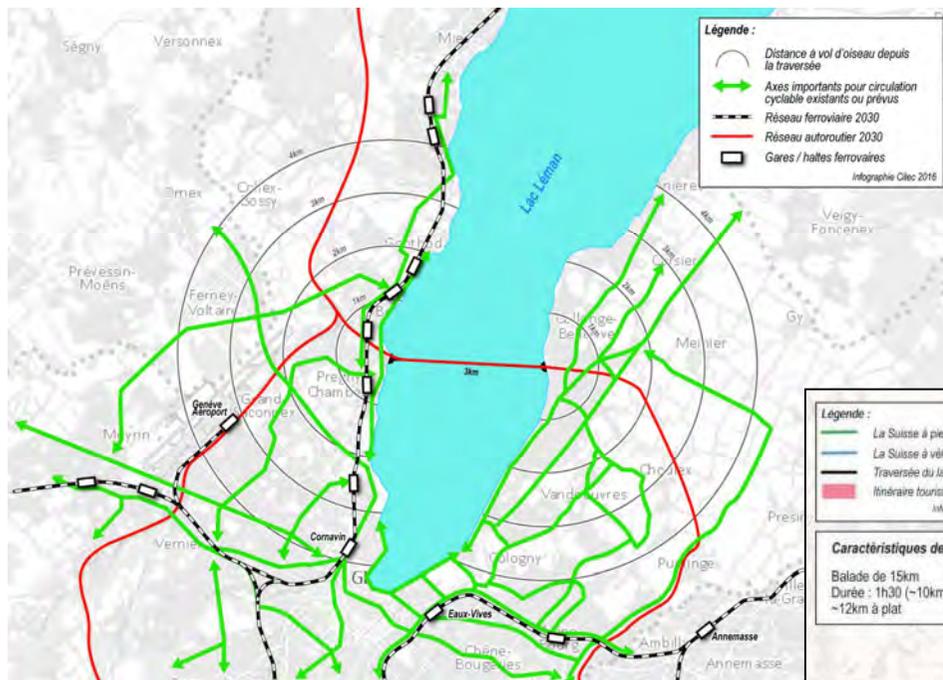


Figure 19 - Principales liaisons MD existantes ou prévues à l'horizon 2030

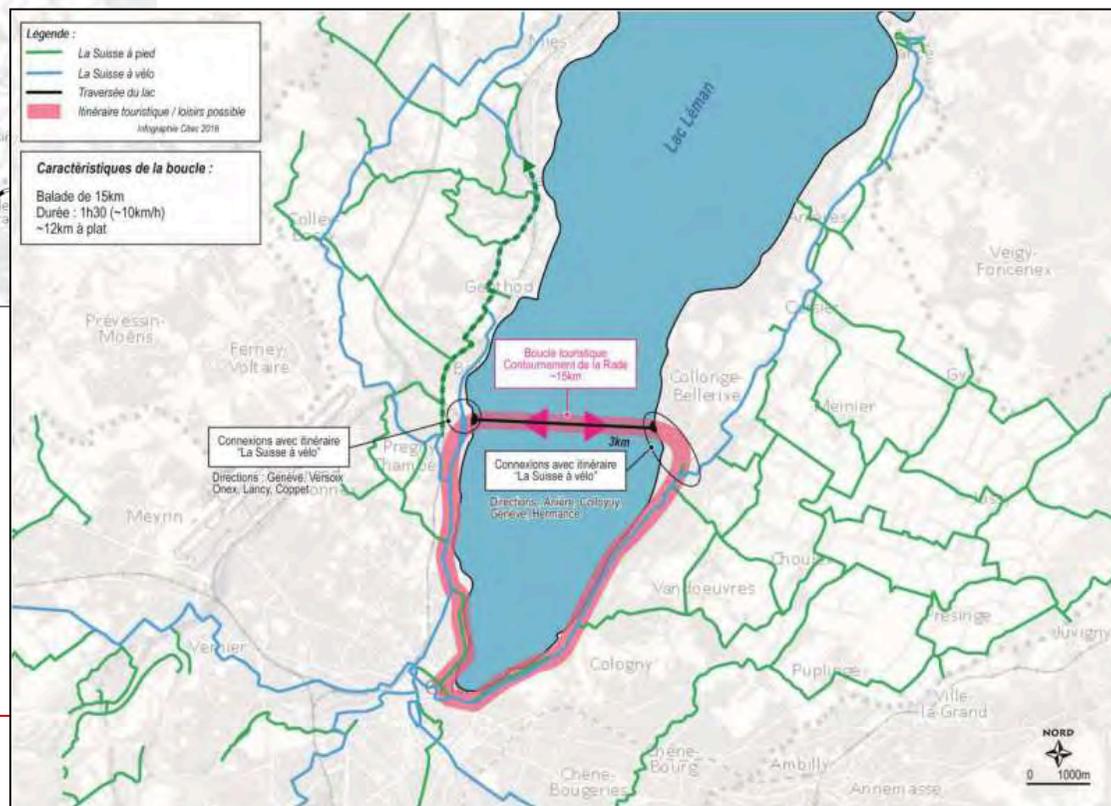


Figure 23 - Intégration de la boucle de la rade sur le réseau de loisirs existant.

TRAVERSÉE DU LAC ET BOUCLEMENT AUTOROUTIER

CONSEIL CONSULTATIF N°3

REQUALIFICATIONS DU CENTRE

18.01.2017

INTRODUCTION : DES REQUALIFICATIONS INTÉGRÉES AU PROJET

> ÉTUDE CANTONALE DE RELATIVE À LA TRAVERSÉE DU LAC (2011)

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

Rapport de synthèse, p. 162

> ÉTUDE PRÉLIMINAIRE OFROU SUR LA SUPPRESSION DES GOULETS (2013)

En conclusion :

- la nécessité d'intervenir sur l'autoroute de contournement de Genève est démontrée
- seize variantes ont été identifiées pour résoudre les problèmes identifiés; leurs effets ont été évalués de façon grossière
- la faisabilité des quatre variantes les plus opportunes a été démontrée ; l'évaluation de détail a permis de mettre en évidence les points positifs et négatifs de chaque variante
- il a été démontré que pour résoudre le goulet d'étranglement entre Le Vengeron et Perly **un élargissement de l'autoroute A1 est indispensable** ; un investissement supplémentaire dans une Traversée du Lac permet d'atteindre aussi autres objectifs (p. ex. le délestage du centre ville), mais comporte aussi certains effets négatifs supplémentaires (p. ex. sur l'environnement)
- l'adoption de mesures de gestion du trafic permet d'améliorer ponctuellement la situation sans grands investissements en infrastructure et dans un horizon de temps relativement proche ; il s'agit donc d'une option à approfondir comme solution intermédiaire

Rapport de synthèse, p. 87

> CONSTITUTION DE LA RÉPUBLIQUE ET CANTON DE GENÈVE (2016)

Art. 192A Traversée du Lac (nouveau)

¹ Pour lutter contre l'engorgement des voies de communication, renforcer la prospérité de la région et améliorer la qualité de vie, le canton réalise une Traversée du Lac permettant l'achèvement du contournement de Genève.

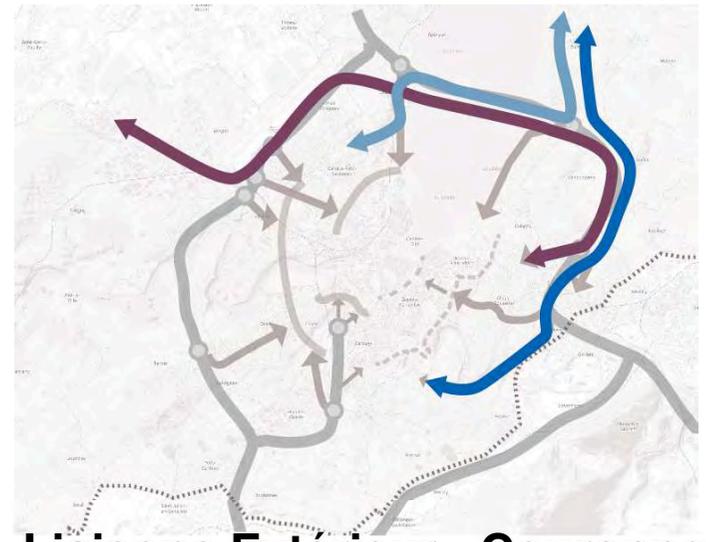
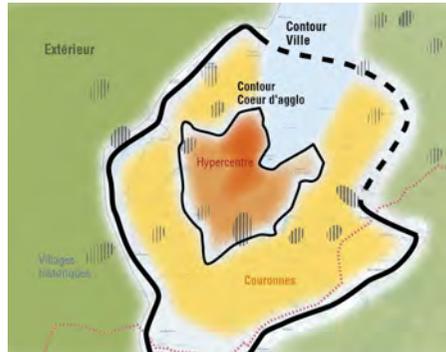
² Afin d'accélérer sa réalisation, un partenariat avec le secteur privé est envisagé parallèlement au mode de financement prévu par la Confédération.

³ L'État prend des mesures d'accompagnement. En particulier, il s'appuie sur la Traversée du Lac pour aménager les rives avec les communes concernées, réduire les nuisances dans les zones urbanisées, renforcer l'efficacité des transports publics, favoriser la mobilité douce et créer de nouveaux espaces publics.

INTRODUCTION : DIFFÉRENTS RÔLES DU BOUCLEMENT AUTOROUTIER



Liaisons Extérieur - Extérieur



Liaisons Extérieur - Couronne

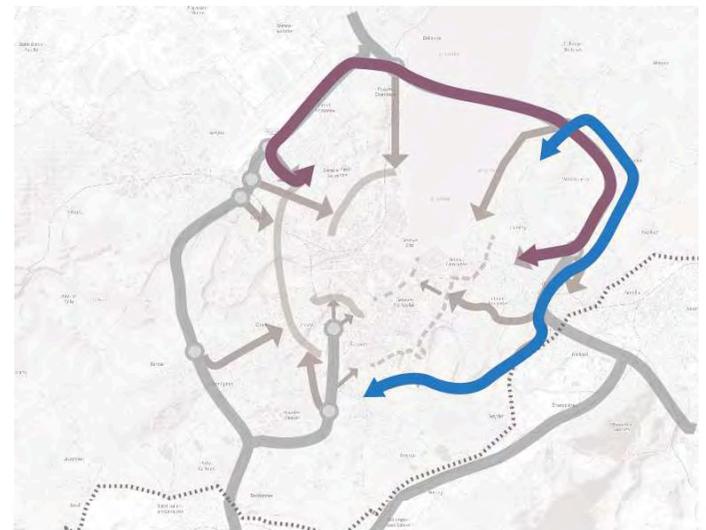


Liaisons Extérieur - Coeur

Légende :

Flux devant utiliser :

- le bouclement Nord
- le bouclement Est
- le bouclement Nord-Est



Liaisons Couronne - Couronne

LES REQUALIFICATIONS DANS L'ÉTUDE TRAVERSÉE DU LAC CANTONALE DE 2011

> CHAPITRES 18 ET 19 DU RAPPORT DE SYNTHÈSE (PAGES 135 À 162)

- Objectif : évaluer l'opportunité de développer des mesures de requalifications en parallèle de la réalisation du boucllement autoroutier

- Évaluation de "4 États" :
 - ⇒ **État 1** : Horizon 2030 sans traversée du lac (infrastructures et données socio-économiques selon le projet d'agglomération 1)
 - ⇒ **État 2** : Horizon 2030 avec traversée du lac seule
 - ⇒ **État 3** : Horizon 2030 avec traversée du lac et mesures de requalification
 - ⇒ **État 3+** : Horizon 2030 avec traversée du lac et mesures de requalification renforcées

LES REQUALIFICATIONS DANS L'ÉTUDE TRAVERSÉE DU LAC CANTONALE DE 2011

> PRINCIPALES CONCLUSIONS

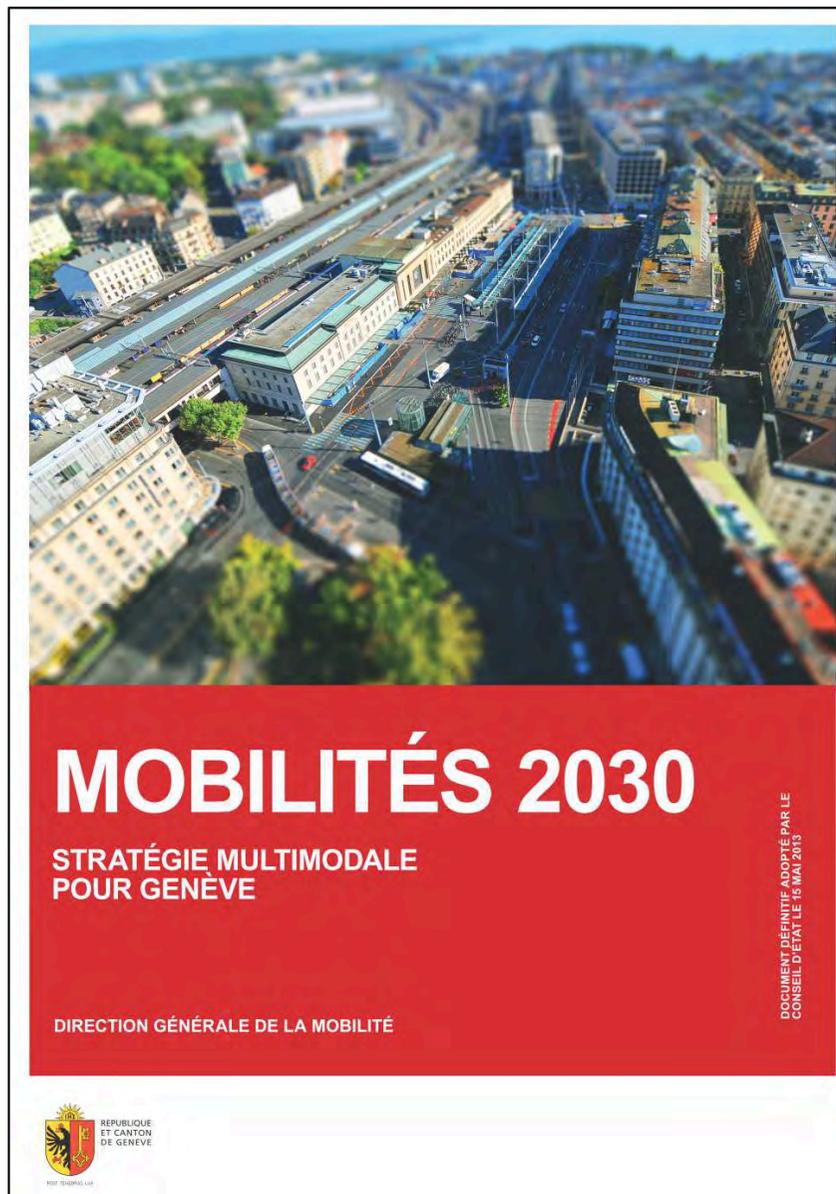
- Comparaison État 2/État 1
 - ⇒ La Traversée du lac à elle seule permet des diminutions de charge de trafic :
 - Sur l'autoroute de contournement actuelle (~20%)
 - Sur les quais et le pont du Mont-Blanc (~20%)
 - Sur les axes principaux du réseau urbain (entre 10 et 15%)

- Comparaison État 3/État 2 et État 3+/État 2
 - ⇒ Les mesures de requalification ont des effets encore plus importants sur les délestages de trafic
 - Sur l'autoroute de contournement actuelle (~15% supplémentaires)
 - Sur les quais et le pont du Mont-Blanc (~30% supplémentaires)
 - Sur les axes principaux du réseau urbain (~20% supplémentaires)

 - ⇒ Les mesures de requalification (renforcées) permettent d'atteindre des diminutions de trafic permettant des vraies mesures de priorisation des transports publics et des modes doux dans le centre. "Elles permettent une utilisation accrue du système autoroutier au service des déplacements urbains".

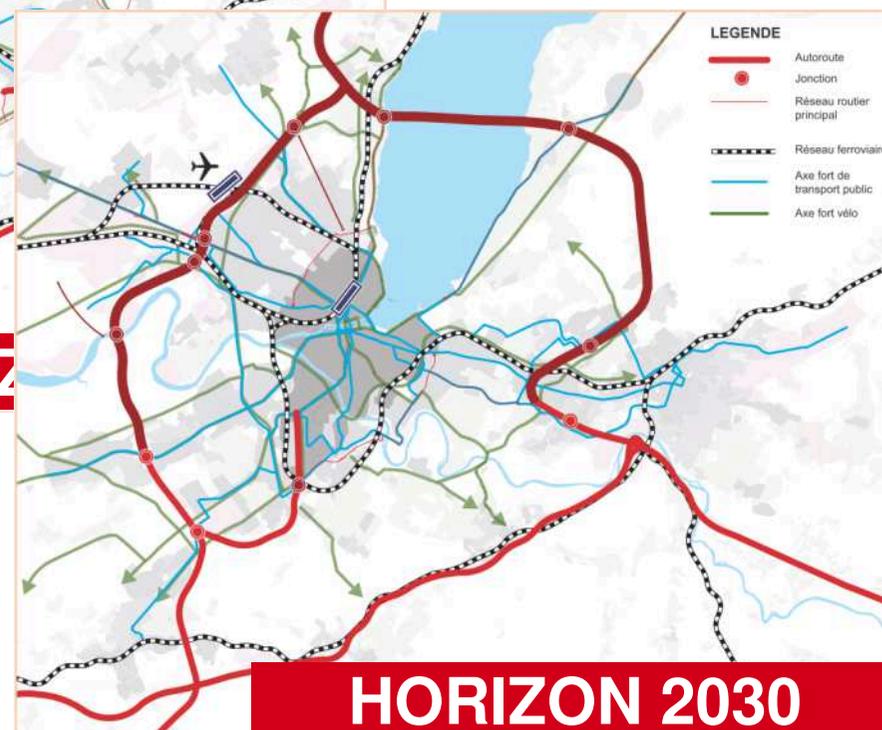
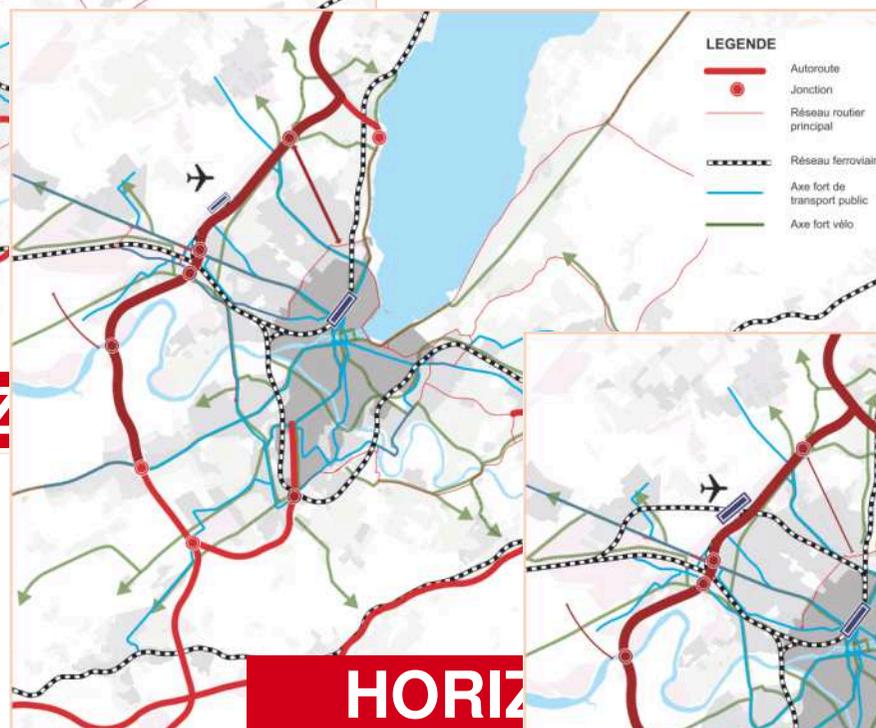
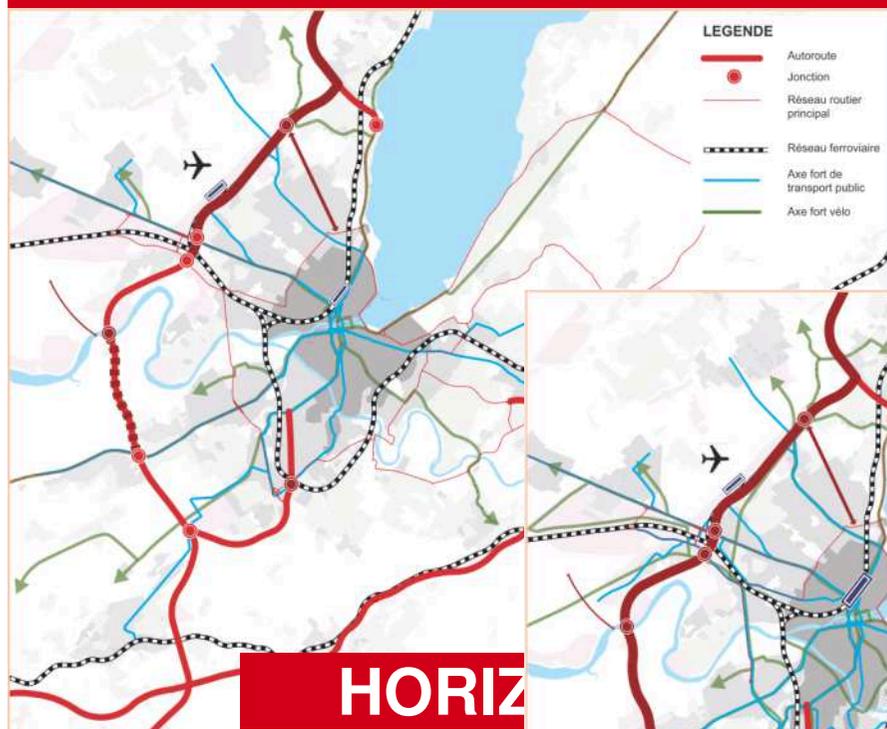
- Nécessité de développer une vision globale et multimodale basée sur la complémentarité des modes de transports

MOBILITÉS 2030 COMME FIL DIRECTEUR

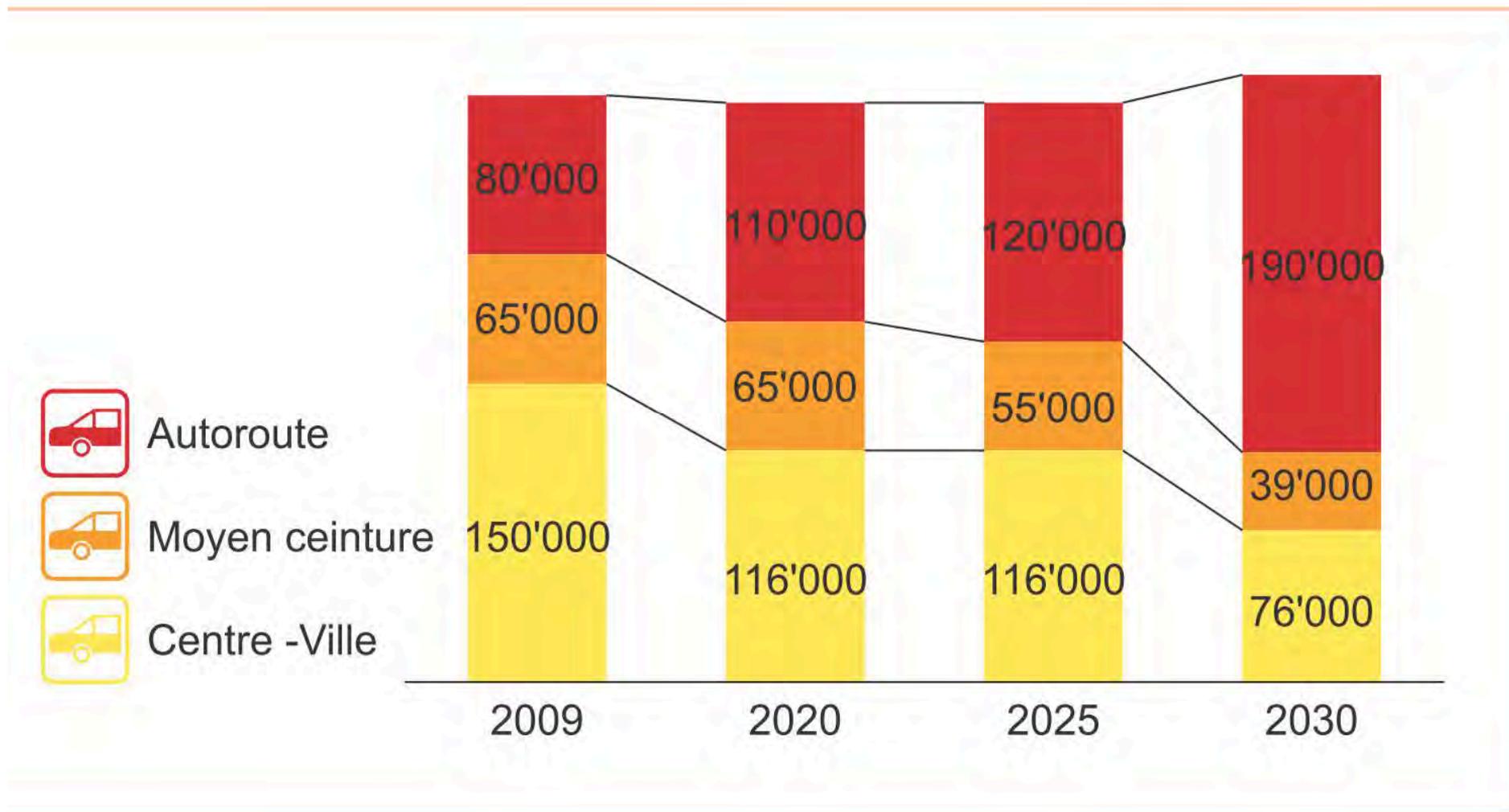


> **ADOPTÉ PAR LE CONSEIL
D'ÉTAT LE 15 MAI 2013**

MOBILITÉS 2030 COMME FIL DIRECTEUR



MOBILITÉS 2030 COMME FIL DIRECTEUR



Évolution 2009 – 2030 des capacités routières journalières sur les franchissements du Rhône (et du Lac) – *Source Mobilités 2030*

EXEMPLES DE REQUALIFICATIONS PERMISES PAR LE BOUCLEMENT AUTOROUTIER

TRAVERSÉE DU LAC : UNE MEILLEURE QUALITÉ DE VIE POUR GENÈVE



100'000

habitants du centre qui respirent mieux

L'importante diminution du trafic automobile dans le centre va permettre de drastiquement diminuer les émissions polluantes dues aux véhicules motorisés.

Près de 100'000 personnes, soit l'équivalent de la moitié de la population de la ville de Genève, pourront ainsi bénéficier directement de cette amélioration de la qualité de l'air.



Des temps de déplacement plus courts

Avec la grande traversée du Lac, un automobiliste gagnera:

13 minutes pour aller de Collonges-Bellerive aux Nations

15 minutes pour aller de Cologny à Palexpo

15 minutes pour aller de l'Aéroport à Chêne-Bourg

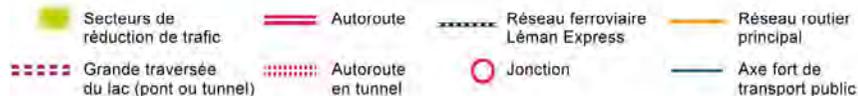
20 minutes pour aller de Versoix à Veyrier

Un tiers de trafic en moins dans l'hyper-centre

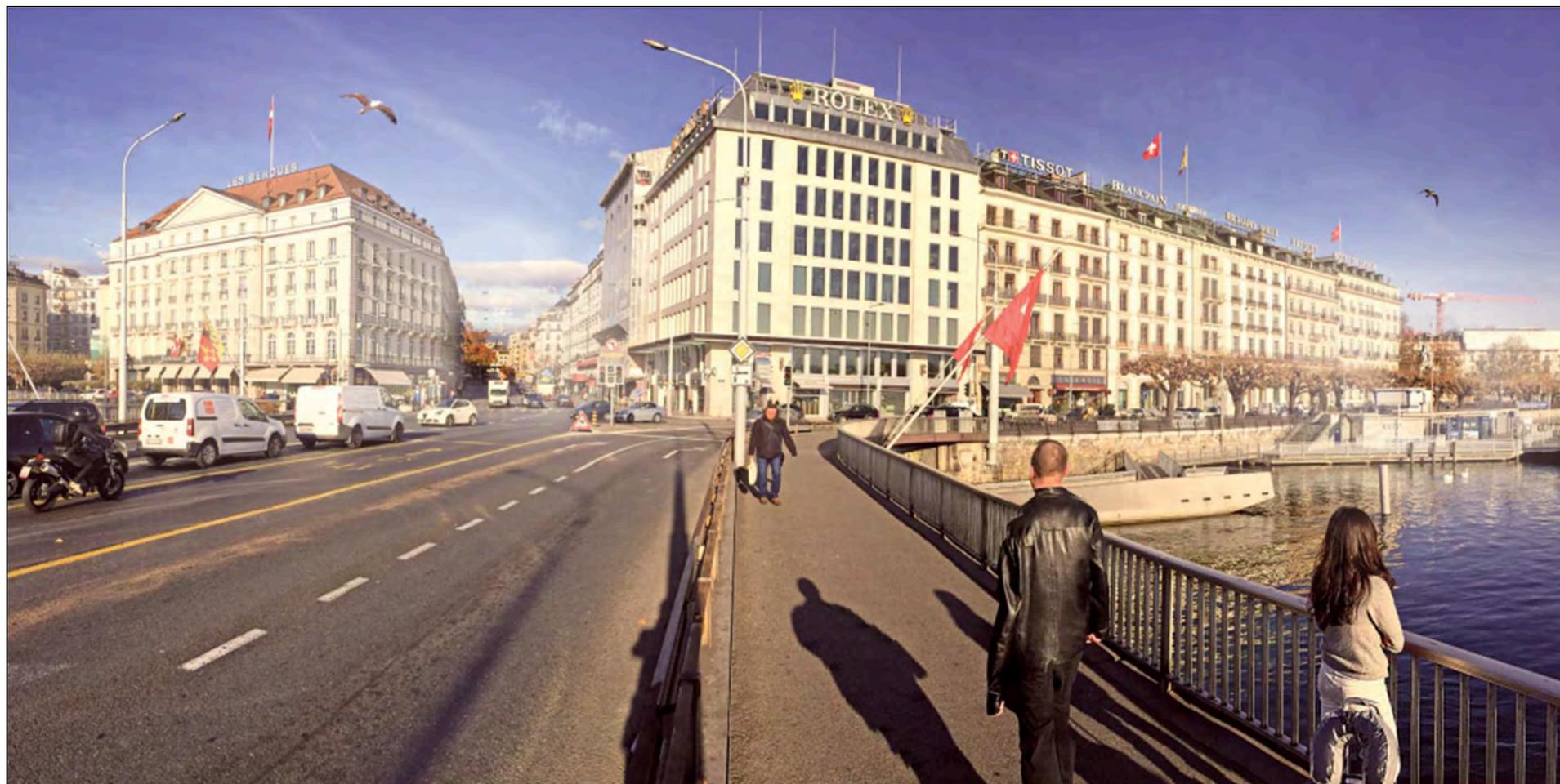
-30%
de trafic sur le pont
Sous-Terre

-50%
de trafic sur le pont
du Mont-Blanc

-13%
de trafic sur le pont
de la Coulouvrenière



PONT DU MONT-BLANC– AUJOURD'HUI



PONT DU MONT-BLANC – AVEC REQUALIFICATIONS



HORLOGE FLEURIE – AUJOURD'HUI



HORLOGE FLEURIE – AVEC REQUALIFICATIONS



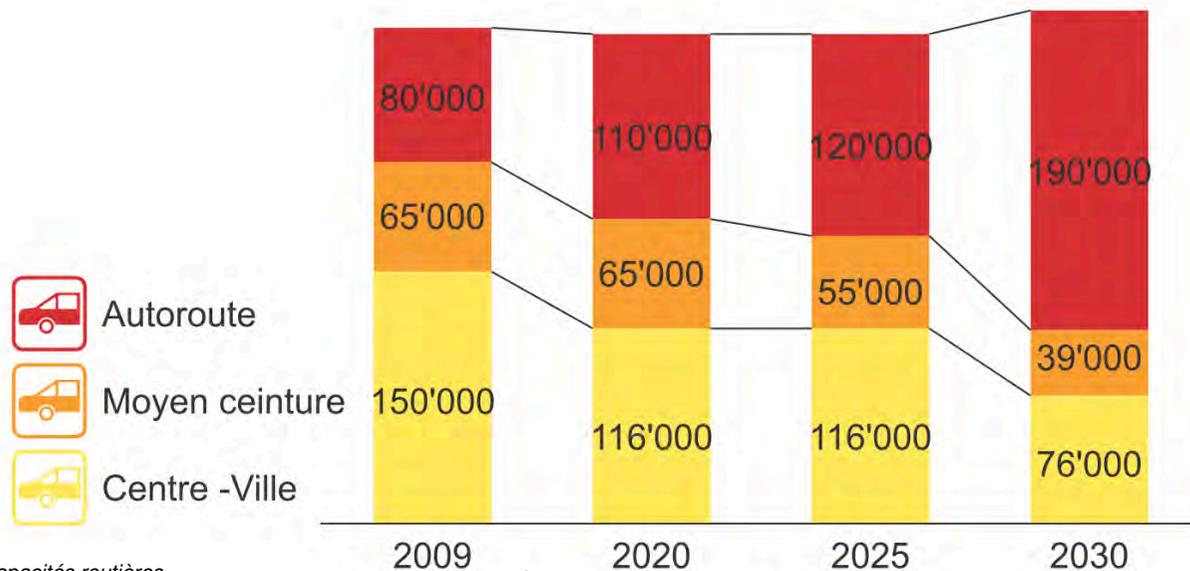
PLACE DE NEUVE – AUJOURD'HUI



PLACE DE NEUVE – AVEC REQUALIFICATIONS



CONCLUSION : VOTATIONS DE JUIN 2016 : CONFIRMATION DE LA STRATÉGIE



Évolution 2009 – 2030 des capacités routières journalières (en véh./jour) sur les franchissements du Rhône (et du Lac) – Source Mobilités 2030

"Loi pour une mobilité cohérente et équilibrée"

→ Mettre en application concrètement une amélioration de la mobilité dans la perspective de Léman Express et de l'élargissement de l'autoroute

IN 157 "OUI à la grande Traversée du Lac !"

→ Confirmer l'objectif long terme
→ Donner le cadre nécessaire et la perspective pour les futures requalifications du centre

Rendel Limited

**Projet No. 1207 (LL1207)
Traversée du lac Léman**

Etude de faisabilité d'un tunnel immergé

Préparé pour Le Touring Club Suisse

20 Février 2017

Rapport No. LL1207/R/01

Projet No. 1207 (LL1207)
Traversée du lac Léman
Etude de faisabilité d'un tunnel immergé

Rapport No. LL1207/R/01/Rev.3

| Statut de la révision | Auteur (Titre du poste) | Date | Vérfié par (Titre du poste) | Date d'émission |
|-----------------------|--|----------|-----------------------------------|-----------------|
| Rev 3 | G W Davies Immersed Tube Tunnel Expert | 14/02/17 | Colin Reed Assignment Director | 20/2/2017 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Colin Reed
Chef technique des services maritimes

D: +44 (0)20 7654 0535
E: c.reed@rendel-ltd.com

Rendel Limited
200 Great Dover Street
London SE1 4YB
United Kingdom
T: +44 20 7654 0500
F: + 44 20 7654 0401

www.rendel-ltd.com

Contenu

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Introduction..... | 1 |
| 2. | Méthodes de Construction de Tunnel Immergé..... | 2 |
| 2.1 | Contexte | 2 |
| 2.2 | Acier ou Béton Arme | 2 |
| 2.3 | Monolithique contre Segmentaire | 3 |
| 2.4 | Type de Dragueur | 4 |
| 2.5 | Fondation de lit de sable | 6 |
| 3. | La route de tunnel..... | 6 |
| 3.1 | Alignement horizontal | 6 |
| 3.2 | Alignement vertical..... | 7 |
| 3.3 | Géotechnique | 9 |
| 3.4 | Hydraulique | 10 |
| 3.5 | Normes de conception | 11 |
| 3.6 | Quantités de terrassements | 11 |
| 4. | Le tunnel immergé | 12 |
| 4.1 | Section transversale..... | 12 |
| 4.2 | Travaux de terrassement pour la variante A (Tunnel en tranchée) | 13 |
| 4.3 | Travaux de terrassement pour la variante B (Tunnel sur le remblai)..... | 15 |
| 5. | Le tunnel foré | 16 |
| 6. | Rampe d’approche et tranchée couverte (Bellevue) | 17 |
| 7. | Tranchée couverte (La Pointe à la Bise) | 18 |
| 8. | Darse de Préfabrication / Port de Plaisance..... | 19 |
| 9. | M&E systèmes et installations | 21 |
| 9.1 | Alimentation de courant..... | 21 |
| 9.2 | Système de contrôle environnemental | 21 |
| 9.3 | Système de contrôle du trafic..... | 22 |
| 10. | Coûts et délais | 23 |
| 11. | Conclusions..... | 25 |
| 12. | Recommandations | 26 |
| 1. | Étude d'ingénierie | 26 |
| 2. | Étude environnementale..... | 27 |
| 13. | Références..... | 27 |
| 14. | Remerciements | 27 |

1. Introduction

Pendant de nombreuses années la République et Canton de Genève ont prévu un nouveau lien du réseau autoroutier pour soulager la congestion du trafic dans le Centre-ville et à améliorer de manière significative les temps de trajet pour le trafic autour du lac de la région du sud-est au nord-ouest. Le nouveau lien forme une rocade est de Genève et passe à travers le lac entre Bellevue (sur la côte-nord) par le biais de Collonges sur la rive sud et continue vers le sud pour se connecter avec le point de contrôle de douane et de la frontière à Thonex.

Diverses voies alternatives ont été étudiées et les deux solutions de pont et tunnel ont été examinés et ces solutions ont été pris en compte dans le rapport de faisabilité de Canton de mars 2011 (Ref.1) Ce rapport résume les principales caractéristiques des différentes options. Depuis 2011 d'autres études ont été entreprises et un exercice de consultation publique (c'est-à-dire un référendum) a eu lieu. La position actuelle est que la méthode de traverser le lac (c'est-à-dire pont ou tunnel) n'a pas encore été décidée mais l'emplacement de traversée et son alignement horizontal général a été choisi. L'itinéraire sélectionné traverse le lac à environ 6km du Centre-ville (Figure 1).



Figure 1: Plan de route

Il y a trois principales options techniques pour la section de traversée du lac :

- a) Un pont à multi-haubans relié à deux tunnels forés sous le côté sud du lac entre Bellerive (Pointe-à-la-Bise) et Collonges.
- b) Un tunnel long, foré construit grâce à l'assise rocheuse au-dessous du fond du lac.
- c) Un projet de tunnel immergé construit sous le lac et relié à deux tunnels forés sous le côté sud du lac entre Bellerive (Pointe-à-la-Bise) et Collonges.

Ces dernières études ont indiqué que les options ont) et c) ont un cout équivalant de construction mais l'option b) s'est avéré être prohibitif et a été écarté. Des études supplémentaires ont été donc prévue pour les options a) et c).

Ce rapport porte uniquement sur l'option c). Il prend la forme d'une brève étude d'avant-projet qui a été établie sur une période de six semaines par Rendel Ltd (une société d'ingénierie du Royaume Uni – <http://www.rendel-ltd>) en association avec Geos Suisses (basé à Genève - <http://www.geos-ic.com>). Rendel sont spécialistes dans la conception des tunnels immergés, les tunnels forés et les ponts de longues portées. Rendel et Geos font partie du Groupe Ingerop (<http://www.ingerop.com>) en tant que filiale.

Ce rapport est concentré sur les aspects techniques du tunnel immergé. L'intention est d'identifier des économies potentielles et pour permettre d'identifier les avantages et désavantages de cette méthode de construction pour pouvoir comparer avec une base équivalente à la solution de pont haubanes. Deux alignements verticaux ont été considérés pour le tunnel immergé dans la zone sous le lac. Le rapport ensuite résume diverses recommandations.

Le chapitre 2 du présent rapport résume la méthode de construction des tunnels immergés et suppose une connaissance de base de la technique tunnel immergé. Les lecteurs peu familiers avec cette méthode de construction pourront se référer à l'annexe A, où une brève description de cette méthode est donnée. Le chapitre 3 décrit l'alignement de la route et résume les principales caractéristiques techniques. On trouvera un résumé des informations de bases disponibles dans les domaines géotechnique et hydrauliques. Le chapitre 4 et les suivants résumes une revue technique pour chaque section géographique du tunnel.

Veuillez noter que les informations fournies dans le présent rapport - en particulier en ce qui concerne les coûts estimatifs - repose uniquement sur le niveau d'information disponibles à présents et les études d'avant-projet ci-joints. En temps voulu, des études et des enquêtes plus détaillées devront développer pleinement l'option sélectionnée de tunnel immergé afin de la confirmer.

Ce rapport a été commissionné par le Touring Club Suisse de Genève. Le contenu est confidentiel à cette organisation et doit seulement être libéré à des parties tierces avec leur permission.

2. Méthodes de construction de tunnel immergé

2.1 Contexte

Les tunnels immergés sont devenus de plus en plus populaires ces dernières années avec plus de 200 tunnels maintenant en usage avec succès dans le monde entier. Les emplacements de tunnels immergés varient entre le franchissement de petites voies navigable et des grandes traverses maritimes. Ces tunnels immergés ont été construits pour incorporer les routes, des chemins de fer, des tramways/métros, des tronçons de lignes à haute tension et mêmes pour des aménagements et refoulement d'eau de station nucléaire et centrale thermique. La méthode est particulièrement intéressante par rapport à des tunnels forés parce qu'elle peut être construite juste en dessous du lit de la rivière ou de la mer, ce qui permet de réduire considérablement la longueur des rampes d'accès (et la pente) de qui seraient autrement nécessaires. Dans de nombreuses situations, les portails pour les tunnels immergés sont situés juste à côté du rivage, réduisant ainsi au minimum la longueur du tunnel.

Les tunnels immergés peuvent également être construits dans des conditions de sol relativement pauvre car la pression imposée par le poids du tunnel est presque identique à celle imposée par le poids de la terre qu'il remplace. Cela signifie que les efforts soumis aux fondations est relativement faible. Les critères techniques pour les fondations sont plus souvent basés sur le comportement des tassements (à court et long terme) que sur les capacités portantes du sol.

2.2 Acier ou béton armé

Les tunnels immergés peuvent être construits en utilisant une gamme de différentes méthodes. Par exemple, un des types les plus populaires utilisés aux USA est circulaire ou binoculaires façonnés en acier qui utilise des réservoirs en acier préfabriqués dans un chantier naval et qui sont lancés dans l'eau via une rampe inclinée. Ils ont l'avantage de ne pas nécessiter une darse de préfabrication profonde, en Europe cette solution s'avère être plus coûteuse que les solutions de béton armé. En outre, la profondeur supplémentaire requise pour le profil circulaire entraîne à un désavantage économique. Pour ce projet la méthode de la coque en acier ne serait pas utilisée et la solution en béton armé rectangulaire remplacement serait préférée. Une section transversale type de la solution rectangulaire en béton armé est illustrée à la Figure 2.

Des exemples récents de tunnels immergés de section rectangulaires en béton armé sont le Tunnel de Limerick (Irlande), le Tyne Tunnel (UK) et le port d'Oslo (Norvège). Le plus long tunnel immergé en Europe est celui de l'Øresund (Danemark) qui a plus de 4,5km bien que cette longueur soit bientôt dépassée par le Tunnel de Fehrmen prévu entre l'Allemagne et le Danemark qui sera 18km de longueur. Les tunnels immergés sont conçus pour une profondeur de 25m (mesure du niveau de la rivière/mer jusqu'à la base du tunnel immergé). A des profondeurs plus grandes il intervient des problèmes particuliers et les tunnels immergés deviennent de plus en plus coûteuses. Des profondeurs dépassant les 25m sont possible et le record à ce jour est le Tunnel ferroviaire de Bosphore à Istanbul qui est a plus de 60m.

2.3 Monolithique contre segmentaire

Dans les premières années d'utilisation de la méthode de tunnel immergé, lorsque la méthode a été mise au point, tous les tunnels immergés ont été monolithiques - chaque unité de tunnel immergé (appelée un élément) était une structure continue rigide avec les armatures longitudinales traversant continuellement les joints béton intermédiaires de construction. La méthode nécessitait généralement l'utilisation d'une membrane imperméable externe prenant généralement la forme de plaques d'acier soudées. Récemment, les développements successifs ont utilisé les plaques pour la zone inférieure de l'élément, avec une membrane imperméable utilisée les murs extérieurs et la dalle supérieure. C'est encore la méthode plus souvent utilisée pour les tunnels immergés construits dans les zones sujettes aux tremblements de terre. La méthode monolithique a tendance à être favorisée dans ces circonstances, principalement parce qu'il y a seulement un nombre relativement restreint de joints sur toute la longueur du tunnel, ces joints doivent être attachés pour conserver la stabilité longitudinale lors de chocs sismique importants.

En Europe pendant les années 80, il a été constaté que cette méthode était susceptible de fuites à travers la membrane, et aussi à travers les joints intermédiaires. C'est pourquoi une autre méthode connue comme la méthode « segmentaire » a été développée et c'est maintenant la méthode la plus populaire utilisée pour les tunnels européens.

La méthode segmentaire utilise un système d'articulation qui est fondamentalement différente de la méthode monolithique. Chaque élément est construit en « segments » qui ont généralement environ 20m de longueur. Chaque segment est coulé avec une clé de cisaillement (une pointe) qui s'encastre (un trou) dans l'élément adjacent. Une fois qu'une ligne de segments est coulée, ils sont soumis à une précontrainte avec des torons longitudinaux qui passent à travers des conduites coulées dans la dalle de la supérieure et inférieure. Les torons de précontrainte permettent aux segments d'être compressés ensemble pour qu'ils agissent comme un élément monolithique pendant le remorquage sur, le coulage et l'opération de mise en place. Lorsque les éléments ont été placés sur le lit de la rivière, et que les éléments sont unis l'un contre l'autre et sont assis sur le lit de sable, les torons de précontraintes sont coupés libérant ainsi les segments et les permettant de s'articuler séparément.

Les joints entre les segments sont conçus pour permettre de faibles mouvements longitudinaux et de rotation, mais un mouvement latéral ou vertical est empêché par les clés de cisaillement. Les joints d'articulations principales (les joints d'immersion) entre chaque élément ont également des clés de cisaillement qui sont coulés en place après le naufrage. Lorsque le tunnel a été achevé un petit effort de compression longitudinale est maintenue afin d'assurer que les joints principaux « Gina » restent en compression. Cette méthode d'articulation a été comparée à « collier de perles ». Étant donné que chaque segment est articulé séparément et de ce fait est plus tolérant aux effets de tassement que l'alternative monolithique.

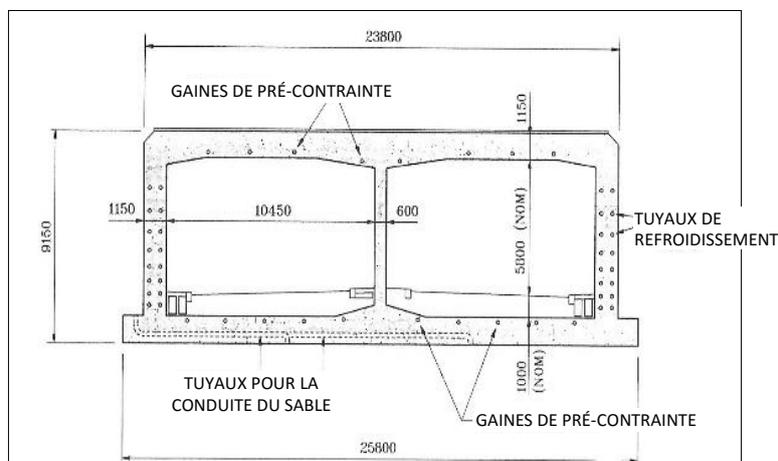


Figure 2 : Section typique montrant les tuyaux de refroidissement et des conduites d'injection pour le sable

Un autre avantage de la méthode segmentaire est que des segments relativement courts peuvent être coulés en utilisant des méthodes spéciales pour surveiller et contrôler le taux de durcissement thermique du béton. Cela se fait avec des thermocouples pour mesurer la température du béton pendant le durcissement. Des tuyaux sont coulés dans la base des murs (où le risque de fissures de retrait thermique est plus grand) et ils portent de l'eau réfrigérée permettant de régler la vitesse de durcissement du béton. La méthode garantit que les efforts induits par le béton hydratant n'est jamais plus qu'environ 70 % de l'augmentation de la résistance de béton. De cette façon, toute fissuration due au retrait est empêchée et le béton dense de très haute qualité est produite sans avoir besoin d'utiliser une membrane extérieure d'étanchéité.

Dans certains tunnels immergés récents, la méthode segmentaire a même été utilisée dans des zones sismiques, bien que des mesures spéciales telles qu'une liaison par toron de précontrainte ou de barre entre les articulations les plus critiques ont dû être ajoutées ainsi que le renforcement des fondations pour empêcher la liquéfaction des fondations. Le Service Sismologique Suisse de l'ETH Zurich juge que l'aléa sismique dans la région de Genève est « modérée à moyenne » (plutôt que « faible »). Des études devront donc déterminer les critères sismiques pour cette solution. Les effets potentiels d'un tsunami dans le lac devront également être pris en considération étant donné qu'il se peut qu'un tel événement s'est produit dans le passé. Dans l'ensemble, il est probable que la méthode segmentaire (avec des dispositions particulières) sera privilégiée.

Pour les deux méthodes, chaque élément peut être jusqu'à environ 150 m de long ; le choix final de la longueur des éléments dépendra fortement des courants dans le lac lorsque pendant la phase de coulage quand les éléments sont placés au sol. Chaque élément est coulé et posé sur des blocs en béton placés dans la tranchée de fondation. Le poids de l'élément est pris en charge sur des vérins à chaque extrémité de l'élément qui passent au travers de la dalle inférieure et reposent sur les blocs. L'espace sous l'élément est habituellement injecté avec du sable et les vérins sont relâchés. De cette façon, la couche de sable injectée est immédiatement compressée d'environ 10 % de son épaisseur (l'épaisseur est généralement de 600 à 800 mm). Cette méthode fournit un appui au sol uniforme sur toute la longueur et la largeur de l'élément et il est important c'est le cas avant que le remblayage commence.

Une description plus détaillée de la séquence de construction est donnée à l'annexe A avec des graphiques illustrant les étapes.

2.4 Type de dragueur

Il existe trois types principaux de dragueur couramment utilisés pour les travaux de terrassement et le plus approprié pour un projet particulier dépend de plusieurs facteurs dont le type et la profondeur de la matière à enlever, le mode de transport et l'emplacement final pour les matériaux d'excavation. Pour ce cas, il y a un autre facteur qui est que le lac Léman n'est pas facilement accessible par les gros vaisseaux flottants et il est probable que le matériel de dragage nécessaire devra être démantelé, acheminé par rail ou route vers le site et ensuite réassemblé sur le lac. Des entretiens avec les entreprises de dragage seront nécessaires.

Les trois types principaux de dragueurs sont : -

a) Dragues mécaniques. Ce type consiste d'une benne (ou dragues à benne), dragues pelle à benne traînante ou dragues bras mécanique suspendus à un chaland plat ou autre plateforme. Les types à clapet conviennent aux excavations profondes dans les sables, argiles et certains types de limon, mais ne peuvent pas s'attaquer à la roche ou sol dur. Ils conviennent aux excavations profondes (jusqu'à environ 100 mètres) et peuvent être utilisés pour les fouilles à proximité des obstacles fixes (par exemple, les sections de tranchées couvertes). Les types de bras mécanique plus puissants (par exemple pelles rétrocaveuses, des plongeurs et des échelles) peuvent s'attaquer à des sols plus durs, mais ne peuvent atteindre un maximum d'environ 30 mètres de profondeur, et étant donné que les matériaux d'excavation sont levés par le biais de la colonne d'eau



Figure 3 : Dragueur rétrocaveuse type

Il y a un risque plus élevé de matière perdue qu'avec des dragues. Les dragues mécaniques ont tendance à être relativement plus lente comparée avec des suceuses dragues.

b) Dragues hydraulique (suceuses). Ce type de drague consiste à suspendre un grand pipeline sous la coque de la drague et est utilisé pour la rupture du sol et pour remonter le matériel de pompage sous forme de boue à la surface. Une fois-là, la boue peut être transporté par une trémie ou barge ou pompée à travers un tuyau flottant. Les principaux types de drague sont automotrices avec un pipeline suceuses (tel qu'illustré) ou drague suceuse à désagrégateur. Avec le premier type, un fin tuyau est glissé sur la surface du sol. La partie inférieure du tuyau peut être équipée d'une gamme de différents types d'équipement de coupe (tels que les jets d'eau etc.) en fonction de la dureté du sol. Les plus grandes dragues peuvent avoir des pipelines pour atteindre plus de 100 mètres sous la surface. Les dragues suceuses à désagrégateur, en revanche, sont des machines puissantes à grosse tête de coupe rotative à la fin du pipeline. Le pipeline fait face vers l'avant et suspendu à une grue lourde qui est utilisée pour faire baisser la tête de coupe à l'eau. Des gicleurs sont utilisées pour obtenir de la poussée sur le lit de la rivière. En raison du poids de la tête de la coupe, les types plus grandes ne peuvent atteindre une profondeur maximale d'environ 35 mètres.



Figure 4 : Drague suceuse type (tuyaux jumelés)



Figure 5 : Drague hydrodynamique avec barre d'injection

c) Suceuses hydrodynamiques. Ce type couvre un éventail de différents dragueurs, qui ont les caractéristiques clés qu'ils sont utilisés dans les matériaux mous qui sont mis en suspension avec des jets d'eau sur une barre ou avec des charrues mécaniques ou râpeaux. L'intention est de permettre les courants naturels dans la voie navigable pour les transporter jusqu'à un point où ils peuvent soit être éliminées ou utilisées dans un but fonctionnel. Ces suceuses peuvent fonctionner à des profondeurs considérables et est relativement petits vaisseaux par rapport à d'autres types de drague.

Pour ce projet, trois différentes opérations sous-marines sont nécessaires :

a) L'enlèvement des matériaux d'argile alluviale

et limoneuse molle formant le lit du lac et se trouvant à une profondeur supérieure à 60 mètres sous le niveau de l'eau.

b) Dragage d'entretien (c'est-à-dire l'enlèvement des sédiments) déposé sur la Fondation préparée avant que le tunnel soit placé.

c) Le placement des matériaux sous l'eau en remblais et de remblayage de tunnel.

Les types d'équipement de dragage requis dépendra de l'alignement vertical du tunnel (et donc la profondeur de l'eau) et aussi sur les emplacements choisis pour l'élimination des déblais des terre. Ces questions sont abordées plus loin dans ce rapport.

2.5 Fondation de lit de sable

La méthode la plus courante pour la formation de la fondation du tunnel est de soutenir le tunnel sur vérins et d'injecter du sable dans l'espace entre la dalle inférieure et la fondation avant de relâcher les vérins. Le but est d'assurer que le tunnel est pris en charge uniformément sur toute la surface de la dalle de sa base. Pendant de nombreuses années, la méthode d'y parvenir était d'utiliser du matériel d'injection externe comprenant un châssis sur roues sur le dessus de la dalle supérieure. Un système de tuyau de trémie passe à l'extérieur des murs et ensuite sous les éléments de tunnel pour l'injection du sable et de l'eau. Le sable émanant de l'extrémité du tuyau de trémie se propage sous l'élément rempli complètement l'espace de la fondation. Plus récemment, une méthode d'injection de sable interne plus efficace a été développée et est maintenant utilisée pour presque tous les tunnels segmentaires. Cette méthode utilise une série de tuyaux d'injection jetés dans la dalle inférieure des éléments (voir la précédente Figure 2). La dalle inférieure est coulée avec des petits « talons », qui s'étendent au-delà des murs extérieurs et les tuyaux se terminent par des points de connexion sous-marine sur la surface des talons. Une barge est amarrée à côté et est utilisée avec des tuyaux flexibles qui est relié directement aux tuyaux internes et le mélange de sable et de l'eau passe par gravité à travers ces tuyaux et à travers la dalle inférieure pour remplir l'espace en dessous.

La méthode de sable injectée est la méthode la plus populaire pour former les fondations du tunnel et est presque exclusivement utilisé dans les zones où il y a une quantité de limon appréciable en suspension qui ensuite est déposée dans le fond de la tranchée draguées. Tous les limons sont problématiques dans le fait qu'ils engendrent des tassements différentiels. Si la vase ou le limon est déposé, il est normalement enlevé avant que l'élément soit posé en place. Dans des cas extrême la vase/limon peut se déposer durant la courte période après que l'élément a été placé et avant que le sable soit injecté. Dans cette éventualité, l'eau propre doit être rincée à travers le système d'injection de sable pour laver la vase/limon.

En l'occurrence deux alignements verticaux sont considérés pour le tunnel immergé et sont décrit dans le Chapitre 3. Pour l'alignement inférieur (où le tunnel est placé dans une tranchée), l'envasement est susceptible d'être un problème car les quantités de matériaux déposés dans les tranchées seront plus importantes. Pour l'alignement supérieur (où le tunnel est placé sur un remblai), l'envasement est susceptible d'être moins problématique malgré cela du dragage d'entretien sera peut-être nécessaire. L'études de ces deux options seront nécessaires.

3. La route de tunnel

3.1 Alignement horizontal

Le nouveau lien autoroutier proposé forme une rocade à l'est de Genève et traverse le lac à 6km du centre-ville. La longueur de la liaison est environ de 13km. Ce rapport ne porte que sur la longueur du tunnel entre Bellevue et Collonges. La longueur fermée du tunnel (c'est-à-dire la distance entre portails) est d'environ 5,5 km et peut être divisée en sections.

| Emplacement | Section | Longueur approximative (m) |
|------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Bellevue | Rampe d'approche | 400 |
| | Tranchée couverte | 640 |
| Lac | Tunnel immergé | 3,000 |
| Bellerive (Pointe à la Bise) | Tranchée couverte | 300 |
| Bellerive -Collonges | Tunnel foré | 1520 |

Table 1 : Longueurs de Tunnel Routier

L'alignement horizontal du tunnel immergé dans le lac est droit, à l'exception d'une courte tranchée couverte section sur le côté de Bellevue et une courte longueur de courbure dans le tunnel foré sur le côté de Bellerive. Il est à noter que les courbes d'alignements horizontaux ne présentent aucune difficulté technique pour la construction de tunnels immergés et des courbes horizontales (et verticales) peuvent être introduites à un coût supplémentaire marginal. En effet plusieurs tunnels ont été construits avec une courbe relativement sévère et même avec contre-courbes s'il en résulte des économies de coûts. Ces aspects détaillés de l'alignement peuvent mieux être revues lors de la conception détaillée, au cas où les économies peuvent être réalisées.

Il est également intéressant de noter que des économies sont possibles si le tunnel immergé est rallongé aussi longtemps que possible et en réduisant les longueurs des sections de tranchée couverte. C'est parce que les sections de tranchée couverte sont généralement coûteuses et difficiles à construire en raison de la nécessité d'assécher les fondations profondes. Sur une base par mètre, le coût des excavations et la construction de tranchée couverte dépasse normalement le coût du tunnel immergé. La principale contrainte dans l'extension de la longueur du tunnel immergé est normalement que la partie supérieure de la fin du tunnel immergé doit rester sous le niveau de l'eau dans le lac afin d'éviter des efforts excessifs dans les fondations.

Une autre considération est qu'à la Pointe de la Bise, le tunnel foré est construit avec deux profils circulaires avec chaque tunnel séparé du tunnel adjacent d'au moins la moitié d'un diamètre de tunnel. Les chaussées doivent donc être élargie. Cet élargissement peut être effectué soit dans une section conique de tranchée couverte ou, si la partie convergente est trop longue, en construisant l'élément final du tunnel immergé avec une section conique. Ceci est possible grâce à la technologie de tunnel immergé, quoiqu'au surcoût, par rapport à conserver une largeur constante à travers toute la longueur du tunnel immergé.

3.2 Alignement vertical

L'alignement vertical de la section de tunnel immergé dans le rapport 2011 du Canton de Genève, suppose que le tunnel immergé sera placé dans une tranchée draguée dans le lit du lac et remblayé. La profondeur du tunnel (du niveau de la surface du lac au niveau de la fondation) varie d'environ 20m à 50m (Figure 6 : variante A). Bien que la construction à ces profondeurs ne soit pas sans précédent, il représente néanmoins un formidable défi de génie civil qui se reflétera dans le surcoût par rapport à un tunnel moins profond à une profondeur plus constante. Pratiquement tous les aspects de la construction sera plus difficile à ces grandes profondeurs.

Par exemple, les dimensions de la boîte structurale nécessaires pour résister à 50m de profondeur d'eau est beaucoup plus grands que ceux pour la profondeur de 20m et étant donné que les éléments doivent être conçus pour flotter - afin de permettre à la méthode de construction à utiliser - les éléments plus lourds devront avoir des dimensions internes plus grandes pour fournir la flottabilité nécessaire. Cela demandera deux ou trois dimensions structurales de la boîte. Les autres différences significatives portent sur la conception des joints. Dans le cas des éléments les plus profonds, des doubles joints d'étanchéité peuvent être nécessaire sur les joints d'immersion et les joints de segment pour résister à la pression accrue de l'eau. Pendant la construction, les difficultés pratiques tels que les courtes périodes où les plongeurs peuvent fonctionner à ces profondeurs devront être réglés et souvent des submersibles peuvent être nécessaires. En outre une méthode acceptable de supporter les tours d'accès temporaire (55m) au-dessus de l'élément devra être trouvée.

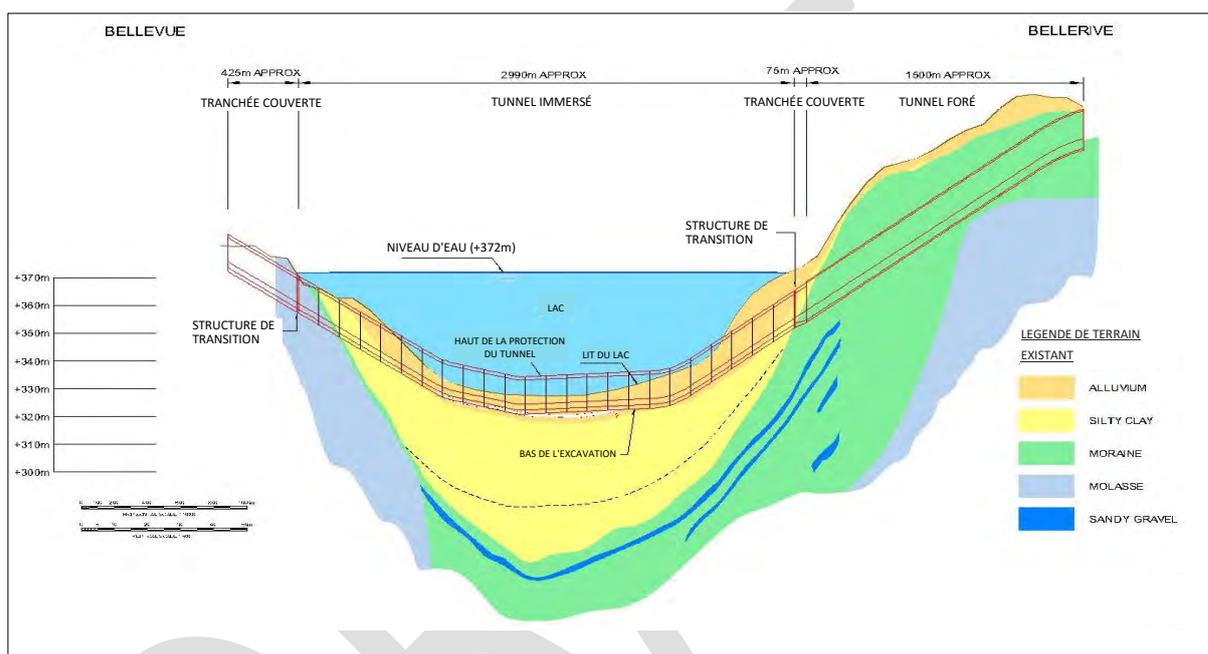


Figure 6 : Alignement vertical Variante A

Pour ces raisons un alignement vertical alternatif, où le tunnel est placé sur un remblai sous-marin est proposé (Figure 7 : Alternative B.) À son point culminant le remblai est d'environ 20m de hauteur, laissant environ 10 mètres de profondeur d'eau au-dessus du tunnel pour la navigation. Cet alignement supérieur se traduit par les éléments de tunnel étant placés à une profondeur maximale de l'eau (du niveau du lac au niveau de la fondation) d'environ 22 mètres. Cet alignement représente probablement l'alignement le plus pratique mais des études complémentaires devront trouver la position optimale entre les deux variantes. Des décisions importantes telles que les méthodes à utiliser pour le traitement de la fondation et la quantité de matériaux de remplissage disponibles auprès des tunnel foré et ailleurs sur les tranchées couvertes aura une incidence importante sur la décision finale. Ces aspects sont abordés plus loin dans le Chapitre 4.

La construction d'un remblai majeur sur le lac pourrait avoir des effets importants sur les l'écoulement de l'eau, ceci devra être étudiés en détail utilisant un modèle hydraulique numérique. Cette question est examinée plus en détail dans la Section 3.4.

Il est à noter qu'une réduction de la pente de la chaussée de chaque côté du tunnel immergé serait également possible pour cette variante et dans le cas du tunnel foré, cela pourrait avoir une incidence importante (voir Section 3.5). Pour la variante A l'alignement vertical maximal est actuellement de 3,9 %.

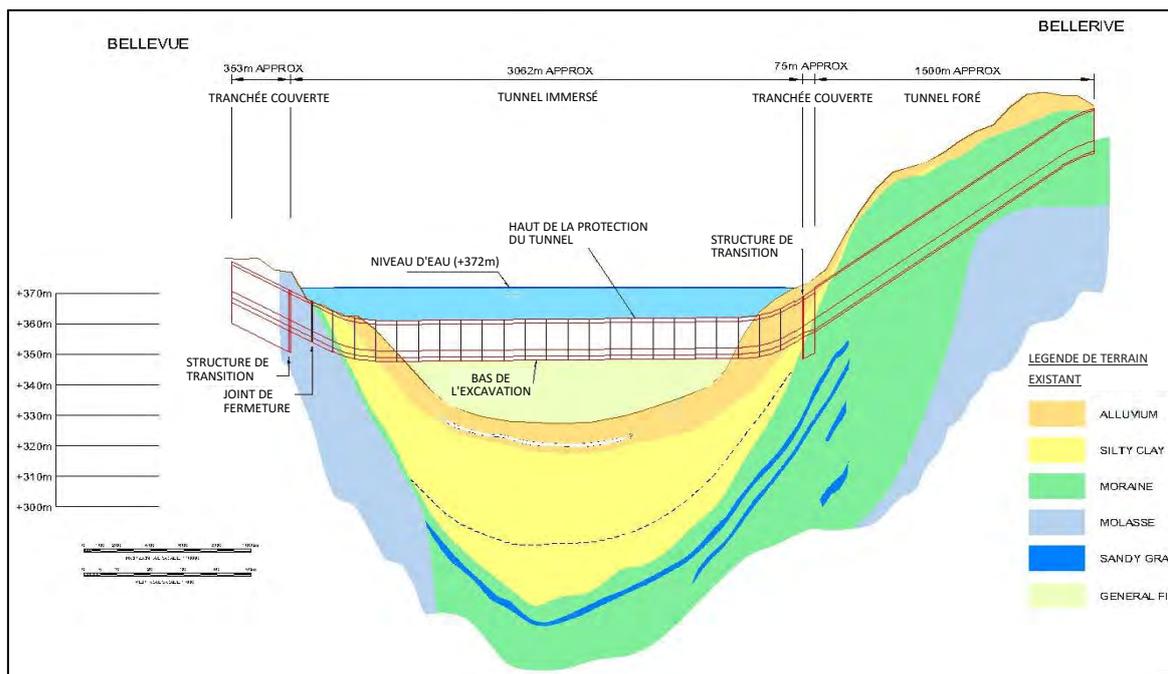


Figure 7 : Alignement vertical Variante B

3.3 Géotechnique

Dans le cadre des études menées à ce jour, les études géotechniques du site ont été effectués et sont assez complètes. Ces études comprennent plusieurs forages profonds dans le lac. Bien qu'aucun de ces forages sont sur l'alignement précis du passage proposé, ils fournissent une bonne indication de la séquence de la géologie et géotechnique et les caractéristiques des couches illustrés dans les Figures 6 et 7. Ceux-ci peuvent être résumés comme-sui : -

Les alluvions (matériel de vase) : argiles lacustres très molles contenant des matières organiques et de la craie. Dans le lac, ils sont dans un état de flocculer jusqu'à environ 10m à 20m de profondeur.

Argiles limoneuses : Argile limoneuse glaciaire avec du gravier. Les couches moins profondes sont généralement très molles à molle (et argile consolidé) tandis que les gisements plus profonds sont mou à ferme.

Moraine : argile ferme a dure « loam » avec des graviers.

Molasse : dure à très dure, très fracturée, grès et du marbre.

3.4 Hydraulique

La documentation au sujet de la région du Léman indique que l'eau de la rivière du Rhône pénètre dans le lac à son extrémité nord-est près du Bouveret et traverse le lac avant de repartir dans l'écluse de barrage et le canal de navigation au Seujet à Genève. L'évacuateur de crues sur le quai est utilisé pour contrôler et maintenir le niveau d'eau dans le lac. Au cas où un projet de tunnel immergé serait sélectionné, une modélisation hydraulique numérique sera nécessaire. Un modèle d'écoulement du courant du lac sera requis avec modélisation de l'envasement afin d'établir le montant et le mouvement probable de matériel d'envasement à ou près du fond du lac. Les modèles de dispersion de panache seront probablement également nécessaires pour établir où et comment les pertes de déversement des travaux de dragage pourraient être déposés et des études environnementales devront établir les effets probables sur le benthos sous-marin.

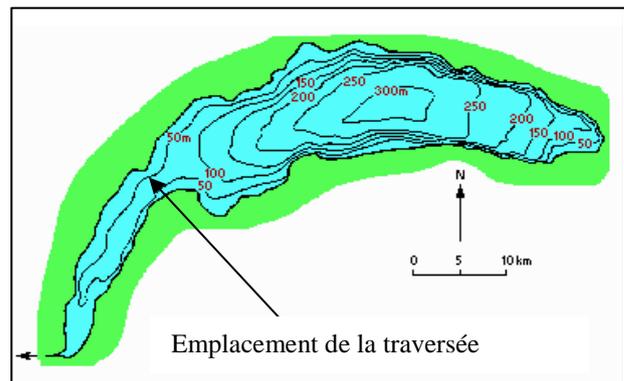


Figure 8: Bathymétrie

L'espace situé au-dessus du tunnel proposé avec la variante B est environ 10 mètres. Ceci est beaucoup plus grand que la quantité d'espace nécessaire pour maintenir l'écoulement longitudinal de l'eau dans le lac et à préserver les temps de rétention des crues existantes. Cependant, des études devront évaluer les effets sur la sédimentation. Si nécessaire, des ponceaux peuvent être intégrés dans le remblai sous le tunnel (à ce stade des études c'est considéré comme peu probable).

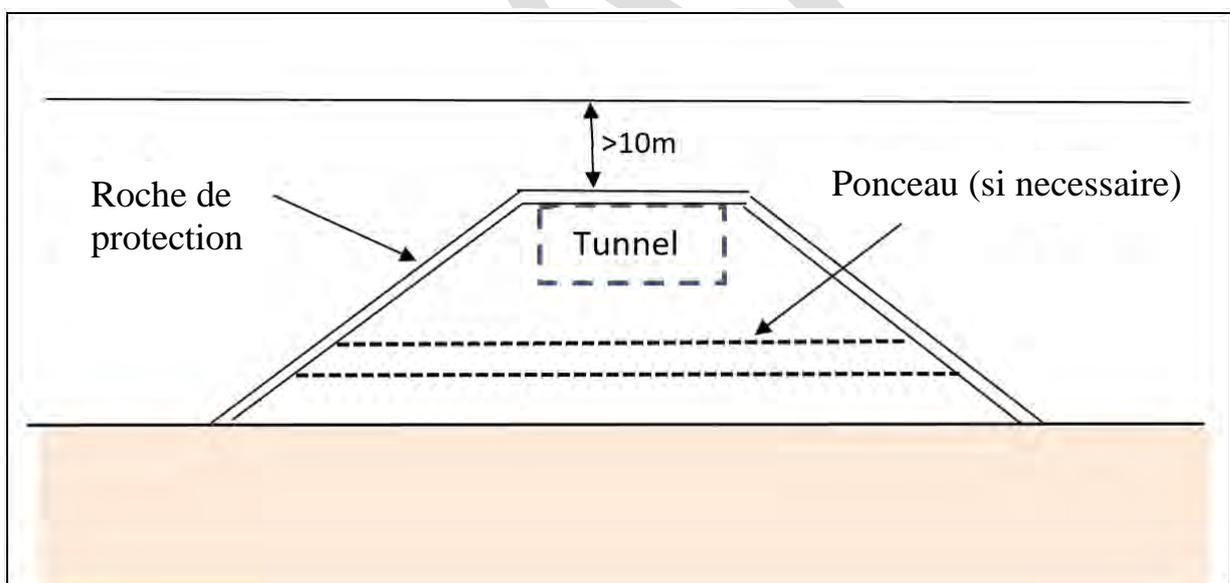


Figure 9 : Coupe transversale du remblai

Le tunnel devra également être protégés contre les effets potentiels de l'affouillement de débits d'eau et de tous les effets possibles des navires passant au-dessus du tunnel. Ceci comprendra l'affouillement des hélices, la chute et le glissement des ancres, ainsi que le coulage de navires. Ces effets seront beaucoup plus faibles pour ce tunnel que pour la plupart des tunnels immergés, mais néanmoins des quantités substantielles de roches de protection seront nécessaires.

Les études devront également établir des restrictions contractuelles détaillées applicables aux opérations de l'entrepreneur tels que les effets perturbateurs sur l'environnement puissent être minimisés. Ceux-ci devront inclure des contraintes de qualité de l'eau, les contrôles de la pollution, contraintes de bruit de construction, les limites sur les heures de travail etc.

3.5 Normes de conception

Dans le chapitre 15 du rapport de 2011 du Canton (Réf 1) diverses normes de conception importantes sont répertoriées qui devront être respectées lorsque la conception et le développement de tout projet de tunnel. Ceux qui sont mentionnés sont :

- a) Normes de société suisse des ingénieurs et architectes (SIA) - Particulièrement SIA 197 conception des Tunnels.
- b) Normes du Bureau Fédérales des routes (OFROU) - notamment des recommandations sur l'élaboration de projets et la construction de routes et de tunnels et aussi V1.2 sur la ventilation du tunnel.
- c) les normes VSS relatives à la mise en route.

Il est à noter que suite à une série d'accidents majeurs dans certains tunnels européens, en 2004 l'Union Européenne a publié une Directive (2004/54/CE) concernant les « exigences minimum de sécurité pour les Tunnels sur le réseau transeuropéen » et ces normes sont maintenant largement adoptée dans tous les États membres. La Directive est très normative dans ce qui peut et ne peut être effectué. Par exemple, il faut que « dans les tunnels avec des pentes plus raides que 3 % des mesures supplémentaires et/ou renforcés sont effectués pour améliorer la sécurité sur la base d'une évaluation des risques » et que « des gradients longitudinaux au-dessus de 5 % est interdit dans les tunnels nouveaux sauf si aucune autre solution n'est possible sur le plan géographique ». Il est supposé que le Canton et l'Etat souhaite se conformer à cette Directive (Nonobstant le fait que la Suisse n'est pas partie de l'UE).

3.6 Quantités de terrassements

Une estimation approximative des quantités terrassement requises pour chacune des alternatives d'alignement verticale a été calculée et celles-ci sont indiquées dans les tableaux 2 et 3 comme suit.

| Emplacement | Excavation (m ³) | | | | Matériau de remplissage (m ³) |
|---|------------------------------|------------------|---------|---------|---|
| | Vase | Argile limoneuse | Moraine | Molasse | |
| Routes d'approche de Bellevue, rampe, tranchée couverte | - | - | - | 270 000 | - |
| Darse de Bellevue | 170 000 | 84 000 | - | - | - |
| Tunnel immergé | 1 710 000 | 150 000 | 30 000 | 120 000 | 1 020 000 |
| Pointe à la Bise tranchée couverte | 15 000 | 10 000 | 2 000 | - | - |
| Collonges Tunnel foré | - | 3 000 | 360 000 | - | - |

Table 2 : Quantités approximative de terrassement pour l'alignement inférieur (variante A)

Avec cet alignement inférieur, la quantité de matériaux à excaver (si l'on exclut les alluvions) est du même ordre de grandeur (930 000 m³) que la quantité de remplissage requis (1 020 000 m³.) Si on suppose que tous les matériaux d'excavation peuvent servir quelque part dans les travaux, il laisse seulement une petite quantité de matériau supplémentaire à importer d'ailleurs. En outre, la quantité d'alluvions qui devra être retiré du lit du lac (1 895 000 m³) devront être éliminés quelque part. L'endroit évident pour ce matériel très mou et semi-liquide est dans les eaux profondes du lac, mais on ne sait pas si ce sera acceptable pour des raisons écologiques. Cet aspect devra être étudiée dans le cadre des études hydrauliques déjà mentionné ci-dessus.

| Emplacement | Excavation (m ³) | | | | Matériau de remplissage (m ³) |
|---|------------------------------|------------------|---------|---------|---|
| | Vase | Argile limoneuse | Moraine | Molasse | |
| Routes d'approche de Bellevue, rampe, tranchée couverte | - | - | - | 270 000 | 7 000 |
| Darse de Bellevue | 170 000 | 80 000 | - | - | - |
| Tunnel immergé | 2 800 000 | 130 000 | 40 000 | 150 000 | 4 535 000 |
| Pointe à la Bise tranchée couverte | 15 000 | 10 000 | 2 000 | - | - |
| Collonges Tunnel foré | 2 000 | 6 000 | 350 000 | - | - |

Table 3 : Quantités approximative de terrassement pour l'alignement supérieur (variante B)

Avec cet alignement supérieur, la quantité de matériaux à excaver (si l'on exclut les alluvions) (1 040 000 m³) est très inférieure à la quantité de remplissage requis (4 535 000 m³) et le matériel supplémentaire devra être importées de quelque part. La source évidente est d'autres sections de cette liaison routière, particulièrement le tunnel entre Collonges et Thonex (avec la permission de Genève GESDEC). Si c'est possible cela permettra de réduire considérablement la quantité de matière qui devront être disposé et cela réduira considérablement les effets de perturbations d'acheminement de camion sur le réseau routier. Des enquêtes devront évaluer si ce matériel est adéquat pour être placé dans le remblai sous-marin. Si nécessaire, une station de criblage devra enlever les matériaux d'argile fine qui pourraient autrement s'étendre de longues distances dans le lac. Idéalement, le remblai doit être construit uniquement avec un matériel granulaire (c'est à dire roche fracturé, graviers etc.) La construction de remblai est discutée plus en détail dans la Section 4. Avec l'alignement de la variante B il y a toujours le problème d'écoulement pour les matériaux d'excavation alluviaux, bien que comme mentionné ci-dessus, l'emplacement idéal serait dans les eaux profondes du lac.

4. Le tunnel immergé

4.1 Section transversale

Dans la section 15.1 du rapport de 2011 du Canton (Réf 1) les dimensions de section requise pour la route à travers le tunnel sont affichées. Chaque chaussée accueille deux voies de circulation plus une voie d'urgence et a deux accotements de plus de 1m de large qui sont soulevées au-dessus du niveau de la route avec une petite bordure de trottoir. Nous avons utilisé ces informations pour produire la section ci-dessous (Figure 10).

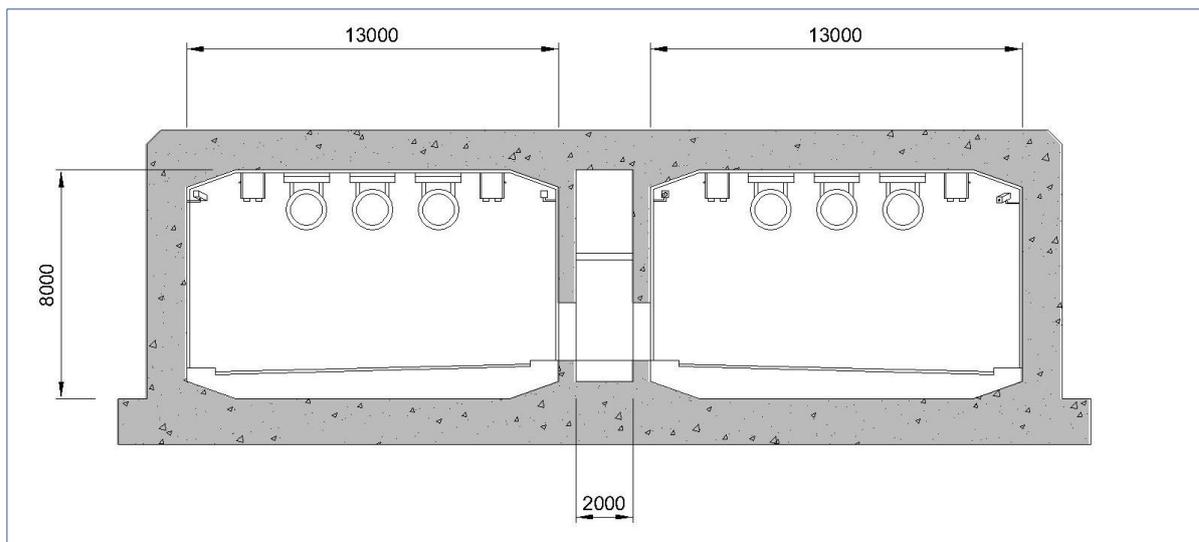


Figure 10 : Section transversale du Tunnel immergée

Les principales caractéristiques de la section sont : -

- a) Un passage central pour accueillir des câbles de service et de tuyaux (partie supérieure) et pour former un passage d'échappement central (partie inférieure) pour l'évacuation des piétons à travers les portes de secours dans les murs centraux au cas où un incident de la circulation a lieu.
- b) Espace pour les ventilateurs de ventilation longitudinaux (jet fans) au-dessus des chaussées. Ces ventilateurs envoient les fumées et les émanations d'un feu dans la direction du mouvement du trafic et les dirigent loin de la circulation bloquée par l'incident. La fumée et les vapeurs sortent du tunnel aux sortie de portails.
- c) Les talons de béton armé à la base des murs (voir la section 2.5)
- d) Détail de coin supérieur chanfreiné afin d'aider les roches de protection à détourner au-dessus du tunnel sans l'endommager les ancrs traînant d'un vaisseau dans le lac.
- e) Protection passive au feu pour les murs et le toit.

Veillez noter que les épaisseurs des murs, de la dalle supérieure et inférieure indiquées en Figure 10 sont seulement schématiques. Dans le cas de l'alignement vertical inférieur (c.-à-d. variante A.), les murs et les dalles devront être beaucoup plus épaisses que celles pour l'alignement supérieur (variante B) en raison de la plus grande profondeur de l'eau et donc de la pression hydrostatique plus élevée. En outre, les dimensions internes devront être supérieures à celle de la variante B pour s'assurer que l'élément est flottant et capable de flotter dans son état temporaire.

Notez également que ce rapport suppose que la section transversale du tunnel aura deux voies de circulation (plus une voie d'urgence) dans chaque tube. Cependant, une caractéristique importante des tunnels immergés est qu'il est relativement peu coûteux d'élargir le tunnel pour accueillir une voie supplémentaire si c'était nécessaire (donc mettre une voie de circulation supplémentaire – par exemple pour les transports en commun).

4.2 Travaux de terrassement pour la variante A (tunnel en tranchée)

Des études géotechniques ont été effectuées pour la variante A où le tunnel est construit dans une tranchée draguée dans le fond du lac et ensuite remblayé. Comme indiqué précédemment, cet alignement constitue un défi technique important pour la construction de tunnels immergés à cause de la grande profondeur d'eau. Cependant, afin d'évaluer la faisabilité technique de cette option, les études géotechniques suivantes ont été effectuées et les résultats sont donnés en Annexe B : -

- Une modélisation (utilisant Eléments Finis – Plaxis 2D) de la séquence de construction en prenant compte des conditions du sol dans la partie centrale du lac (c.-à-d. le point le plus profond).
- Un examen de la méthode de construction proposée par rapport à celles utilisées ailleurs.
- Consultations initiales avec un sous-traitant spécialisé afin de vérifier la faisabilité de la méthode d'amélioration de sol proposé dans les profondeurs d'eau proposé (environ 50 mètres).

La solution optimale consiste de la séquence suivante (Figure 11) :-

- Installer deux lignes des palplanches dans le lit du lac de chaque côté du tracé prévu. La modélisation indique que les murs devront être environ 30m de profondeur. Les palplanches requises sont relativement légères (Larson 403 ou similaire.) La profondeur d'eau maximale est d'environ 50 mètres.
- Draguer les argiles alluviales semi-liquide (vase) entre les murs
- Améliorer le sol de fondation (argile limoneuse) en utilisant la technique de mixage de ciment profond (MCP). Avec le MCP, des colonnes sont formées en utilisant une longue tarière pour forer le sol argileux jusqu'à la profondeur requise. Lorsque la tarière est retirée le coulis de ciment est injecté dans l'espace précédemment occupé par les pales de la tarière, laissant une colonne de sol renforcée. De colonnes de diamètre 900mm sont prévues et sont installé 4 par 4 sur une grille carrée (1,9 x 1,9 m), chaque grille espace de 5,3m environ.
- Placer une chape de gravier épais de 1m sur la surface du sol améliorée.
- Placer le tunnel immergé dans la tranchée et ensuite la remblayer.

La solution préférée consiste à utiliser des palplanches mais il devrait être noté que d'autres méthodes sont possibles comme l'utilisation de digue de roches sous-marine au lieu des murs est tout aussi faisable - mais semble être plus coûteux dans le cas présent. Ceci est également décrit à l'Annexe B.

L'analyse par éléments finis donne à penser qu'une fois que le tunnel est en position, le processus de remblayage du tunnel provoquera un tassement vertical initial d'environ 35mm suivie de tassement à long terme de 20mm de plus sur les 120 années à venir. Le tassement différentiel possible est de l'ordre de 10-20mm à long terme.

Le système segmentaire propose peut subir des tassements important sans problèmes, mais le tassement différentiel (qui peut engendrer des effets torsion) est plus problématique en raison des grands efforts sur les clés de cisaillement. Des études complémentaires seront nécessaires pour établir la taille des clés de cisaillement nécessaires.

Il est intéressant de noter que les tunnels immergés en béton ne peuvent pas subir que des grands tassements aux extrémités du tunnel où le segment final est relié aux sections rigides des tranchées couvertes (qui ont des fondations profondes). Dans ces zones, des études complémentaires seront nécessaires pour établir la meilleure façon de traiter ces tassements. Des sondages géotechniques détaillées dans ces zones suivies par des études détaillées seront nécessaires.

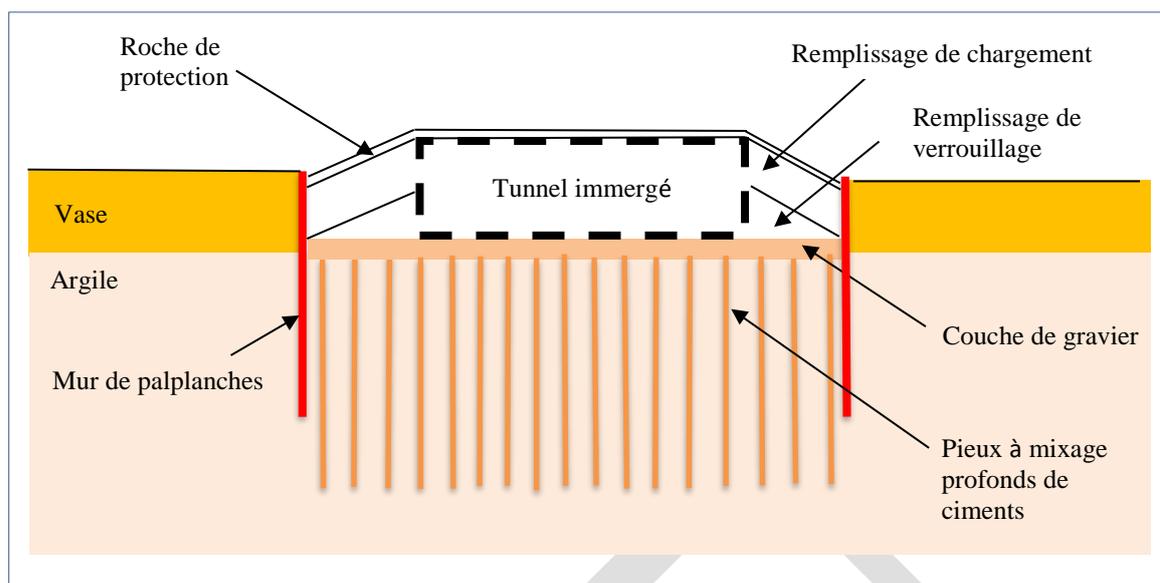


Figure 11 : Travaux de terrassement pour la variante A utilisant les pieux à mixage profonds de ciments MPC

4.3 Travaux de terrassement pour la variante B (tunnel sur le remblai)

L'alignement vertical alternatif illustré à la Figure 8 (variante B) implique des longueurs considérables du tunnel sur les rives du lac où le tunnel est en tranché. La solution proposée dans ces zones est tel que décrit ci-dessus, c'est-à-dire amélioration des sols avec des pieux de mixages profonds de ciments. Cependant, sur la partie centrale du lac, il est suggéré que le tunnel serait placé à un niveau plus élevé et placé sur un remblai construit sous l'eau au-dessus des argiles limoneuses. Le but du remblai est de permettre le placement du tunnel à des moindres profondeurs (et a une profondeur constante) et ainsi de réduire le coût et la complexité de construction. Ceci permettra aussi de réduire légèrement les gradients de la chaussée de chaque côté et de réutiliser au maximum les matériaux de terrassement du projet venant des zones hors du lac. Si cela est possible, cela réduira considérablement la quantité de matériaux qui autrement devront être acheminer pour élimination ailleurs. Ceci réduira aussi les effets perturbateurs sur le réseau routier des acheminements de camion.

Afin d'évaluer la faisabilité technique de cette « solution remblai », un certain nombre d'options ont été étudiés et la conclusion est que la méthode optimale sera de construire un remblai mise en place par étapes sue une fondation d'amélioration des sols utilisant des colonnes ballastées de sable. Comparé aux pieux de mixage profonds de ciments mentionnés ci-dessus, les colonnes ballastées de sable sont conçues pour permettre la consolidation rapide des argiles limoneuse et ainsi d'améliorer la résistance au cisaillement (Figure 12). Les résultats des études sont décrits à l'Annexe C et comprennent les résultants des analyses aux éléments finis de la séquence de construction ainsi qu'un résumé du type de matériel utilisé pour d'autres projets similaires.

La séquence de construction est la suivante : -

- Installer deux lignes de palplanches au fond du lac de chaque côté de l'alignement prévu (c'est-à-dire comme avant). La modélisation indique que les palplanches devront avoir une profondeur d'environ 30m. Les palplanches requises sont relativement légères (Larson 403 ou similaire) et elles seront faciles a enfoncé dans les argiles molles.
- Draguer les argiles alluviales semi-liquide (vase) entre les murs.
- Placez une chape de gravier de drainage d'une épaisseur de 1m entre les palplanches.

- Installer colonnes ballastées de sable sur toute la surface de la fondation. Les études indiquent que pour le remblai le plus haut la zone de colonnes ballastées de sable devra être de 44m de long, 1,9 m de diamètre tous les 2,9 m. L'espacement peut être réduit dans des endroits où le remblai est moins haut ais des études complémentaires seront nécessaires pour préciser ceci.
- Construire le remblai en quatre étapes/couches jusqu'au niveau de la fondation du tunnel laissant environ une semaine entre chaque couche pour le tassement et la consolidation de la fondation. La première couche 1 sera de 4m d'épaisseur, les autres couches 2, 3 et 4 sauront d'une épaisseur de 5m.
- Construire le tunnel et le remblayage d'une manière conventionnelle comme d'écris au-paravent.

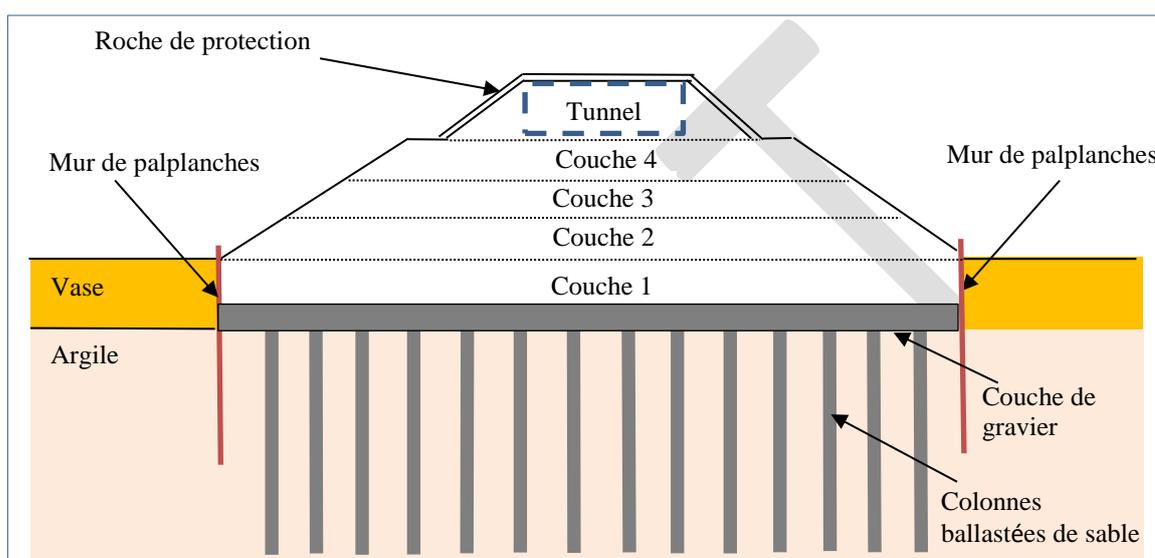


Figure 12 : Travaux de terrassement pour la variante B utilisant de colonnes ballastées de sable

L'analyse aux éléments finis suggère que la construction de tunnels causera un tassement initial d'environ 20mm suivi par un tassement à long terme (120ans) de 25 à 30mm. Le montant du tassement différentiel à long terme est prévu comme étant de 20 à 30mm.

Comme indiqués précédemment, le type segmentaire de tunnel immergé peut subir des tassements importants à long terme sans problèmes, mais le tassement différentiel (c.-à-d. les effets de torsion) est plus problématique en raison des importants efforts sur les clés de cisaillement. Des études complémentaires seront nécessaires pour établir les tailles des clés de cisaillement.

5. Le tunnel foré

Les deux tunnels forés ont une forte pente entre le portail près de Collonges et la rive du lac, à la Pointe à la Bise. La longueur de ces tunnels est d'environ 1,520 mètres et la pente est d'environ 3,9 %. En raison des grands efforts prévus sur les coques de béton causées par la pression élevée de l'eau souterraine, une section circulaire a été proposée avec un diamètre d'environ 11m de (Réf : 1). Chaque tunnel comporte deux voies de circulation, mais aucune voie d'urgence n'est proposée. Les tunnels passent à travers principalement des matériaux de moraine et la zone près du lac est construite à des niveaux sensiblement au-dessous du niveau de l'eau dans le lac.

Peu de détails de la méthode de construction est donnés dans le rapport, mais on suppose qu'avec un pré-traitement approprié du sol et du drainage (c.-à-d. la dépressurisation) la moraine sera suffisamment intact pour être en grande partie autoportants à la face de l'excavation et au vu des de la courte longueur du tunnel l'excavation s'effectuera par des méthodes mécaniques (c.-à-d. haveuse etc.) La méthode d'excavation pas haveuse est une méthode traditionnelle de construction de tunnel et demande généralement des nervures en acier de support, sondages horizontaux entre les nervures, béton projeté pour apporter un soutien temporaire et une coque en béton armé avec une membrane d'étanchéité. Par endroits, une excavation en plusieurs phases (calottes) sera peut-être nécessaire pour réduire la hauteur de zone autoportante.

Compte tenu des conditions du sol, un traitement préalable sol sera nécessaire. Des sondages géotechniques seront nécessaires avant l'excavation et des sondages à l'avancement de la face du tunnel sera nécessaire. Si des zones de sol molles sont identifiées celles-ci devront être répertoriés et prétraités. Le progrès sera lent et fastidieux. Toutefois, beaucoup de tunnels de ce type ont été construits dans la région des Alpes au cours de nombreuses années et les grandes entreprises de génie civil ont un grand savoir pour ce type de construction à travers le monde.

L'excavation s'effectuera probablement en montant de la tranchée couverte à la Pointe à la Bise. Les eaux souterraines qui s'émaneront de la face du tunnel descendront jusqu'à un point de pompage dans l'excavation de la tranchée couverte. Tous les déblais excavés sortiront par la tranchée couverte et seront réutilisés ailleurs dans la construction. Des études complémentaires seront nécessaires pour déterminer si ces matériaux excavés pourront être utilisés pour la construction de remblai lacustres et, comme mentionné précédemment, une station de criblage sera peut-être nécessaire pour enlever les excès de matériaux fins. Il est vraisemblable que tous les matériaux nécessaires à la construction du tunnel - béton, coffrages, nervures etc. seront transportés jusqu'à la tranchée couverte, mais le mode de transport (route ou par le lac) nécessitera des études. Des mesures spéciales devront être prises pour réduire au minimum la perturbation des résidents locaux et de la faune de la construction.

6. Rampe d'approche et tranchée couverte (Bellevue)

Dans la zone de Bellevue, le nouveau lien routier se connecte au réseau existant à la jonction du Vengeron et les véhicules utilisant la nouvelle liaison routière descendent vers le portail du tunnel via une rampe inclinée. Il sera peut-être possible pour une partie de cette rampe d'être construite en utilisant des méthodes de travaux de terrassement, si les conditions de sol le permettent, mais à un certain moment, la route devra entrer dans une tranchée ouverte (c'est-à-dire une structure en U) et descendra vers le portail du tunnel. À ce stade, la route aura une profondeur d'environ 10m à 12m au-dessous du niveau du sol. La structure de la rampe aura besoin d'un mur central qui empêchera la recirculation de l'air vicié sortant du portail. La tranchée couverte devra également prévoir un escalier piéton de secours pour permettre à l'évacuation d'urgence des usagers et donner accès aux personnels autorisés du couloir central d'urgence.

Le portail fera partie de la tranchée couverte qui sera vraisemblablement une structure de boîte en béton armé avec des dimensions internes compatibles avec le tunnel immergé. La tranchée couverte (et la partie profonde de la rampe d'approche) devra être construite dans une excavation profonde avec des ouvrages temporaires suffisantes (murs de coupure batardeau, puits de pointage etc.) pour permettre la création d'une fondation stable et sèche. Dès que la fondation est stable et sèche, la tranchée couverte peut être construite et remblayée. La tranchée couverte dans la zone adjacente avec le tunnel immergé aura une structure de transition et les terrassements doivent être configurés pour permettre la tranchée draguée créer un portail sous l'eau. Il existe plusieurs méthodes pour cela.

Avec beaucoup de tunnels immergés récents l'exigence de batardeau temporaires et les structures permanentes de tranchée couverte ont été construits en une unité combinée en utilisant des techniques de paroi moulée. Cette méthode pourrait bien se révéler être optimale dans ce cas (Figure 13). Il présente plusieurs avantages comparés aux solutions de palplanche en acier, car les parois moules sont créés panneaux par panneau et peuvent créer une barrière à l'infiltration de l'eau.

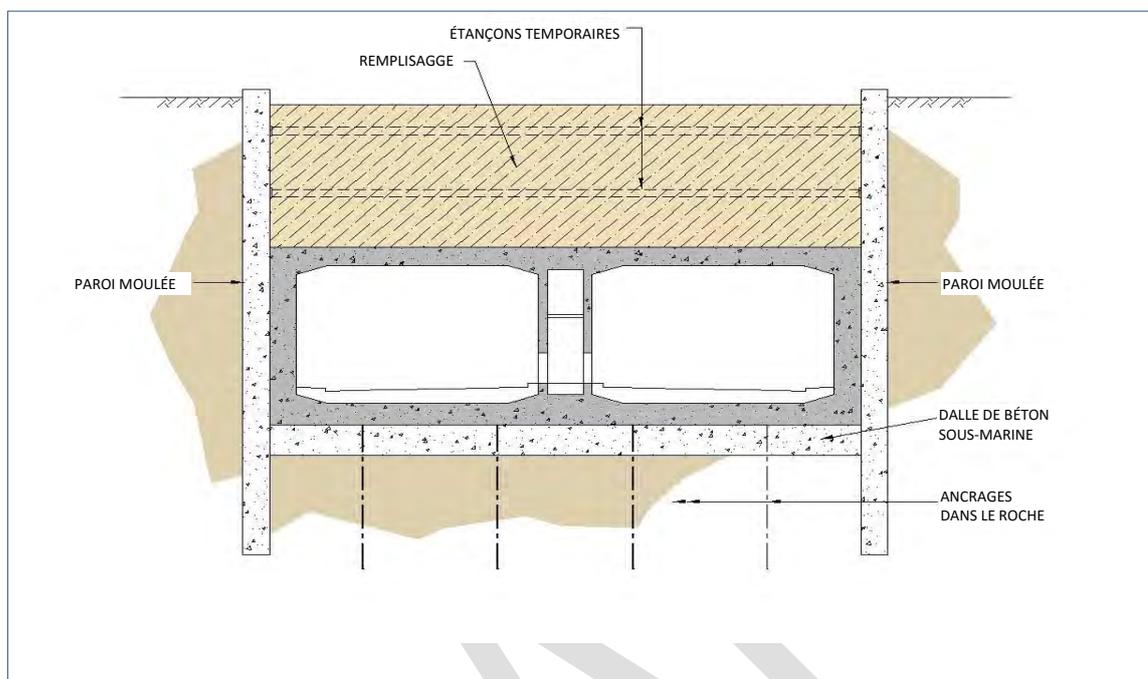


Figure 13 : Section transversale type pour la tranchée couverte utilisant les parois moulées

Les parois moulées sont creusées par panneaux qui sont remplis de liquide bentonite pour retenir l'excavation. Des cages d'armatures en acier sont enfoncés dans la bentonite et le béton est pompée par le bas ce qui déplace la bentonite liquide qui est récupérée. Les panneaux incorporent un joint vertical aux extrémités de l'excavation. Les murs peuvent servir structurellement pour faire partie des ouvrages permanents bien que souvent une structure est construite à l'intérieur des parois moulées. Pour les fouilles plus profondes, une dalle sous-marine temporaire avec des ancrages dans la roche sont de fois nécessaire en fonction des conditions de sol. Plusieurs rangées d'entretoises temporaires seront nécessaires dans l'ensemble de l'excavation pour fournir un support latéral.

7. Tranchée couverte (La Pointe à la Bise)

Sur le côté opposé du lac une tranchée couverte est nécessaire pour former une connexion entre le tunnel immergé et le tunnel foré, cependant cette tranchée couverte a plusieurs fonctions et fonctionnalités supplémentaires : -

- a) La tranchée couverte devra s'élargir pour permettre aux chaussées de s'adapter à la configuration des tunnels forés.
- b) L'excavation sert de point d'accès pour les activités de construction du tunnel foré, et par conséquent la dalle supérieure ne peut être coulées que quand toutes ses activités sont finies.
- c) Il est susceptible d'être fondée en partie sur la moraine, en partie sur l'argile limoneuse et en partie sur les matériaux de remplissage utilisés pour remplacer les argiles molles se trouvant sous les segments de la fin du tunnel immergé.

Il est supposé ici que la méthode de construction utilisée sera semblable à celle du côté de Bellevue (c'est à dire parois moulées etc.) mais des études complémentaires devront déterminer la solution technique la plus appropriée.

Un plan de la section de tranchée couverte est indiqué à la Figure 14. Ce plan a été élaboré pour l'alignement vertical supérieur (variante B) et identifie les pentes latérales de la tranchée draguée où elle rejoint la section de tranchée couverte. Le début du remblai sous-marin est indiqué à gauche de cette figure. Il faudra un mur temporaire (probablement une palplanche) a la limite de la zone tranchée couverte cote lac.

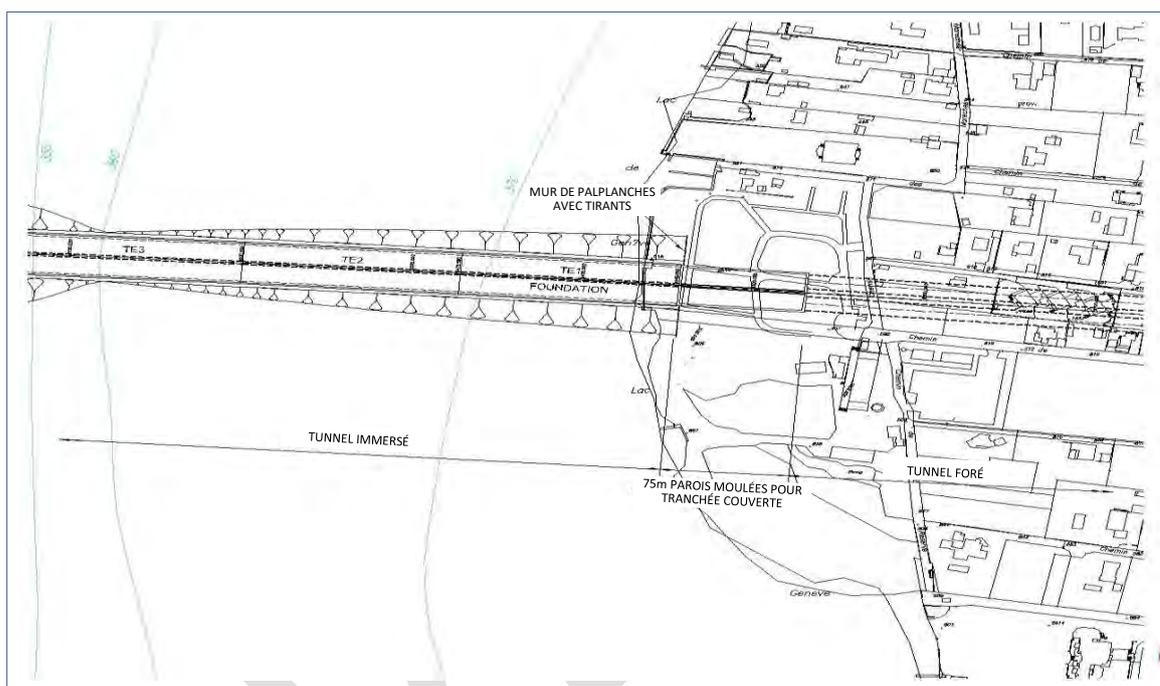


Figure 14 : Tranchée couverte à la Pointe à la Bise

8. Darse de préfabrication / port de plaisance

Les darses de préfabrifications pour la construction de tunnels immergés sont normalement de grandes excavations profondes entourées de remblais qui permette ensuite l'assèchement de l'excavation a l'intérieur des remblais. Souvent des murs souterrains ou de ciment-bentonite sont construit à travers les remblais pour former un joint d'étanchéité dans une couche imperméable (ou semi-perméable) sous-jacente. Des puits de pointages seront nécessaires pour à abaisser la nappe phréatique et permettre la création d'une fondation sèche sur laquelle les éléments du tunnel peuvent être construit. Une fois que les éléments sont construits, le bassin est inondé par en pompant l'eau du lac dans la darse, ce qui mène à la flottation des éléments, ceux-ci sont ensuite remorqué hors de la darse. Puisqu'elles sont normalement conçues pour flotter avec leur dalle supérieure à peine au-dessus du niveau de l'eau, le sol de la darse devra être d'environ 12 mètres sous le niveau de l'eau et doit aussi comprendre une chape de gravier.

Dans ce cas, un site a été identifié pour le bassin du côté nord du lac à Bellevue et l'intention est que le bassin n'est pas remblayé par la suite (ou pas entièrement remblayé) mais transformé en un port de plaisance pour les propriétaires de voiliers et autres amateurs de bateau de plaisances. Une suggestion de port de plaisance est montrée dans le chapitre 16 du rapport du Canton de Genève (Ref.1.) Une zone d'aménagement paysager est montrée aux côtés du port de plaisance à usage d'agrément. Le port et les zone d'aménagement paysager seront construits et mis en place au-dessus de la tranchée couverte et des éléments de tunnel immergés, ceci ne pose pas de problème mis devra être prise en compte pendant les études de conception.

La zone proposée pour la darse de préfabrication est soumise à des courants et vents forts de bise (nord-est) et cela devra être pris en compte dans la conception des remblais temporaires et les remblais permanents si elles sont utilisées pour le port de plaisance. Cela demandera des roches de protection.

Un deuxième problème est que la zone prévue pour la darse de préfabrication est insuffisante pour permettre la construction d'un bassin assez grand pour accueillir tous les éléments requis pour le tunnel et il est peu probable qu'un tel site pourra être trouvé n'importe où dans la région du lac Léman. Cela signifie que la darse devra être utilisée à plusieurs reprises. Une disposition proposée est montrée dans la Figure 15 (bassin fermé) et 16 (bassin ouvert). Quatre phases (ou cycles) de préfabrication de six éléments sont prévus, les éléments complètes seront stockées dans le lac jusqu'à leur utilisation. Les éléments du tunnel devront être maintenus flottant en jusqu'au moment de leur pose et ils ne peuvent être pose que quand ils sont dans leur position finale.

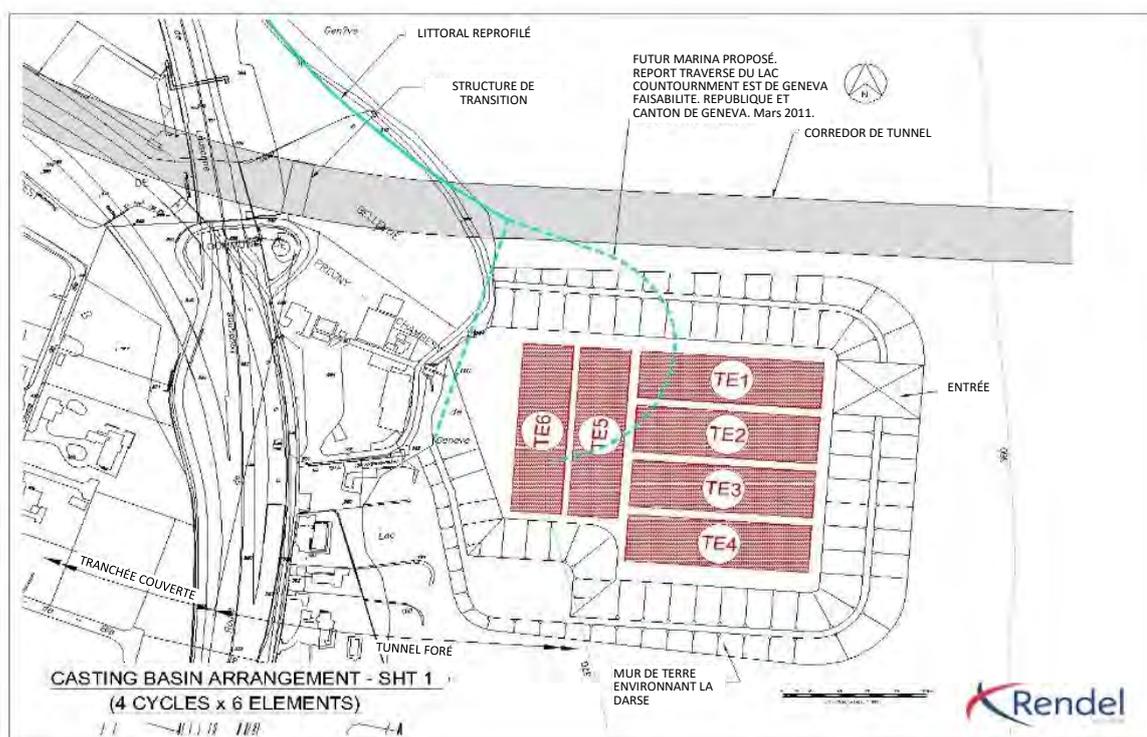


Figure 15 : Darse de préfabrication fermée avec des éléments en cours de construction

Après chaque cycle, le bassin devra être refermé, asséché, nettoyé, et remettre à niveau la chape de graviers pour la réutilisation. Cette méthode de réutilisation n'est pas sans précédent pour la construction de tunnels immergés, mais elle prend néanmoins beaucoup de temps. Une fois que la darse de préfabrication n'est plus nécessaire les travaux pour l'aménagement en port de plaisance peuvent commencer. La disposition démontrée consiste à utiliser une structure de porte mobile en béton et acier. Elle pourrait être réutilisé dans le port de plaisance en tant que calle sèche ou autrement détruite et recyclée si elle n'est pas requise.

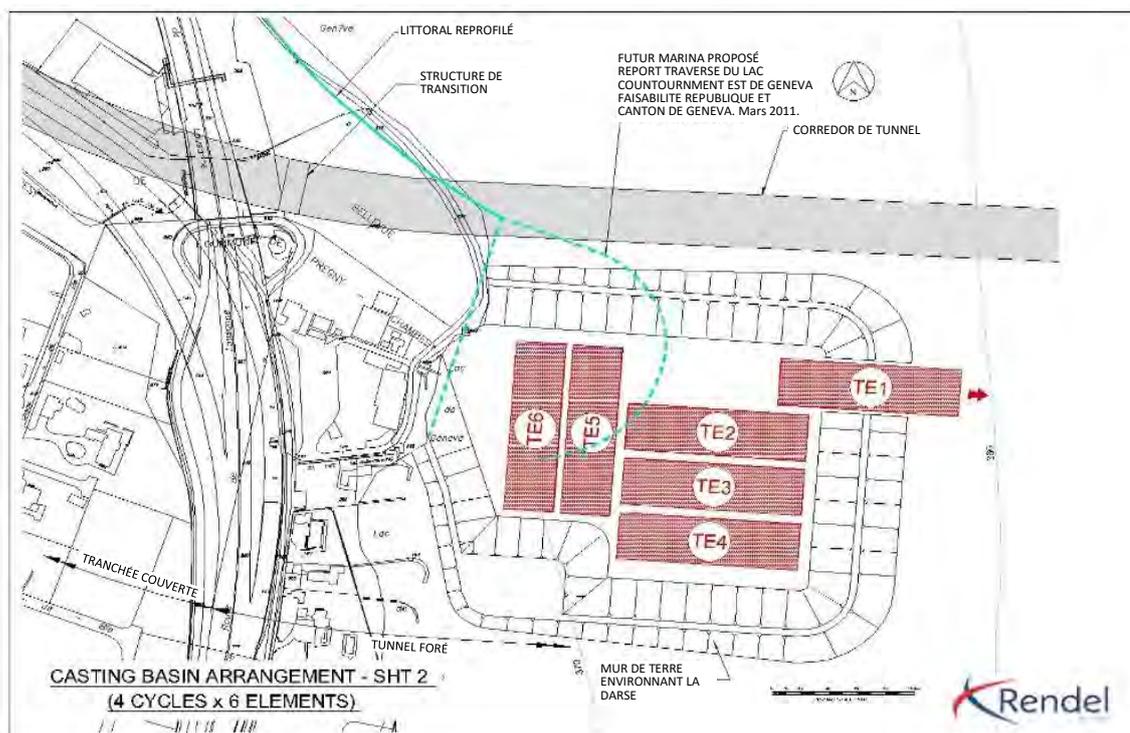


Figure 16 : Darse de préfabrication ouvert avec l'élément TE1 flottant et en remorquage

Des études d'ingénierie et environnementales seront nécessaires pour établir si l'emplacement ci-dessus est acceptable pour une darse de préfabrication pour le tunnel immergé ou si un autre site est préféré. Il y a une profondeur suffisante dans le lac pour que la darse puisse être située n'importe où dans la région du lac Léman, bien que le plus proche du tunnel le mieux c'est. Les conditions géologiques seront un des points le plus important, bien que la plupart des sites pourraient être conçues pour convenir à une darse de préfabrication dans la plupart des cas.

9. M&E systèmes et installations

Les systèmes mécaniques et électriques nécessaires dans un tunnel routier moderne sont nombreux et complexes. Voici une brève liste de l'équipement critique de sécurité principale qui est habituellement installé dans un tunnel majeur de ce type. Des systèmes individuels devront être intégrés aux installations locales et devront être conformes aux normes nationales suisses : -

9.1 Alimentation de courant

Normalement, il y a deux postes auxiliaires d'alimentation de courant dédié, un de chaque côté du lac. Chaque poste est alimenté en haute tension par des sections indépendantes du réseau national. En cas de défaillance d'un approvisionnement, le courant de l'autre alimentera automatiquement tout le tunnel, pour que tous les systèmes du tunnel sont opérationnels, pendant que l'alimentation du système défaillant est rétablie. En cas de panne des deux sources (c'est à dire un manquement régional), un système onduleur UPS est normalement fourni. Il s'agit souvent d'un système de batterie conçu pour fournir le courant nécessaire pour les éléments critiques liés à la sécurité, mais parfois des autres systèmes sont mise en place tels que les générateurs diesel indépendants.

9.2 Système de contrôle environnemental

Ce système est conçu pour surveiller et contrôler les conditions ambiantes dans le tunnel, y compris les niveaux d'éclairage, les niveaux de pollution atmosphérique, etc. Le système est intègre et protégé par mot de passe, contrôlé par ordinateur, système SCADA qui fonctionne automatiquement dans des conditions normales. Il contrôle : -

- *Appareils d'éclairage*
- *Capteurs de lumière*
- *Ventilateurs. (Dans ce cas, il est supposé qu'un système de ventilation longitudinale (jet fan) sera utilisé. Ceux-ci se généralisent dans les tunnels moderne routier en Europe.)*
- *Capteurs de pollution*
- *Capteurs de visibilité*
- *Capteurs de vitesse du vent*

9.3 Système de contrôle du trafic

Ce système permet à la salle de contrôle de surveiller et régler la circulation dans les tunnels et de communiquer. C'est normalement un système commandé par ordinateur intégré, protégé par mot de passe, à l'ensemble du réseau SCADA. Les installations de surveillance comprennent : -

- Couverture complète de camera (CCTV) des tunnels et routes d'approche
- Système de comptage du trafic automatique utilisant détecteurs à boucle induction près de portails d'entrée et de sortie
- Détection automatique de véhicule stationnaire. Cette installation fait partie du système de Surveillance trafic automatique (SEA) et utilise la numérisation informatique des images de CCTV
- Détection automatique de la hauteur (et protection) sur les routes d'approche
- Alarmes déclenchées par l'utilisateur



Figure 17 : Medway Tunnel (UK) montrant panneaux de distribution électrique et sorties d'urgence

Les installations de régulation comprennent: -

- Marquage sur la chaussée de la chaussée
- Panneau de signalisation sur les approches du tunnel
- Direction et panneaux de direction avancés
- Signes limitant les catégories d'usagers de la route
- Signaux de fermeture du tunnel
- Des panneaux « Gardez la voie »
- Des Signaux « Allumer la radio »
- Signaux de messages variables sur les approches.
- Des signes matriciels sur les portails.
- Signaux de message améliorés sur les portails.
- Des signaux de contrôle de la voie à l'intérieur du tunnel
- Panneaux de signalisation sur les murs à l'intérieur du tunnel.

Les installations de communication comprennent : -

- Téléphones d'urgence à usage public. Dans le tunnel, ils sont situés à chaque panneau d'urgence (intervalles de 50 m), et à côté de chaque porte d'échappement d'urgence dans les murs centraux.
- Un système de sonorisation avec haut-parleurs dans le tunnel et le passage d'évacuation.

- Système radio pour les services d'urgence.
- Accès à la téléphonie mobile
- Équipement d'enregistrement des événements et enregistrement des données.
A l'extérieurement du tunnel il devra être fournis quelque part à proximité d'un des portails des bâtiments de service. Ce bâtiment comprendra : -
- Salle de contrôle et salles pour le personnel
- Appareillage et fournitures
- Cabines de péage et installations de péage
- Installations de dépôt de maintenance

10. Coûts et délais

Une estimation du coût probable de la conception et de la construction des différentes sections du projet a été entreprise en utilisant des taux type unitaires d'autres projets. Veuillez noter qu'un estimatif détaillé des éléments individuels ou des quantités n'a pas été entreprise à ce stade de cette étude. Le but de l'estimation consiste à évaluer les différences de coût probable entre les deux variantes d'alignements verticaux. Il est clair que des questions telles que la difficulté d'accéder à la zone de lac Léman avec le matériel de construction nécessaires etc. auront un impact significatif sur les coûts. Il est suggéré que les entreprises qui possèdent l'expertise pour ce genre de projet soit consultée à cet égard et leurs points de vue sur l'impact probable sur les coûts et les difficultés de la construction devra être pris en compte.

Les taux utilisés dans l'estimation sont soit des taux actuels ou ont été mis à jour à des prix courants. Aucune provision spécifique pour éventualités ou coûts inattendus n'a été retenue à ce stade car l'estimation a utilisée des taux pleinement inclusifs de projets construits.

| Emplacement | Section | Variante A Alignement vertical (millions de CHF) | Variante B Alignement vertical (millions de CHF) |
|---------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Bellevue | Rampe d'approche | 30 | 25 |
| | Tranchée couverte | 280 | 95 |
| Lake | Tunnel immergé | 1 050 | 870 |
| Bellerive (la Pointe a la Bise) | Tranchée couverte | 130 | 20 |
| Bellerive - Collonges | Tunnel foré | 190 | 180 |
| Bellevue to Collonges | M&E Systèmes et installations | 80 | 80 |
| | Total | 1 760 | 1 270 |

Table 4 : Estimation des coûts de conception et de construction

Comme il ressort du tableau 4, l'alignement de la variante B prévoit de produire une économie de coût de conception et de construction d'environ 490 millions CHF.

Les coûts annuels de fonctionnement et d'entretien (par exemple pour l'éclairage, la ventilation, le drainage et autres bâtiments etc.) et les dépenses de personnel (c'est-à-dire pour le personnel de contrôle, le personnel de patrouille, le personnel d'entretien (notamment lavage de murs), le personnel de péage etc.). Dans l'ensemble les coûts d'exploitation et de maintenance sont estimés à 5m à 10 millions de francs suisses par année et seront plus ou moins similaires selon l'option d'alignement sélectionnée.

Outre ce qui précède, des coûts périodiques " non routiniers " seront nécessaires pour des activités telles que la réparation des ventilateurs, l'entretien des pompes de vidange, le remplacement des éclairages, la réparation de la chaussée, la réparation après accidents et la mise à niveau des systèmes et équipements électroniques quand les nouvelles technologies deviennent disponibles pendant la durée de la vie du tunnel. Ceux-ci sont également susceptibles d'être semblables pour les deux variantes d'alignement.

La figure 18 donne une vue initiale du temps probable nécessaire pour la construction du tunnel ainsi que du phasage probable de chaque activité. Veuillez noter que ceci suppose un contrat pour la construction de l'ensemble des travaux du tunnel. Le phasage est basé sur le plan de la variante B (remblai) et suppose que :-

- a) Un des deux tunnels forés sera fini aussi tôt que possible pour permettre l'accès vers le bord du lac à la Pointe à la Bise.
- b) les déblais des deux tunnels forés et d'ailleurs sur le projet, pourront être réutilisés pour construire le remblai sous-marin, même si une station de criblage sera peut-être nécessaire pour éliminer les matières fines.
- c) la darse de préfabrication sera inondée et asséchée quatre fois pour la construction des éléments de tunnel immergés - avant d'être finalement transformée en un port de plaisance.

Le délai global de la conception et la construction devrait être d'environ 6 ans.

| Activité | An 1 | An 2 | An 3 | An 4 | An 5 | An 6 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Construction de la darse de préfabrication | ■ | | | | | |
| Stockage et Construction de des éléments | | ■ ■ | ■ ■ | | | |
| Terrassements Lacustre | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Jonction de Bellevue et du tranchée couverte Nord du Tunnel | | ■ | ■ | ■ | | |
| Pointe à la Bise Tunnel tranchée couverte | ■ | | | | | |
| Tunnel foré | | ■ | ■ | ■ | | |

| Activité | An 1 | An 2 | An 3 | An 4 | An 5 | An 6 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Placement des éléments | | | | ■ | | |
| Remplissage des éléments | | | | | ■ | |
| Travaux de finition et E & M | | | | | ■ | |

Figure 18 : Programme de construction préliminaire

11. Conclusions

1. La proposition de tunnel examinée dans le présent rapport présente une méthode de construction faisable et devrait permettre une liaison routière de haute qualité et durables.
2. La méthode préférée de tunnel immergé est susceptible d’être une section en béton armé rectangulaire « segmentaire » même si la méthode monolithique est également une option. Les études sismiques seront nécessaires avant de faire un choix définitif. Des mesures spéciales visant à empêcher des tassements excessifs lors des tremblement de terre seront peut-être nécessaire.
3. Des consultations préliminaire avec les entreprises seront nécessaire pour déterminer les incidences et les coûts probables de déploiement d’équipement de construction maritime dans la région du lac Léman.
4. Si le tunnel est construit à un niveau proche ou juste au-dessus du niveau de lit existant dans le lac, il sera l’un des tunnels immergés le plus profonds construits à ce jour au monde. La construction à de telles profondeurs est faisable, mais sera un formidable défi de génie civil qui se reflétera dans des coûts élevés de construction.
5. En construisant un remblai sous-marin, cela permettra que le tunnel soit élevé peut-être jusqu’à 20m jusqu’au point où le tunnel sera à une profondeur similaire de la plupart des tunnels immergés qui ont été construits à ce jour. Des études devront finaliser l’alignement vertical.
6. La méthode de formation de la fondation du tunnel nécessitera des études complémentaires. Avec l’alignement inférieur de tunnel (en fosse), les dépôts d’envasement sont susceptibles d’être un problème important, tant en ce qui concerne la quantité de vase déposé et la difficulté à l’enlever.
7. Avec l’alignement supérieur (sur le remblai), des études hydrauliques seront nécessaires pour déterminer les effets probables de la construction sur l’écoulement de l’eau du lac, l’envasement et l’augmentation possible des temps de rétention de crues. Si nécessaire, des ponceaux devront être intégrées dans le remblai.
8. Si l’alignement est surélevé, des quantités importantes de matériel de déblais de terrassement émanant d’ailleurs dans le projet pourrait être réutilisée dans le remblai et permettra de réduire considérablement la quantité de déblais à jeter. Selon l’alignement vertical, la quantité de matériel nécessaire pourrait accueillir tout le matériel de déblai utilisable, découlant de la construction de la liaison routière dans son ensemble. La permission de Genève GESDEC sera nécessaire si les déblais des tunnels et des tranchées couvertes au sud de la traversée du lac est destiné à être utilisé ailleurs.
9. En soulevant l’alignement, la pente maximale des rampes d’accès pourrait être légèrement réduite.

10. En soulevant l'alignement certaines des difficultés et des risques de construction associés aux sections les plus profondes du tunnel foré et la tranchée couverte pourront être réduites.
11. Un programme important de prétraitement du sol sous les fondations du tunnel immergé sera nécessaire quel que soit le niveau du tunnel. Lorsque le tunnel est construit dans une tranchée et remblayé la modélisation aux éléments finis suggère que les argiles molles de surface (vase) devront être enlevées et des palplanches pour retenir les côtés de l'excavation est proposée. L'amélioration des sols sous-jacents sera également nécessaire. Du mixage profond de ciment est proposé.
12. Lorsque le tunnel est construit sur un remblai, la modélisation par éléments finis suggère que les argiles molles de surface (vase) devront être enlevées et des palplanches pour retenir les côtés de l'excavation est proposé. Amélioration des sols sous-jacents sera également nécessaire. Des colonnes ballastes de sable (pour consolider les argiles) est proposé avec la construction du remblai par étapes.
13. L'utilisation de techniques de parois moulées peut réduire les coûts et les risques de la construction des tranchées couvertes.
14. Il n'y a pas suffisamment d'espace disponible pour construire une darse de préfabrication assez grande pour contenir tous les éléments du tunnel à la fois dans la zone proposée pour un port de plaisance, mais un plus petit bassin assez grand pour environ 6 éléments et recyclé quatre fois peut être possible. Un emplacement est suggéré dans ce rapport.
15. Les tunnels importants de ce type exigent des systèmes électriques et mécaniques extensifs pour leur exploitation en toute sécurité et leur entretien. Une indication des systèmes susceptibles d'être requis est donnée dans le présent rapport.
16. Une période de construction indicative est environ de 6 ans si un seul contrat de construction est retenu pour le tunnel entre Bellevue et Collonges.
17. Des économies en coûts de construction, jusqu'à 490 millions CHF, seraient réalisables si l'alignement vertical est soulevé et le tunnel placé sur un remblai sous-marin. Les coûts d'exploitation et d'entretien seront les mêmes. Une étude détaillée des aspects techniques et des aspects environnementaux seront nécessaires.

12. Recommandations

Bien que ce rapport d'évaluation donne une indication de ce qui serait possible, il est recommandé qu'une étude supplémentaire est effectuée pour confirmer les résultats préliminaires et pour définir l'alignement vertical optimal. Des consultations avec les entreprises sont également recommandées pour enquêter sur les implications de l'importation de matériel maritime de construction dans la région du lac Léman et à évaluer le coût probable.

Deux études distinctes sont recommandées comme décrit ci-dessous. La première se préoccupe de questions techniques et pourrait prendre 6 mois. La deuxième concerne la modélisation hydraulique et sa durée dépendra des données déjà existantes ou si des données supplémentaires seront à obtenir et s'il existe un modèle existant qui pourrait être utilisé. Dans le cas idéal ces deux études devraient être effectuées simultanément.

1. Étude d'ingénierie

Cela doit comprendre : -

- a) Une étude documentaire pour examiner toutes les données disponibles sur les études et les études réalisées à ce jour.
- b) La préparation des plans d'aménagement horizontaux et verticaux.

- c) La préparation de dessins en coupe transversale indicatifs
- d) Étude sismique (en consultation avec le Service sismologique suisse de l'ETH de Zurich).

- e) Les calculs structurels préliminaires (y compris les contrôles de flottabilité) pour le tunnel immergé.
- f) Modélisation par éléments finis des fondations pour le tunnel immergé.
- g) Etudes géotechniques et structurelles préliminaires pour les tunnels en tranchées couvertes.
- h) Études géotechniques préliminaires pour la darse de préfabrication proposé.
- i) Les consultations avec les entreprises (en particulier avec les entreprises avec l'expertise de dragage, de géotechnique et de travaux marine)
- j) Programme de construction.
- k) Estimation des coûts.

2. Étude environnementale

Cela devra comprendre :

- a) Relevé hydraulique des débits d'eau et des paramètres de qualité de l'eau (en particulier les solides en suspension) dans le lac Léman (si ce n'est déjà fait).
- b) Modélisation numérique pour établir les effets probables des travaux sur l'envasement et les débits des rivières.
- c) Examen environnemental préliminaire (écologique) de l'impact probable sur le milieu lacustre.
- d) Consultations avec l'administration lacustre pour confirmer les effets minimales escomptés sur la navigation.

13. Références

1. Traverse du Lac Contournement est de Geneva. Rapport de Synthèse Des Etudes de Faisabilité République et Canton de Geneva. Mars 2011.
2. Hiroki et al, Sand Compaction Pile Technology and its Performance in Both Sandy and Clayey Grounds. ISSMGE-TC 21 International Symposium of Ground Improvement IS-GI, Brussels 2012.
3. Kasper et al, 2009, Foundation of an Immersed Tunnel on Marine Clay improved by Cement Deep Mixing and Sand Compaction Piles. 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Alexandria, 2009.
4. He et al, 2016, Improvement of off-shore Immersed Tunnel Foundations in Soft Ground by Composite Foundation Method. GEOChina 2016 (Hong Kong-Zhuhai-Macao Tunnel)
5. Bouclément Autoroutier du Grand Genève, Point d'Avancement, Commission des Déplacements, République et Canton de Genève, le 15.12.2015.
6. Bouclément Autoroutier du Grand Genève, République et Canton de Genève, le 13 Mai 2016.

14. Remerciements

1. Dawson Construction Plant Ltd pour les Images d'installation de palplanche en eau profonde pour la récupération du Costa Concordia.

Rendel Ltd et Geos sont heureux d'avoir eu cette occasion de préparer ce rapport et de confirmer qu'ils seraient heureux d'assister avec les étapes ultérieures du projet si leur participation est désirée.

ANNEXE A: Séquence de construction type

Ce qui suit est une brève description d'une séquence de construction type pour un tunnel immergé segmentaire de section rectangulaire en béton.

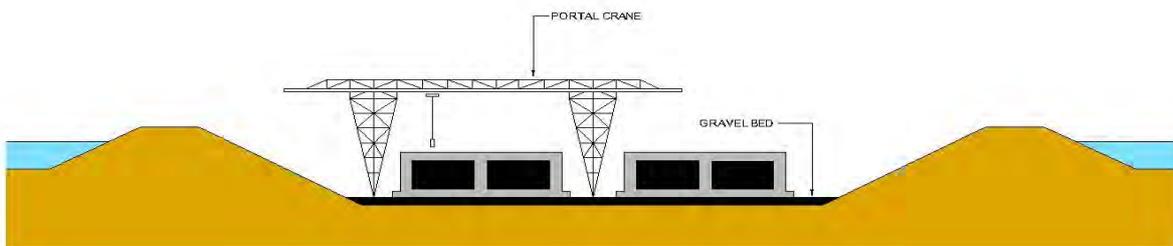


EXCAVER ET ASSÉCHER LE BASSIN DE COULÉE (1)

Les éléments du tunnel sont construits sur le sec dans une darse de préfabrication ou une cale sèche qui est assez profonde pour permettre les éléments à être soulevé du sol du bassin et flotté dehors avec leur dalle supérieure juste au-dessus du niveau de l'eau. L'arrangement idéal est un bassin situé immédiatement à côté du site du tunnel, mais il n'y a qu'aucune limite technique quant à quelle distance les éléments peuvent être remorquée du bassin tant qu'il y a une profondeur d'eau suffisante.



Les fondations du bassin sont préparées utilisant un lit de gravier, qui est nivelé pour correspondre au profil du tunnel à son emplacement définitif. Étant donné que les éléments du tunnel sont souvent courbés ou ont une forte pente dans leur emplacement définitif, le lit de gravier a souvent une forme complexe. Les joints de l'élément, qui sont à la verticale dans leur position finale sont souvent à un angle dans la darse. Les murs, la dalle supérieure et inférieure de chaque segment sont droites mais les segments eux-mêmes sont coudés pour s'adapter à la forme du profil final.



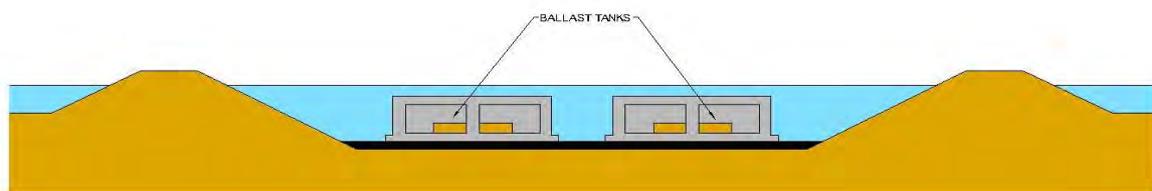
CONSTRUIRE LES UNITÉS ET FERMER LES ELEMENTS AVEC CLOISONS (2)

Chaque élément est divisé en segments distincts, qui sont environ 20 m de longueur. La dalle inférieure est habituellement coulée en premier et ensuite les murs et la dalle supérieure sont coulés en une deuxième phase. Un coffrage obturateur escamotable articulé est habituellement utilisé pour soutenir les faces internes des murs et la dalle supérieure et le coffrage est déplacé de segment à segment. Il se déplace généralement sur des rails qui sont posés dans la darse.

La fissuration thermique du béton est empêchée par la régulation de la température du béton durcissant en utilisant des thermocouples et un système de tuyaux en plastique interne, placé à la base des murs. Ceux-ci portent de l'eau de refroidissement à température contrôlée. Le but est de garder les efforts induit par le béton hydratant à moins de 70 % de l'augmentation de la résistance béton. De cette façon toute fissuration de rétrécissement est empêché et une membrane externe d'étanchéité n'est pas nécessaires.

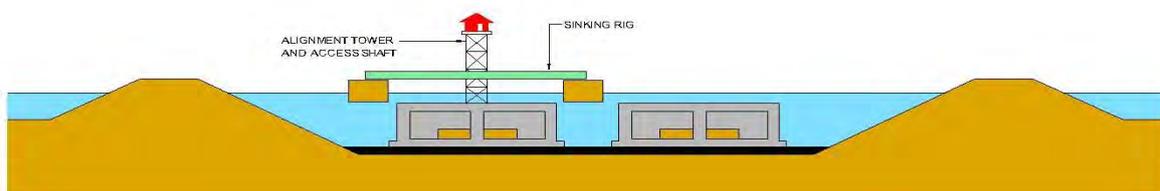
Les segments sont précontraints avec des toron de précontrainte longitudinale qui sont placés à l'intérieur de gaines dans la dalle inférieure et les murs. Les câbles ont seulement une fonction temporaire et ils sont coupés une fois que les éléments se trouvent dans leur position finale et ont été partiellement remblayés. Les joints entre les segments ont des clés de cisaillement en béton armé interne qui empêchent tout mouvement latéral (horizontal et vertical), mais permettent le mouvement longitudinal et la rotation longitudinale. De cette façon les éléments peuvent tolérer une certaine quantité de tassement vertical quand ils sont dans leur position finale.

Les joints entre les éléments sont formés avec deux joints d'étanchéité en caoutchouc : un joint extérieur de « Gina » qui forme une étanchéité temporaire et un joint intérieure « Omega » qui assure une étanchéité permanente. Les joints Gina sont montés dans la darse. Les joints de Omega sont montés beaucoup plus tard lorsque les éléments ont été placés. Chaque extrémité de chaque élément a un châssis en acier pour s'assurer que la face verticale du béton est coulée avec précision. Un des châssis en acier sur chaque élément prend en charge le joint Gina. Les extrémités des éléments sont équipées de cloisons qui scellent les éléments de l'infiltration d'eau.



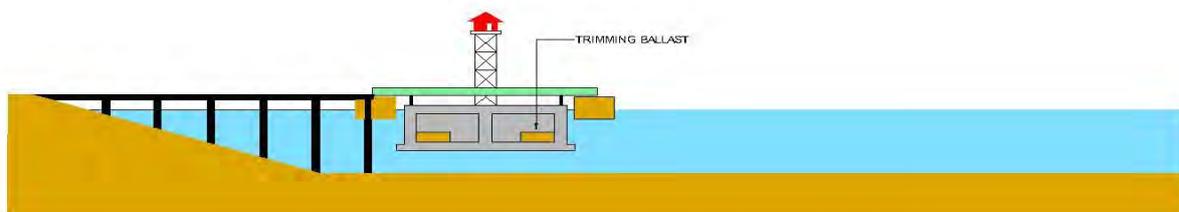
REMPILIR LES RÉSERVOIRS DE BALLAST ET LE BASSIN D'INONDATION (3)

Des citernes de ballast interne temporaires sont utilisées pour garder les éléments sur la base de la darse de précontrainte lorsqu'il est inondé. Lorsque le bassin est inondé, l'élément est contrôlé pour des fuites et puis autorisé à flotter par le pompage de l'eau dans hors des citernes de ballast. Lorsqu'elle est flottante il est préparé pour s'en assurer qu'il est flottant symétriquement avec le franc-bord désiré.

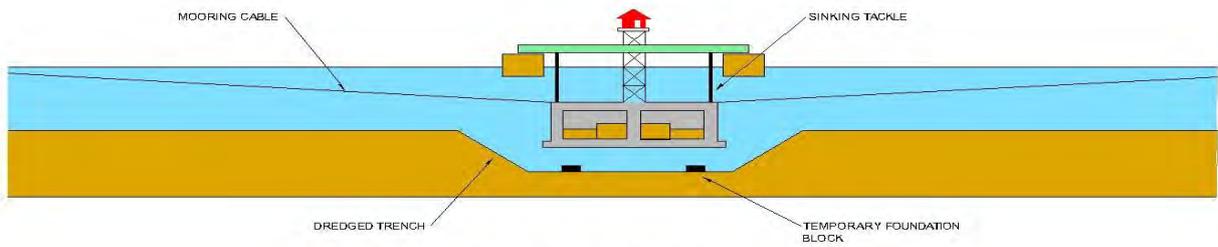


ATTACHER LES AMAREURS, LES TOURS ET LES CAGES (4)

Le moment venu, l'élément est remorqué hors du bassin et amarré au quai où il peut flotter dans toutes les marées. Il est équipé d'équipement tout en flottant sur le quai. Cet équipement comprend normalement une tour d'alignement, tour et cages d'accès, deux catamarans de naufrage (un à chaque extrémité), bollards et treuils et équipement interne notamment des vérins de tirage horizontal et des vérins de support vertical qui sont reliés aux pistons en passant par la dalle inférieure.



SOULEVER L'ÉLÉMENT, REMORQUAGE A L'EMBARCADAIE DE SERVICE, POSE DE L'ÉQUIPEMENT (5)



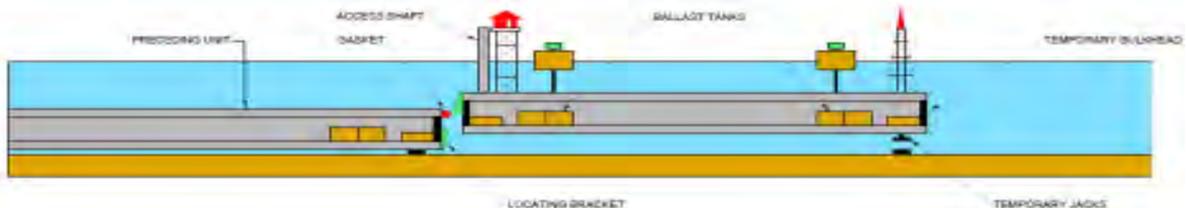
AMARER L'ÉLÉMENT ET COULAGE SUR LE LIT (6)



Pendant ce temps, la tranchée est draguée à travers le fleuve ou la mer et des blocs en béton sont placés dans le fond de la tranchée de fournir un soutien pour les vérins de fondation. En plus des pieux sont battus dans le lit de la rivière aux côtés de la tranchée et ces pieux sont utilisés pour ancrer les câbles nécessaires pour retenir l'élément dans la direction transversale dans la rivière avant qu'il soit ramenée en position.

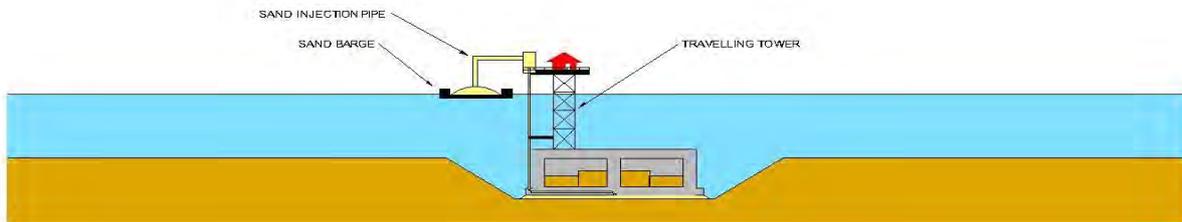
Le premier élément est remorqué en position et est tenu en place en utilisant des câbles d'amarrages. Les citernes de ballasts sont remplies pour qu'il devienne plus lourd que l'eau et est soutenue par des câbles sur les catamarans. Il est ensuite flotté dans son profil final de la tranchée et doucement abaissée en position sur les deux blocs.

Les vérins de traction sont attachés et l'élément est tiré doucement contre son élément adjacent (ou contre la tranchée couverte si c'est le premier élément.) Le joint Gina devient légèrement comprimé. À ce stade des robinets internes dans la cloison sont ouvertes pour permettre à l'eau dans l'espace entre les cloisons (une distance d'environ 2m) de s'écouler dans les éléments. Cette action mobilise la pression hydrostatique sur l'extrémité de la cloison qui comprime le joint et forme un joint étanche. Une camera CCTV est utilisée pour confirmer le point.



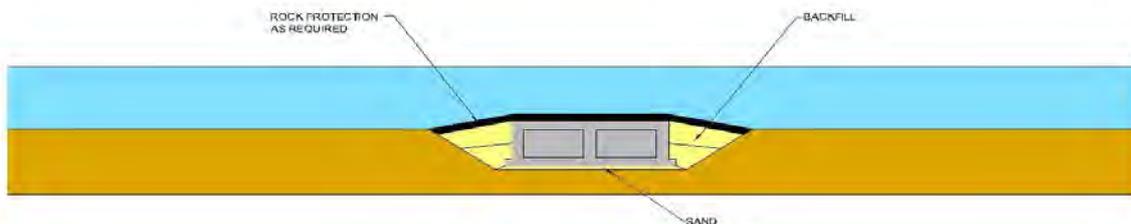
METTRE L'ÉLÉMENT EN PLACE ET ASSÉCHER LE JOINT (PRESSION HYDROSTATIQUE COMPRIE LE JOINT) (7)

Les éléments consécutifs sont placés à leur tour. Dès que le troisième élément est placé, l'injection de sable sous la base du premier élément peut débuter. Cela se fait par le placement de tuyaux externes pour les accouplements d'injection dans la surface horizontale de l'un des talons qui dépassent de la dalle inférieure. Elles sont liées aux gaines coulées à l'intérieur de la dalle inférieure et qui sortent par l'intermédiaire de la base de la dalle. Du sable spécial est ensuite pompée depuis des barges à travers les tuyaux pour remplir entièrement l'espace au-dessous de l'élément.



FORMER LA FONDATION, RELÂCHER LES VERINS, PLACER LE BALLAST PERMANENT À L'INTÉRIEUR (8)

Les vérins internes sont utilisés pour libérer l'élément sur le lit de sable et le remblayage sur les côtés de l'élément peut commencer. Le remplissage de verrouillage est placé symétriquement sur les deux côtés de l'élément pour empêcher les éléments de se déplacer latéralement. Le remplissage de chargement pour créer le profil final est placé par la suite.



REMPLISSAGE DU TUNNEL ET L'INSTALLER DES EQUIPEMENTS (9)

Lorsque tous les éléments ont été placés, des cales extérieures sont placées entre le dernier élément et la tranchée couverte pour conserver une force de compression longitudinale le long du tunnel et permettre le coulage du joint fermeture définitive d'être construite. Cela est fait utilisant du coffrage externe abaissé de la surface et conçu pour s'adapter autour des extrémités saillantes des cloisons avec joints en caoutchouc. Quand c'est asséché en drainant l'eau le joint final peut être coulé à l'intérieur.

Quand chaque élément a été placé sur son lit de sable et le remplissage de verrouillage est en place le processus de remplacer le ballast des citernes avec le ballast de béton permanent peut commencer. C'est une longue opération contrôlée soigneusement car un facteur de sécurité suffisant contre le soulèvement doit être préservé. En même temps les torons de précontrainte peuvent être coupés, les cloisons supprimées et les joints d'Omega installés. Lorsque tous les tassements ont eu lieu, les clés de cisaillement au niveau des immersion (les joints entre chaque élément) peuvent être coulés et les joints complétés de l'intérieur.

Les travaux de finition comprennent la construction du drainage et de la chaussée et la finition des murs, y compris la protection contre l'incendie et l'achèvement de la fosse de pompage. D'autres travaux comprennent l'installation de l'équipement électrique et mécanique, y compris le système de ventilation, panneaux de commande électriques, installations d'éclairage et d'urgence.

ANNEXE B : Tunnel en tranchée

Introduction

Des études géotechniques ont été effectuées pour l'alignement de la variante A, où le tunnel est construit dans une tranchée draguée dans le fond du lac et remblayé. Cet alignement constitue un défi technique pour l'installation de tunnel immergé et cela comprend l'identification un alignement de tunnel avec un gradient longitudinal tenable. Toutefois, afin d'évaluer la faisabilité de cette option, les études ont compris.

- Modélisation par éléments finis (FEM) de la séquence de construction proposée, basée sur la partie centrale de la traversée du lac au point le plus profond.
- Un examen de la méthode de construction proposée par rapport à ceux utilisés ailleurs pour d'autres projets
- Consultations initiales avec un sous-traitant spécialisé pour vérifier la faisabilité de la méthode proposée d'amélioration des sols.

La solution préférée implique la séquence de construction suivante :

- Étape 1 : Installez deux lignes de palplanches dans le lit du lac de chaque côté de l'alignement prévu.
- Étape 2 : Dragage des argiles semi-liquides alluvionnaires (vase) entre les murs
- Étape 3 : Améliorer le sol de fondation sous-jacent (argile limoneuse) en utilisant la technique Mixage Profond de Ciment (MPC).
- Étape 4 : Placer une chape de gravier d'épaisseur d'un mètre sur la surface du sol amélioré.
- Étape 5 : Placer le tunnel immergé dans la tranchée.
- Étape 6 : Remplir le tunnel et compléter l'enrochement de protection.

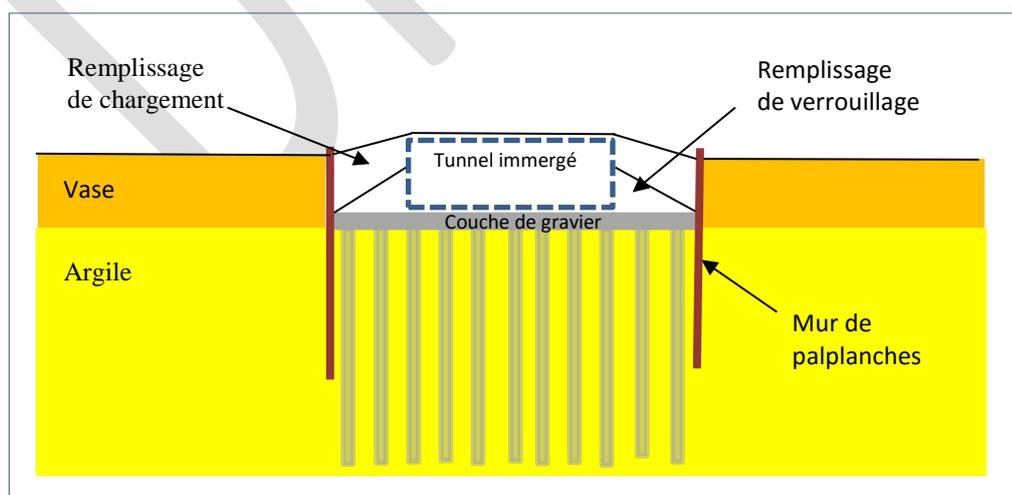


Figure B1 : Tunnel immergé dans une tranchée, soutenue par deux murs de palplanche

Une autre méthode pour retenir l'excavation des matériaux argile alluviale consiste à utiliser deux lignes de cordons pierreux placés de part et d'autre de l'alignement (Figure B2) mais cela est considéré comme étant plus cher. Le cordon pierreux imposerait une pression importante sur les couches sous-jacentes d'argileux mous résultera avec des tassements importants. Pour éviter cela, les couches du fond de lac, et autour de l'empreinte des cordons pierreux devra être améliorée tout d'abord utilisant colonnes MPC (Figure B2).

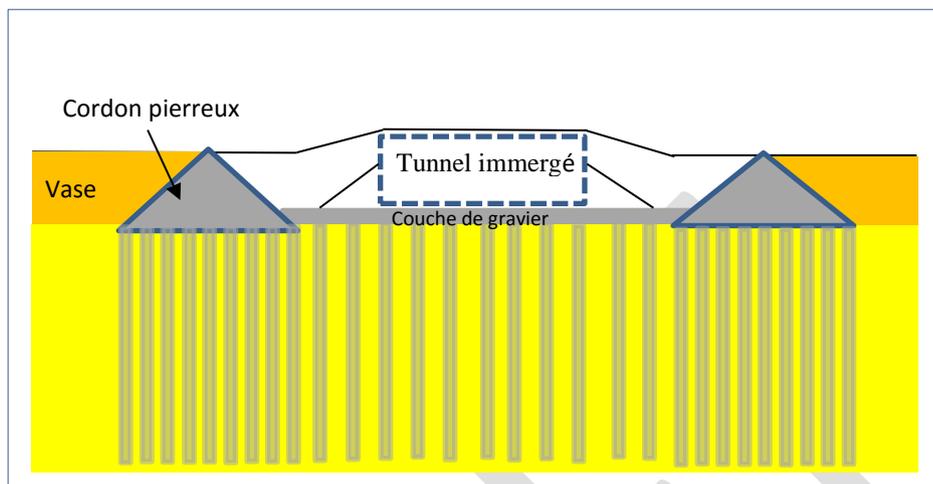


Figure B2 : Alternative utilisant des cordons pierreux (censés être plus cher)

Chaque étape est décrite ci-dessous :-

Étape 1 : Installer les palplanches

Les analyses géotechniques indiquent qu'en raison des propriétés géotechniques pauvres des couches moins profondes du lac, qu'il ne sera pas possible de créer des pentes dragués stables. Par conséquent, les limites du corridor dragage doivent être soutenues artificiellement. Les études indiquent que la méthode la plus efficace pour soutenir les pentes est avec deux rangées parallèles de palplanches, le long de la ligne du pied du remblai proposé. Ces murs seront physiquement séparés de la zone draguée provenant du milieu ambiant (Figure C1) et de stabiliser le bas du remblai. Les palplanches sont installées à partir d'une barge flottante dans environ 50m de profondeur d'eau et battus à environ 30m sous le niveau du lit. Il s'agit d'une méthode souvent utilisée dans l'industrie offshore à des profondeurs plus importantes que sur ce site. Les palplanches sont installées en utilisant des marteaux pneumatiques ou vibratoires sous-marine qui sont abaissés en position en utilisant des grues, assis sur une barge flottante.



Figure B3 : Installation de deux palplanches parallèle (section dans l'alignement de la traversée)

Cette méthode d'installation de palplanche en eau profonde a été adoptée récemment par l'entreprise britannique Dawson Construction Plant Ltd à 55m de profondeur d'eau et avec des palplanches de plus de 30m de long dans le cadre des travaux nécessaires pour récupérer le navire de croisière Costa Concordia en Italie. Les conditions sur le lac Léman (courants faibles du lac, sans marées, profondeur maximale de 50m d'eau, etc.) sont moins onéreuses que dans cet exemple, comme le sont les conditions géotechniques (couches molles au fond du lac, ce qui permet d'installer facilement les palplanches.) Les images suivantes montrent les palplanches et le matériel employé. Ils ont été fournis par Dawson Construction Plant Ltd.



Figure B4 : Images de l'installation des palplanches pour la récupération de la Costa Concordia

Les calculs préliminaires indiquent que des palplanches relativement légères (403 Larssen ou équivalent) seront suffisantes. Les palplanches auraient 32m de longueur avec 2m en saillie au-dessus du fond du lac. Ils sont installés depuis une barge flottante dans un tirant maximum de 40m de l'eau jusqu'à une profondeur de 30m sous le fond du lac. Les battages des palplanches s'effectuent en utilisant des marteaux pneumatiques ou vibratoires sous-marine abaissées en position utilisant des grues positionnées sur une barge flottante.

La modélisation de géotechnique par éléments finis des palplanches suggérés (Figure B5) montre que les palplanches seront séparées physiquement de la zone à être dragués des environs et démontre que les zones en dehors des palplanches tendent à se soulever.

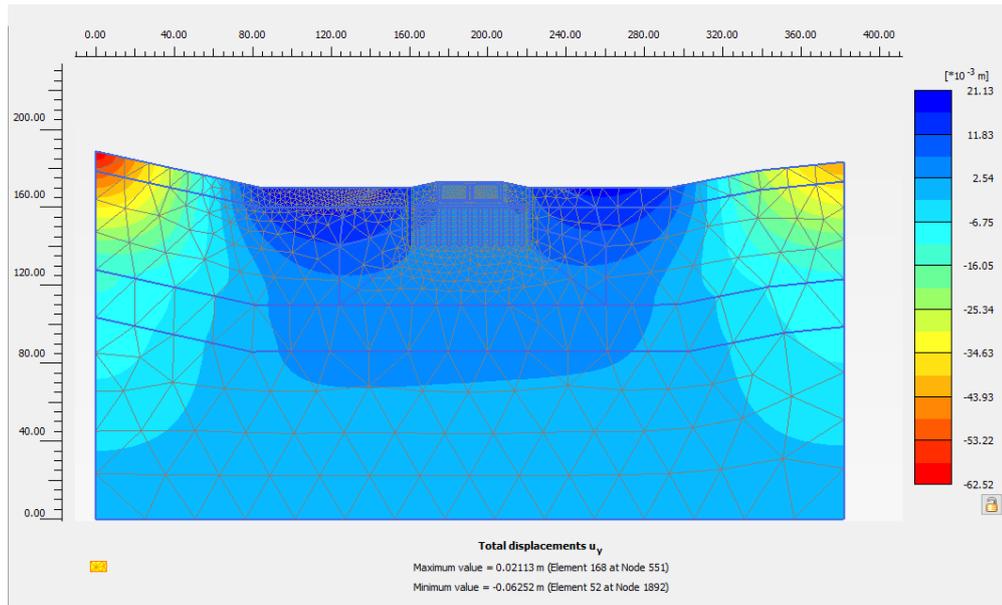


Figure B5 : Effet de l'installation des palplanches (la future position des colonnes de MPC et tunnel immergé est indiquée)

Étape 2 : Dragage de la vase

Les premiers 10m du fond du lac comprend des dépôts de vase molle qui ne conviennent pas pour la construction en raison de leur consistance presque « fluide » et sont pratiquement impossibles à être économiquement améliorée sur place. Ce matériel devra être retirée par le dragage et la section de palplanche dépassera de 2m le lit du lac pour empêcher les courants du lac de remblayer la zone draguée et contribuera à réduire la turbidité temporaire causée par les travaux de dragage. Les 2m qui dépassent le lit du lac aura également un effet bénéfique dans la prévention de l'érosion future l'affouillement du pied de la digue sous-marine. Il sera également utile pour limiter la propagation latérale de l'argile molle.



Figure B6 : Dragage et élimination des argiles molles

Des consultations avec les entreprises de dragage devra établir la méthode de dragage et une drague ou un dragueur hydrodynamique pourraient être utilisées. La décision finale dépendra de la location des déblais de dragage. La location logique est dans les eaux profondes du lac Léman, sous réserve de l'approbation environnementale. Figure B4, montre un dragueur placé par grue sur une barge dans le réservoir de Längental en Autriche pour enlever des argiles molles (semblables à la vase) du fond du bassin.



Figure B7 : Drague mis en place par grue sur une barge dans le réservoir de Längental, Autriche

La modélisation par éléments finis des travaux de dragage (Figure B5) indique que les travaux de dragage provoqueront un soulèvement du sol (jusqu'à 60mm environ). En raison de l'effet de soulèvement les palplanches subiront des déformations mais soutiendront en toute sécurité les côtés de l'excavation.

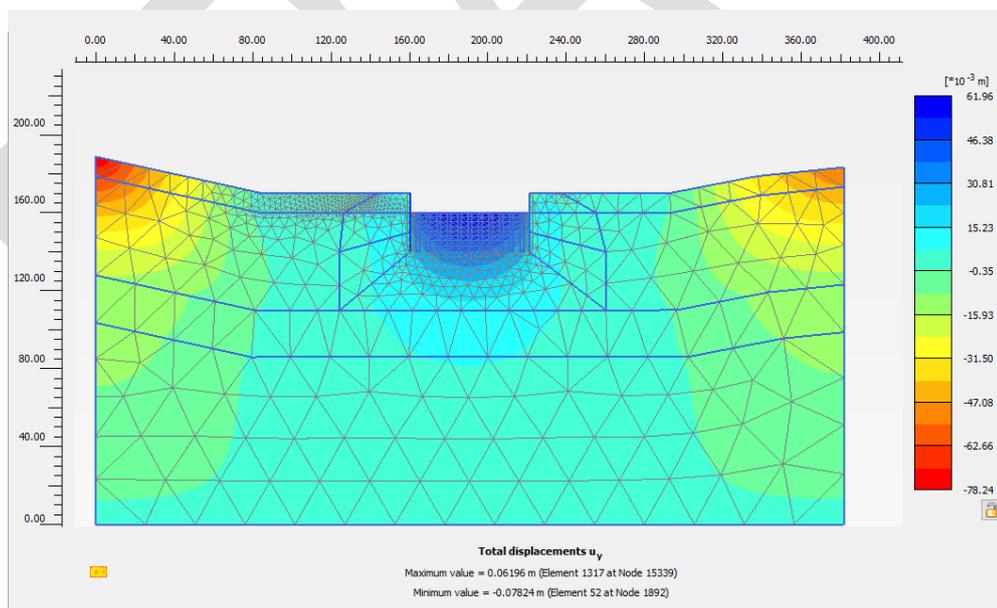


Figure B8 : Analyse du site après avoir achevé les travaux de dragage.

Etape 3 : Travaux d'amélioration du sol utilisant Mélange Profond de Ciment (MPC)

Pour fonder le tunnel immergé sur la couche argileuse molle il faudra améliorer les propriétés géotechniques des sols en place autrement le placement du tunnel immergé et le remblayage se traduirait par une augmentation de la pression imposée sur les couches argileuses qui mèneraient à la consolidation et des tassements importants à long terme.

Une étude des techniques d'amélioration de sol disponibles applicables aux conditions au sol spécifiques de ce site indique que la méthode la plus efficace, pour ce type de construction, serait d'utiliser Mélange Profond de Ciment (MPC). Cette méthode consiste à créer des « colonnes » de sol amélioré. Les colonnes sont formées en utilisant une longue tarière pour forer le sol argileux jusqu'à la profondeur requise. Lorsque la tarière est retirée le coulis de ciment est injecté dans l'espace précédemment occupé par les pales de la tarière, laissant une colonne de sol renforcée au ciment.

Cette méthode donne une meilleure capacité de charge des sols existants. Une fois complètement durci, les colonnes seront en mesure de supporter des efforts beaucoup plus élevés que les fonds marins non traitée. Le diamètre, l'espacement et la caractéristique des colonnes seront sélectionnés pour améliorer le sol tel qu'il sera en mesure de tolérer les efforts imposés par le tunnel immergé et de limiter les tassements à des niveaux acceptable.

L'utilisation de piles MPC permettra également de créer une graduation régulière de la rigidité du sol aux endroits où le sol sous le tunnel change d'une argile molle aux couches plus rigides aux deux extrémités du tunnel au bord du lac. Ceci permet de réduire le tassement différentiel sur ces zones.

L'arrangement des travaux d'amélioration de sol envisagé actuellement prévoit des colonnes MPC de diamètre de 900mm qui seront installé 4 par 4 sur une grille carrée (1,9 x 1,9 m), chaque grille espace de 5,3m environ. Les colonnes MPC sont installés, en utilisant un engin de battages de pieux placé sur une barge flottante, (Figure B6).

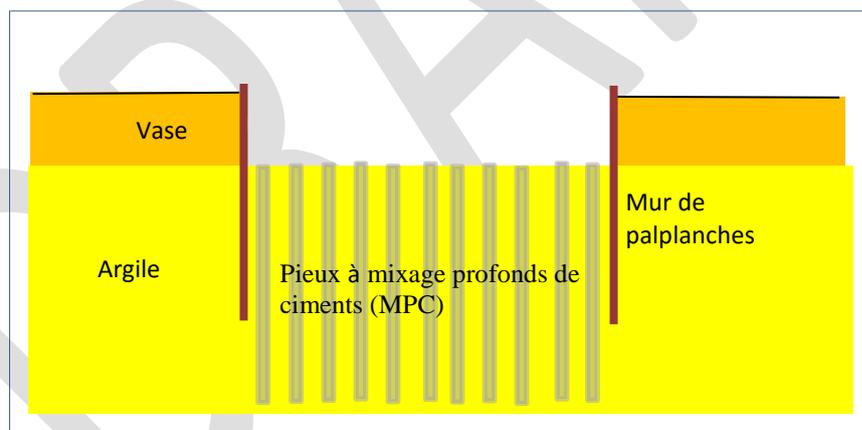


Figure B9. Les travaux d'amélioration de sol MPC proposés.

Cette méthode d'amélioration de sol est souvent utilisée à travers le monde entier pour améliorer les sols argileux mous y compris dans la construction de tunnel immergé. L'utilisation des colonnes du MPC pour améliorer les sols argileux sous la mer a commencé dans les années 70 au Japon et en Suède. Des exemples notables où cette technique a été utilisée sont : l'expansion de l'aéroport International de Hong Kong et de l'aéroport Haneda de Tokyo. La méthode est maintenant utilisée dans le monde entier principalement pour les régimes de remise en état et près des côtes terrestres.

Cette méthode a récemment été utilisée dans des argiles marines molles (comme ceux trouvés dans le lac Léman) pour le tunnel de Busan George Tunnel en Corée du Sud (référence 3). Dans ce cas, des colonnes MCP de 900mm ont été installées en groupes de quatre et en bandes parallèles espacées d'environ de 5m.

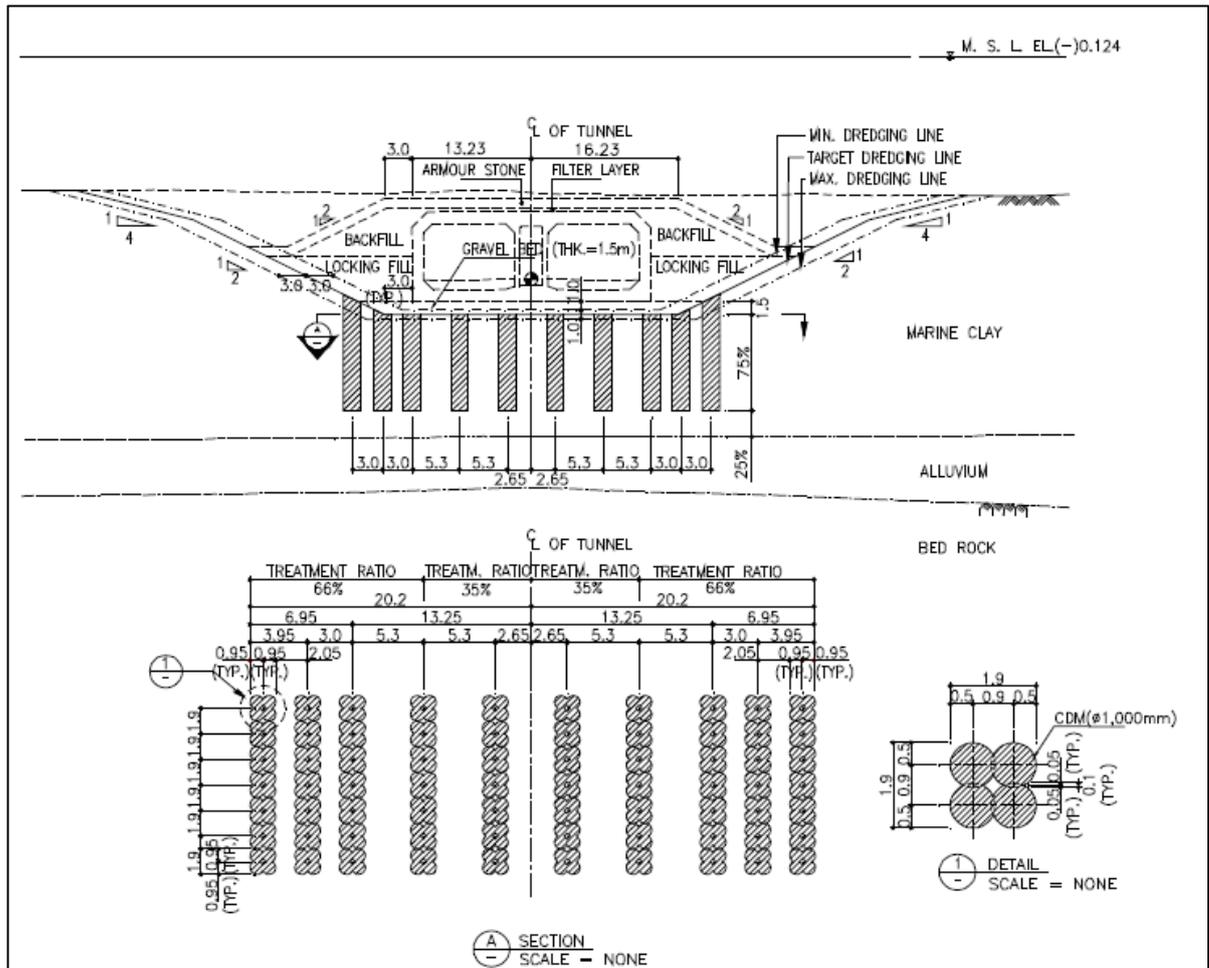


Figure B10 : Construction schématique du MPC (après Hiroki et al, 2012, Réf : 2)

La modélisation par éléments finis de ces travaux (Figure B8) démontre que le MPC va raidir le sol argileux. Cela est démontré par le fait que le soulèvement du fond de la zone draguée devient une zone de tassement. Le tassement causé par l'installation du MPC sera d'environ 30mm.

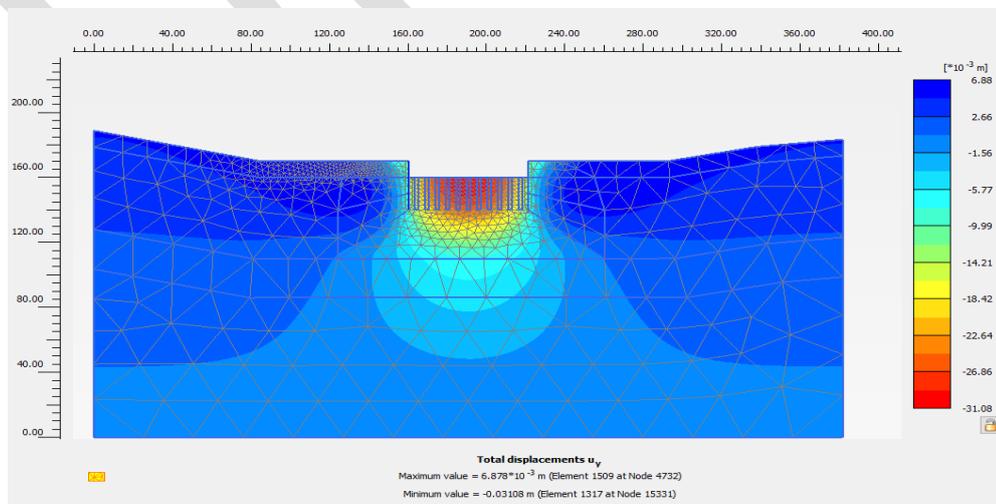


Figure B11 : Modélisation par éléments finis du site après les travaux de MPC

Etape 4 : Mise en place de la chape de gravier

Dès que possible après que les colonnes de MPC sont installées, une chape épaisse de 1m de gravier est placée sur la surface de déblais de dragage (Figure B9.) Le but de cette couche et de régler la surface sur laquelle le tunnel est placé et permet une répartition homogène des efforts entre les colonnes rigides de MPC et le sol moins rigide entre les colonnes.

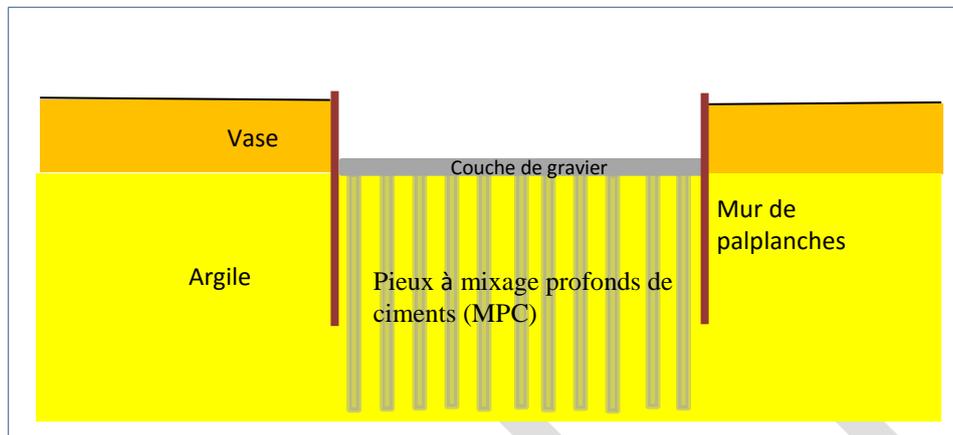


Figure B12 : Placement de la chape de gravier au fond de la tranchée.

La modélisation des éléments finis de ces travaux (Figure B10) montre que le poids de la chape de gravier de 1m est approximativement semblable à la vase draguée épais de 10m, donc il y aura aucun effet significatif en termes de tassement.

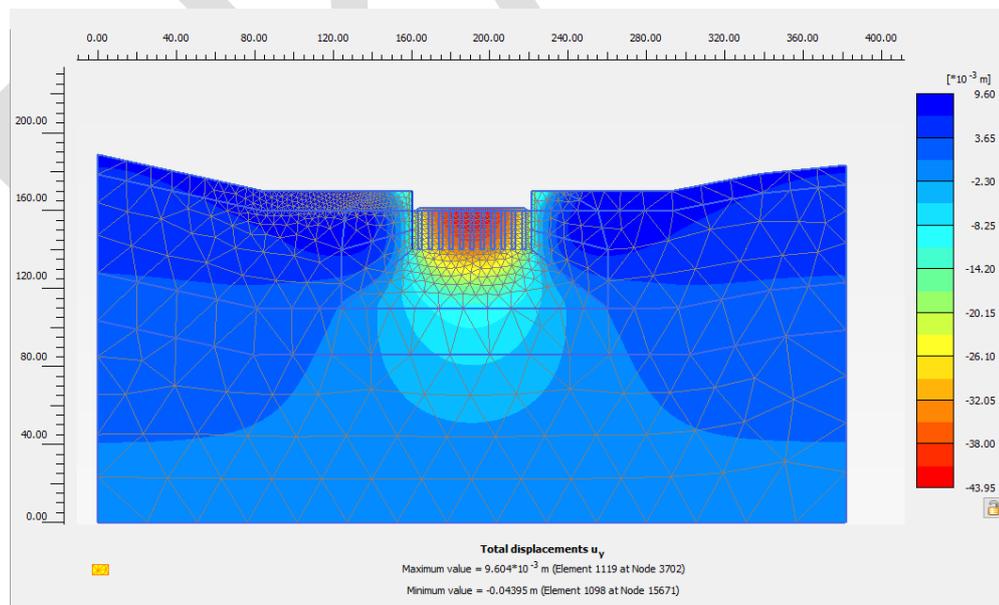


Figure B13 : Modélisation par éléments Fins du placement de la chape de gravier sur la zone de dragage.

Étape 5 : La placement du tunnel

Pendant cette phase de construction, la boîte de tunnel immergé sont mise en position et abaissé sur la fondation (Figure B11)

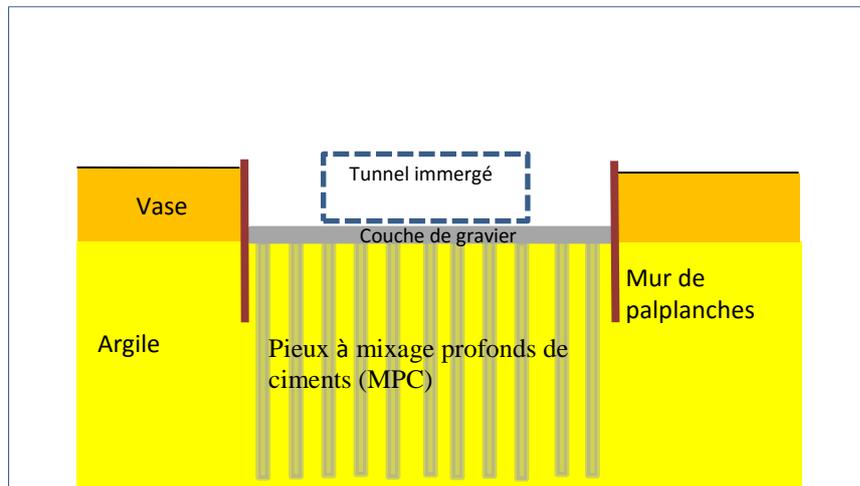


Figure B14. Le placement du tunnel immergé dans la tranchée

La modélisation par éléments finis de cette phase (Figure B12) montre que la mise en place du tunnel va imposer une répartition homogène de pression sur toute la largeur de la zone draguée (c'est-à-dire la zone entre les palplanches). Le résultat de cela, entraîne un tassement de l'ordre de 35mm sous le tunnel.

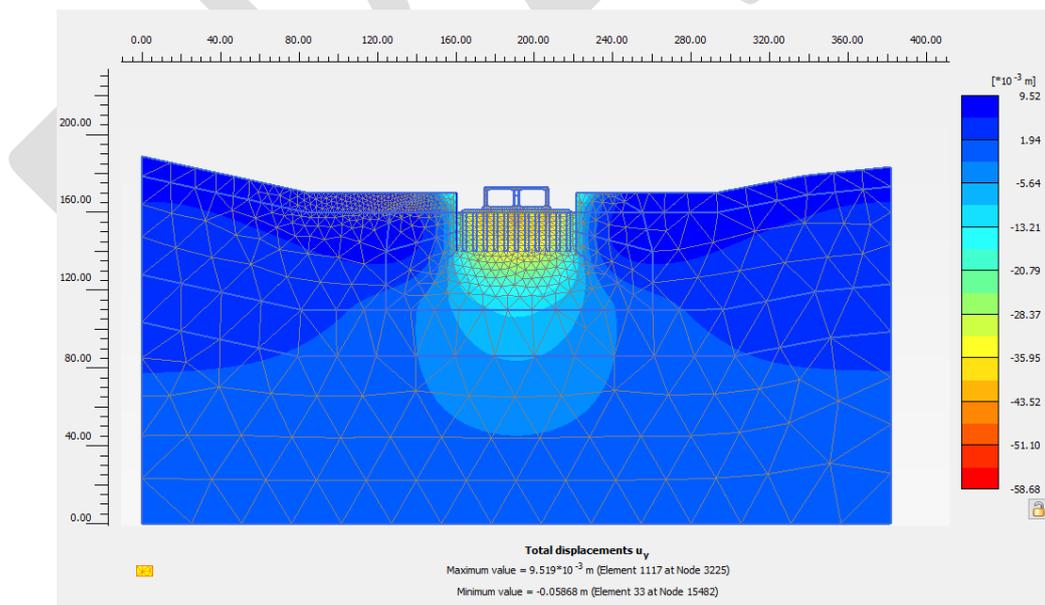


Figure B15 : Analyse aux élément finis après le placement du tunnel immergé

Etape 6 : Remblayage du tunnel

Afin de maintenir le tunnel en place et de la protéger, le remplissage de verrouillage est placé sur les côtés des éléments de tunnel et puis le remblayage de chargement et la protection rocheuse (Figure B13.)

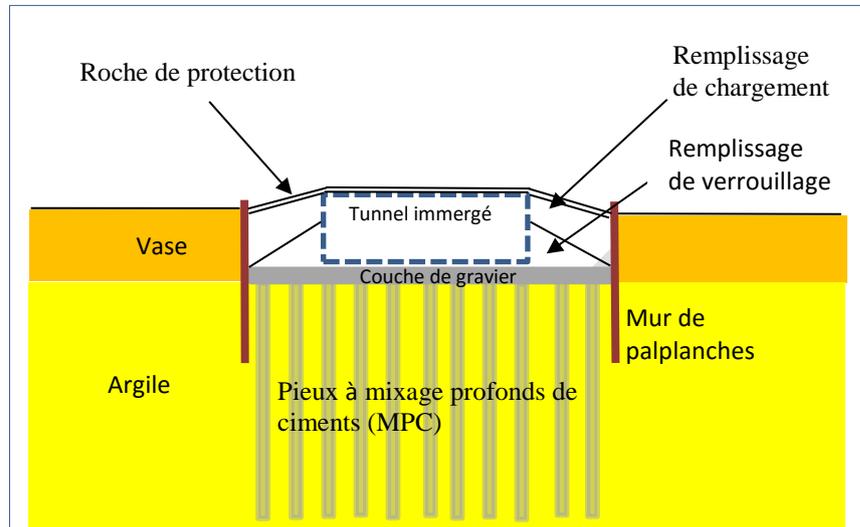


Figure B16 : Placement du remblai

La modélisation par éléments finis de cette étape de construction (Figures B14 et B15) montre que la mise en place du remblai de verrouillage, suivie du placement du remplissage sur la dalle supérieure du tunnel et les finitions ultérieures interne (construction de chaussées, installations M & E, etc.) résulte en un tassement cumulé d'environ 20mm à la base du tunnel.

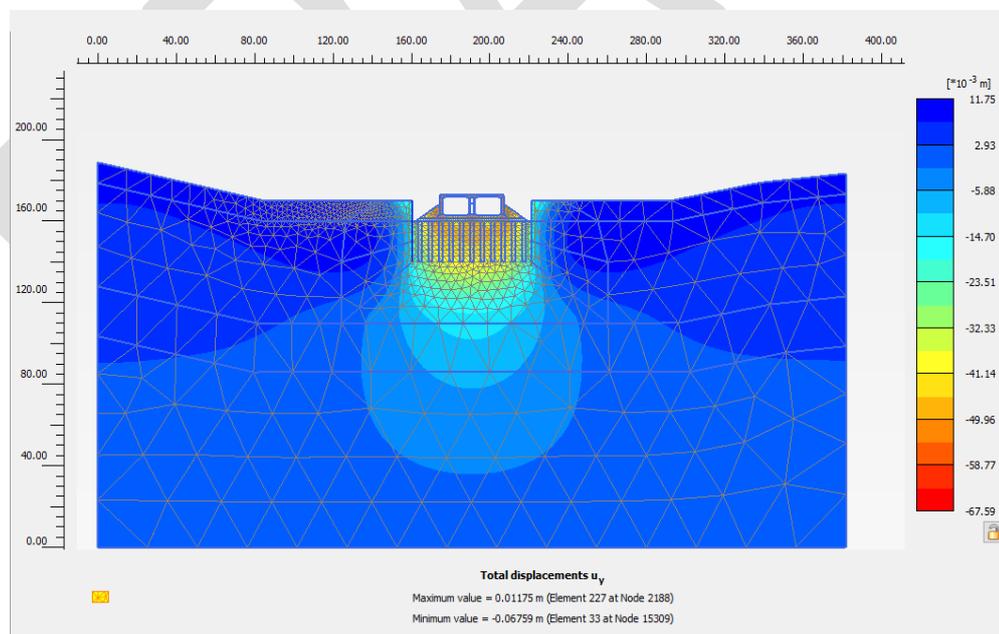


Figure B17 : Tassement et déformation de la zone d'étude immédiatement après l'installation du tunnel immergé y compris le remplissage de verrouillage

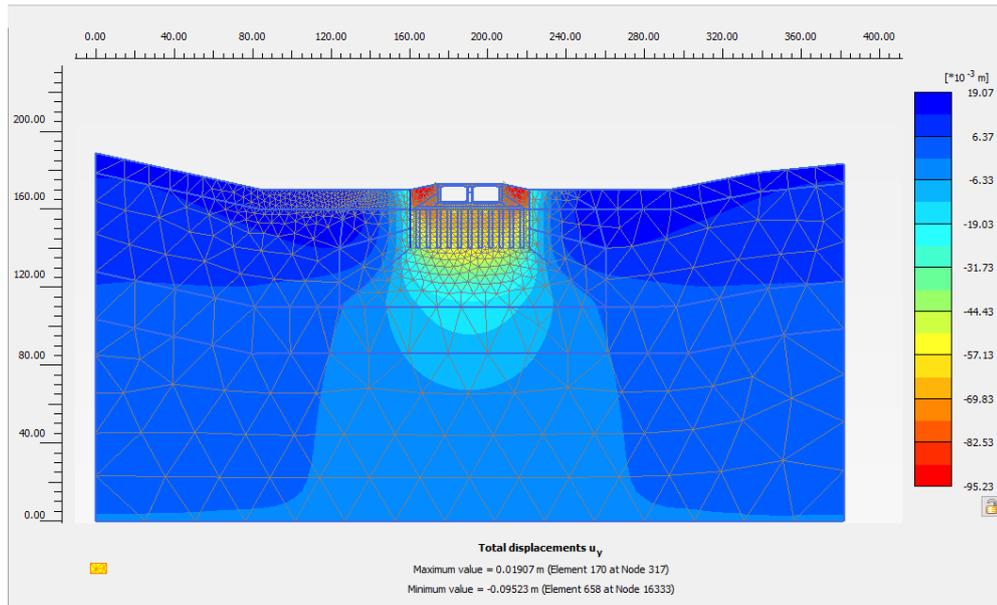


Figure B18 : Tassement et déformation de la zone d'étude immédiatement après l'achèvement du tunnel (y compris l'ameublement, trottoirs, etc..).

Le tassement sous la base du tunnel après 120 ans (Figure B16) est de l'ordre de 40mm et parce que les éléments de béton préfabriqué du tunnel seront installés dans un délai de quelques mois, le tassement différentiel long terme entre les sections adjacentes du tunnel sera de l'ordre de 10 à 20mm. Ce tassement différentiel est dans la tolérance de ce type d'infrastructure.

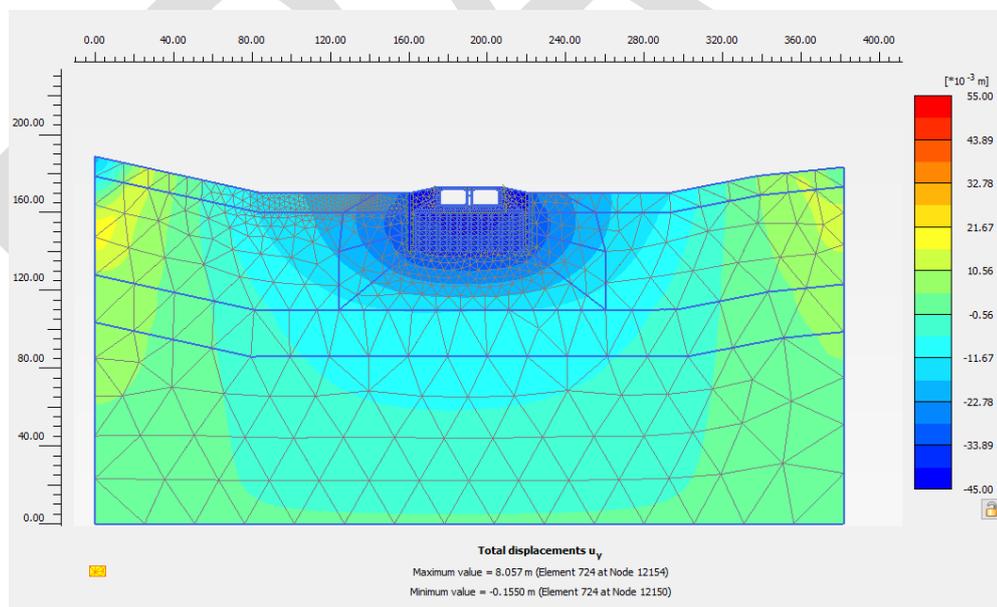


Figure B19 : Tassement à long terme et déformation (120 ans après l'achèvement des travaux) de la zone d'étude.

ANNEXE C : Tunnel sur remblai

Introduction

Le remblai vise à réduire le coût et la complexité des travaux tunnel immergé, réduire les gradients des approches de chaque côté et de réutiliser le sol excavé d'ailleurs sur la route de liaison afin d'éviter le besoin de transport excessif et réduire les dépôts de déblai hors du chantier.

Afin d'évaluer la faisabilité technique de cette solution en termes de constructibilité, de performance à court et à long terme et de la durée des travaux, on a procédé comme suit :

- Une modélisation par éléments finis de la séquence de construction proposée.
- Un examen des méthodes de construction proposées pour la construction par rapport à celles adoptées ailleurs.
- Des consultations avec un sous-traitant spécialisé pour vérifier l'aspect pratique des travaux d'amélioration des sols proposés.

Les travaux de modélisation ont été réalisés pour la partie la plus élevée du remblai près du centre du lac. En raison de ses dimensions, en termes de hauteur et d'empreinte, cela représente l'emplacement le plus difficile le long de l'alignement. La séquence est la suivante : -

- Étape 1 : Installez deux lignes de palplanches dans le lit du lac de chaque côté de l'alignement prévu.
- Étape 2 : Dragage des argiles semi-liquides alluvionnaires (vase) entre les murs
- Étape 3 : Placer une chape gravier sur la surface draguée ;
- Étape 4 : Réaliser des travaux d'amélioration des sols ;
- Étape 5 : Construire le remblai par étapes permettant de consolider et de renforcer les argiles ci-dessous ;
- Étape 6 : Remplir le tunnel et compléter l'enrochement de protection.

Chaque étape est décrite en détail ci-dessous ainsi que les résultats de la modélisation.

Étape 1 : Installer les palplanches

Les analyses géotechniques indiquent qu'en raison des propriétés géotechniques pauvres des couches moins profondes du lac, qu'il ne sera pas possible de créer des pentes dragués stables. Par conséquent, les limites du corridor de dragage doivent être soutenues artificiellement. Les études indiquent que la méthode la plus efficace pour soutenir les pentes est avec deux rangées parallèles de palplanches, le long de la ligne du pied du remblai proposé. Ces murs seront physiquement séparés la zone draguée provenant du milieu ambiant (Figure C1) et de stabiliser le bas du remblai. Ces murs seront physiquement séparés de la zone draguée provenant du milieu ambiant (Figure C1) et de stabiliser le bas du remblai. Les palplanches sont installées à partir d'une barge flottante dans environ 50m de profondeur d'eau et battus à environ 30m sous le niveau du lit. Il s'agit d'une méthode souvent utilisée dans l'industrie offshore à des profondeurs plus importantes que sur ce site. Les palplanches sont installées en utilisant des marteaux pneumatiques ou vibratoires sous-marine qui sont abaissés en position en utilisant des grues, assis sur une barge flottante.

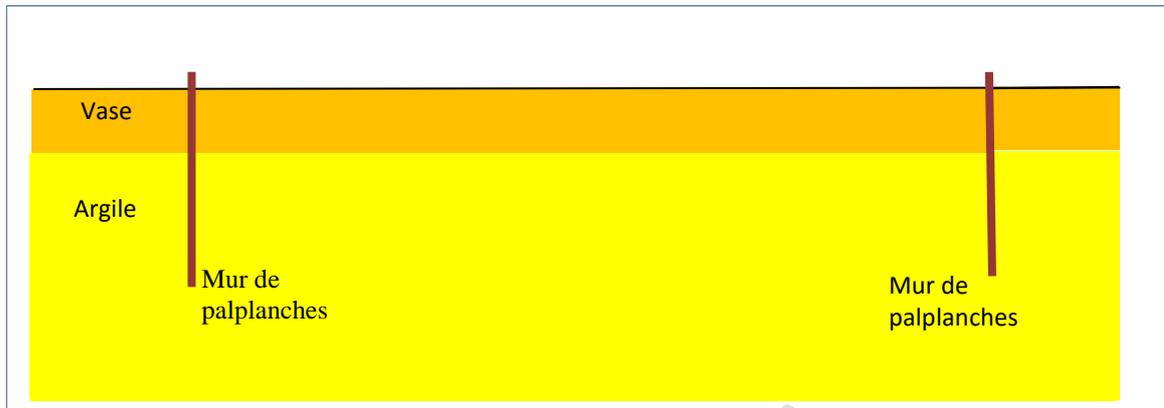


Figure C1 : Installation de deux palplanches parallèle (section sur l'alignement de la traversée)

Cette méthode d'installation de palplanche en eau profonde a été adoptée récemment par l'entreprise britannique Dawson Construction Plant Ltd à 55m de profondeur d'eau et avec des palplanches de plus de 30m de long dans le cadre des travaux nécessaires pour récupérer le navire de croisière Costa Concordia en Italie. Les conditions sur le lac Léman (courants faibles du lac, sans marées, profondeur maximale de 50m d'eau, etc.) sont moins onéreuses que dans cet exemple, comme le sont les conditions géotechniques (couches molles au fond du lac, ce qui permet d'installer facilement les palplanches.) Les images suivantes montrent les palplanches et le matériel employé. Ils ont été fournis par Dawson Construction Plant Ltd.



Figure C2 : Images de l'installation des palplanches pour la récupération de la Costa Concordia

Les calculs préliminaires indiquent que des palplanches relativement légères (403 Larssen ou équivalent) seront suffisantes. Les palplanches auraient 32m de longueur avec 2m en saillie au-dessus du fond du lac.

Étape 2 : Dragage de la vase

Les premiers 10m du fond du lac comprend des dépôts de vase molle qui ne conviennent pas pour la construction en raison de leur consistance presque « fluide » et sont pratiquement impossibles à être économiquement améliorée sur place. Ce matériel devra être retirée par le dragage et la section de palplanche dépassera de 2m le lit du lac pour empêcher les courants du lac de remblayer la zone draguée et contribuera à réduire la turbidité temporaire causée par les travaux de dragage. Les 2m qui dépassent le lit du lac aura également un effet bénéfique dans la prévention de l'érosion future l'affouillement du pied de la digue sous-marine. Il sera également utile pour limiter la propagation latérale de l'argile molle.

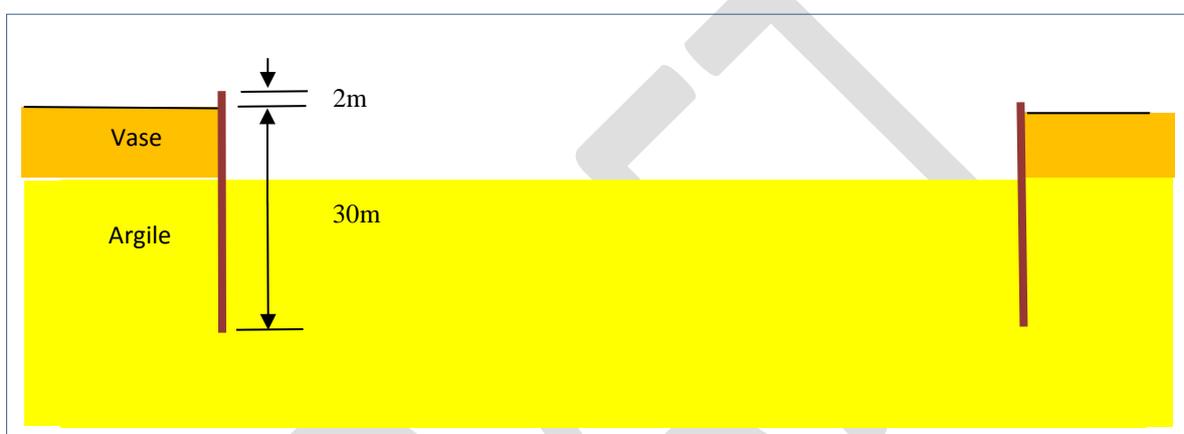


Figure C3 : Dragage et élimination des argiles molles

Des consultations avec les entreprises de dragage devra établir la méthode de dragage et une drague ou un dragueur hydrodynamique pourraient être utilisées. La décision finale dépendra de la location des déblais de dragage. La location logique est dans les eaux profondes du lac Léman, sous réserve de l'approbation environnementale. Figure B4, montre un dragueur placé par grue sur une barge dans le réservoir de Längental en Autriche pour enlever des argiles molles (semblables à la vase) du fond du bassin.



Figure C4 : Drague mis en place par grue sur une barge dans le réservoir de Längental, Autriche

La modélisation par éléments finis des travaux de dragage (Figure C5) indique que les travaux de dragage provoqueront un soulèvement du sol (jusqu'à 60mm environ). En raison de l'effet de soulèvement les palplanches subiront des déformations mais soutiendront en toute sécurité les côtés de l'excavation.

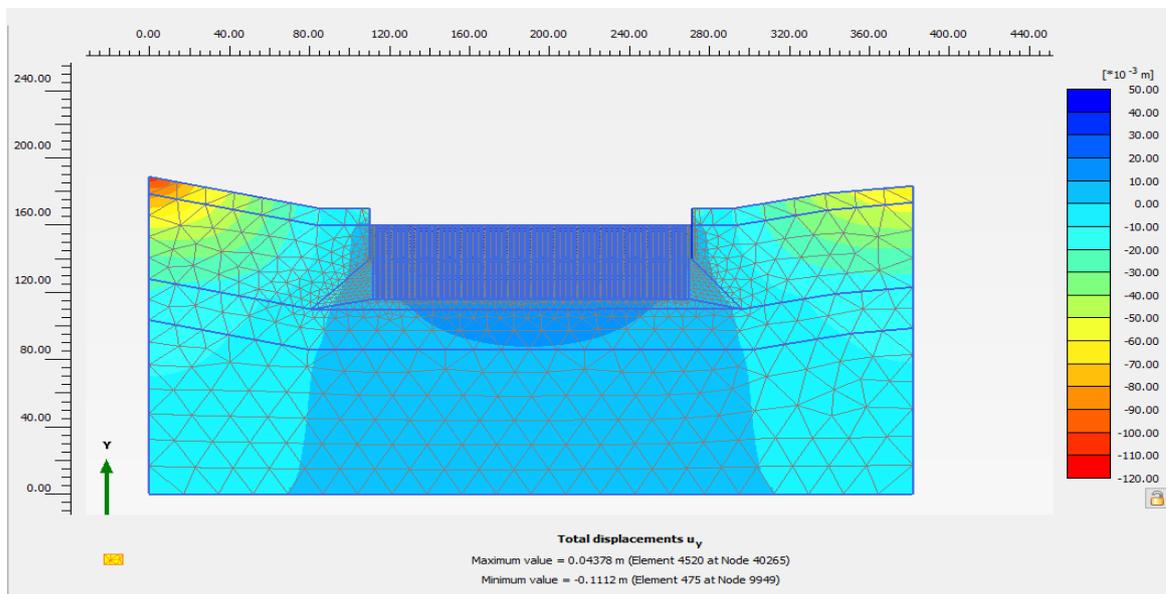


Figure C5 : Analyse du site après avoir achevé les travaux de dragage.

Etape 3 : Mise en place de la chape de gravier

Dès que possible après les travaux de dragage, une couche de gravier épaisse de 1m est placée sur la surface de déblais de dragage (Figure C6). Le but de cette couche est de faciliter les travaux d'amélioration du sol et de recouvrir les couches dessous pour prévenir la détérioration de ses propriétés géotechniques. Comme le poids de cette chape épaisse d'un mètre environ est semblable à celle de la vase draguée épaisse de 10m, donc il y aura aucun effet significatif en termes de tassement.

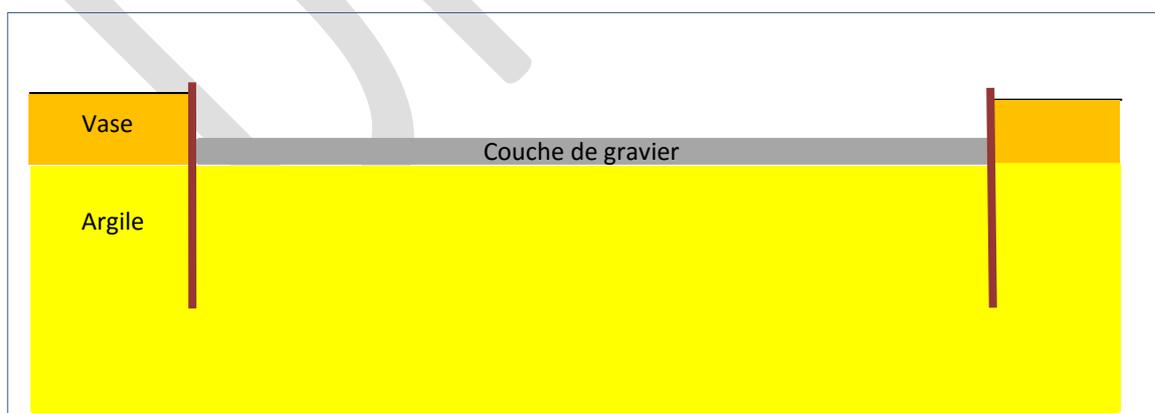


Figure C6 : Placement de la chape de gravier sur la surface de déblais de dragage.

Etape 4 : Travaux d'amélioration de sol

Les travaux d'amélioration de sol dans les sols sous-jacents sont tenus de fournir une base appropriée pour le remblai. Sans cela la construction de la digue se traduirait par des tassements inacceptables qui continuerait pendant plusieurs décennies après l'achèvement des travaux et il y a aussi un risque inacceptable de l'effondrement de la fondation lors de la construction. Un examen des différentes méthodes d'amélioration a été réalisé et a pris en compte les conditions de spécifique du sol à cet endroit et la méthode préférée consiste à utiliser des Colonnes Ballastées de Sable (CBS).

La méthode consiste à installer des colonnes de sable compacté, à proximité l'un de l'autre qui créent des chemins pour la dissipation de la pression d'eau interstitielle du sol argileux de faible perméabilité ; cela permet la consolidation des sols qui se produire jusqu'à deux ordres de grandeur plus rapidement qui se produirait naturellement (Figure C7.) La méthode CBS est conçue pour augmenter la rigidité globale du sol in situ et ainsi résoudre des problèmes de tassement et l'effondrement de la fondation.

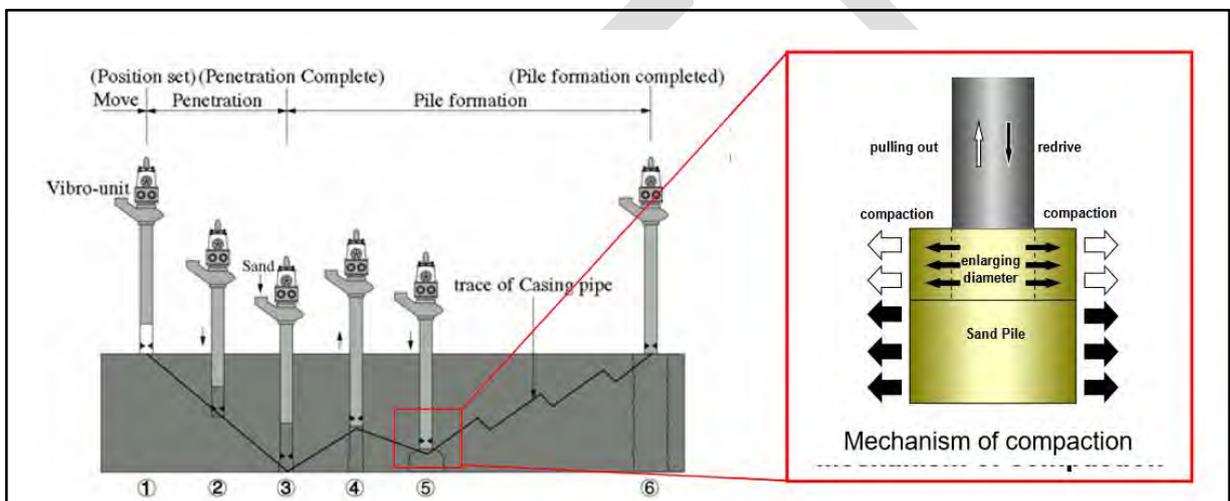


Figure C7 : Construction schématique du CBS (Voir Réf. 2 pour source)

Les colonnes sont créées en poussant, et vibrant un mandrin dans les argiles et en versant du sable en même temps de l'extraction du mandrine. La disposition actuellement envisagée des CBS (pour la partie plus haute de remblai) sera des clones de 44m de long, 1,9m de diamètre et espaces de centre à centre de 2,9m dans la zone de du remblai, (Figure C8). Lorsque le remblai réduit en hauteur, l'espacement des CBS sera réduit.

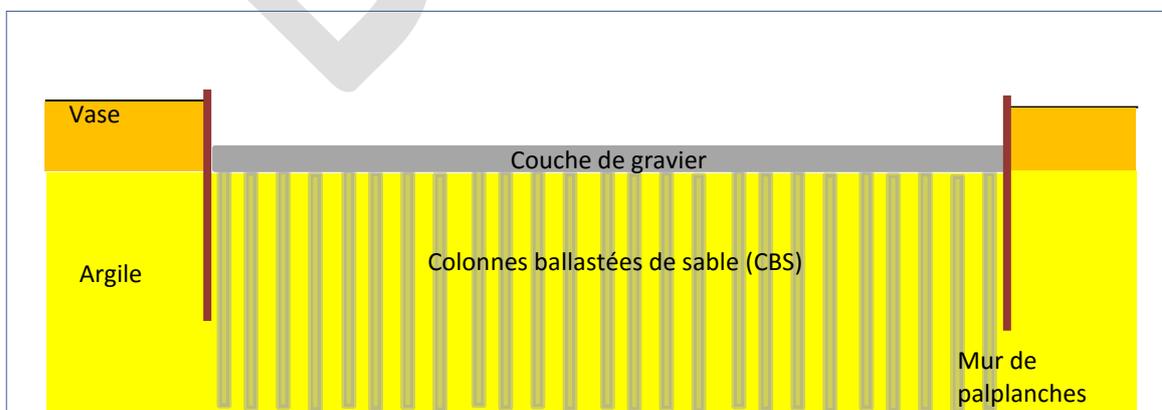


Figure C8 : Travaux d'amélioration des sols utilisant CBS.

Cette méthode d'amélioration de sol est bien rodée et a été utilisée largement dans le monde entier pour améliorer les sols argileux mou, y compris ceux sous les tunnels immergés. Par exemple, il a été récemment utilisé dans la construction d'une partie du tunnel immergé de Busan-Geoje longs de 3,2 km en Corée du Sud (Réf. 3). Ce projet a plusieurs autres similitudes à la traversée du lac Léman, une partie de l'alignement du tunnel est placé sur un remblai sous-marin fondé sur des argiles molles. Des pieux de sable compacté (Kitazume 2005 ; Kasper et al. 2009 Réf.3) ont été choisis afin de permettre un gain de consolidation rapide et un gain de la résistance de l'argile et permet la construction de remblai rapidement entre les saisons de typhon. Un autre avantage était de présenter un comportement élastique favorable de la fondation sous les effets sismique. Une section type des travaux de la présentation de CBS est illustrée à la Figure C9.

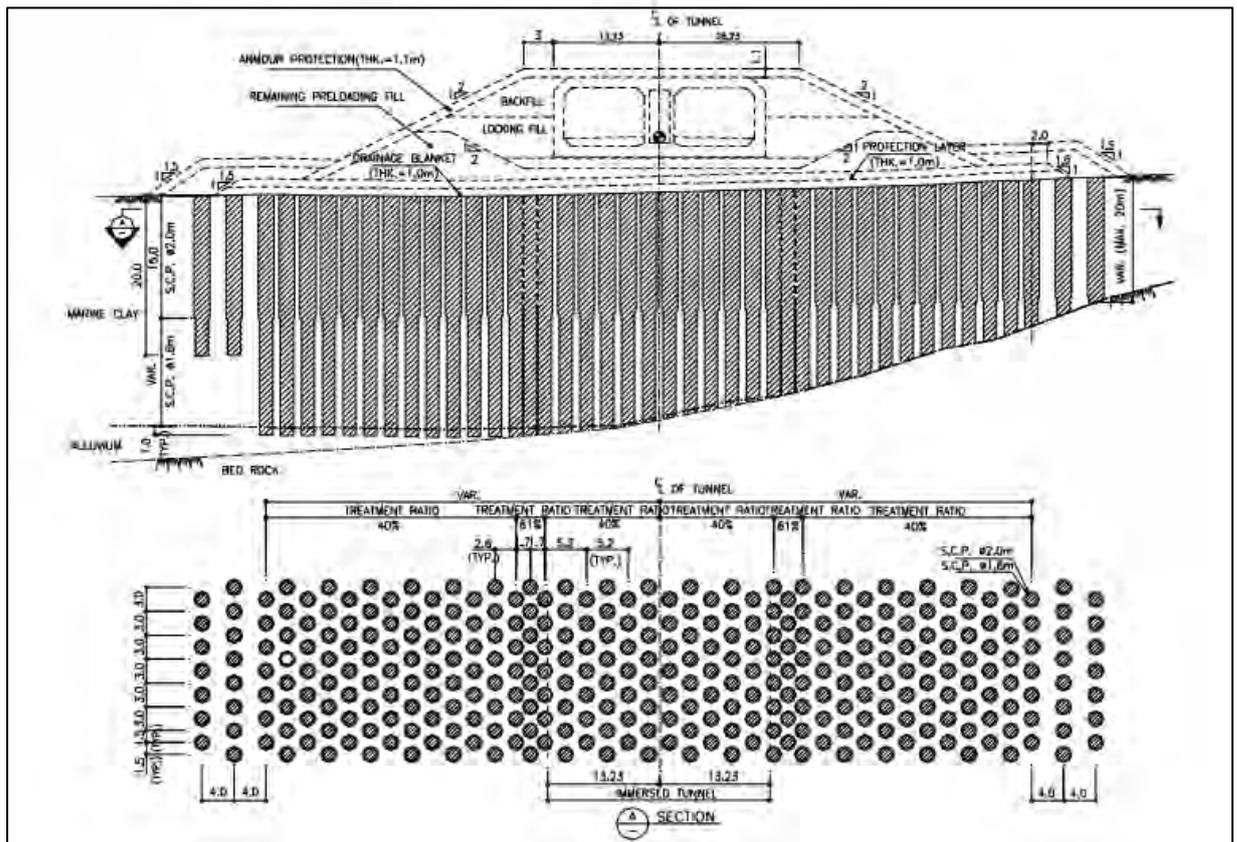


Figure C9 : Une section typique de la disposition des CBS pour le tunnel immergé Busan-Geoje (Corée du Sud)

Des colonnes CBS ont aussi été utilisés pour la construction d'une partie du tunnel immergé du projet de Hong Kong-Zhuhai-Macao en Chine (Réf : 4) (Figure C10).

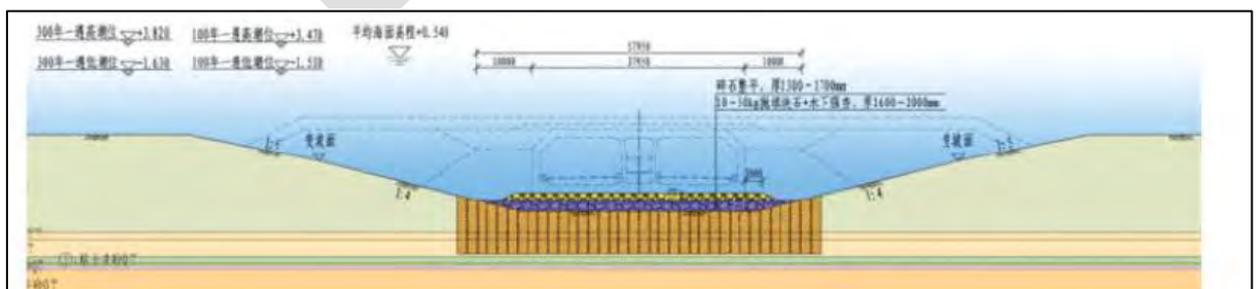


Figure C10. CBS utilisé pour améliorer les sols argileux pour une partie du tunnel immergé de Hong Kong-Zhuhai-Macao

La modélisation par éléments finis de ces travaux (Figure C11) montre que les colonnes CBS vont raidir le sol et vont causer la dissipation de la pression d'eau interstitielle, le résultat est que la consolidation des couches argileuses commence. Le tassement créé par l'installation des CBS sera d'environ 20mm.

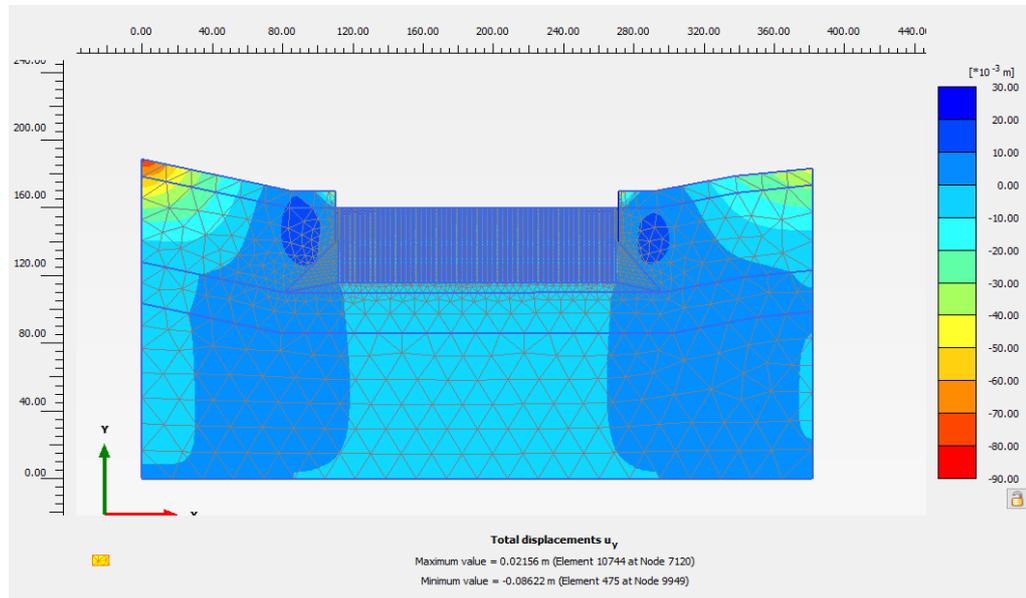


Figure C11 : Modélisation par élément finis de l'installation des CBS

Étape 5 : Construction du remblai

Le remblai sous-marin sera construit en étapes au-dessus de la chape de gravier, et sera fondé sur les CBS (Figure C12). La construction par étapes vise à charger progressivement la fondation et par conséquent permettre au processus de la consolidation à se produire d'une manière contrôlée.

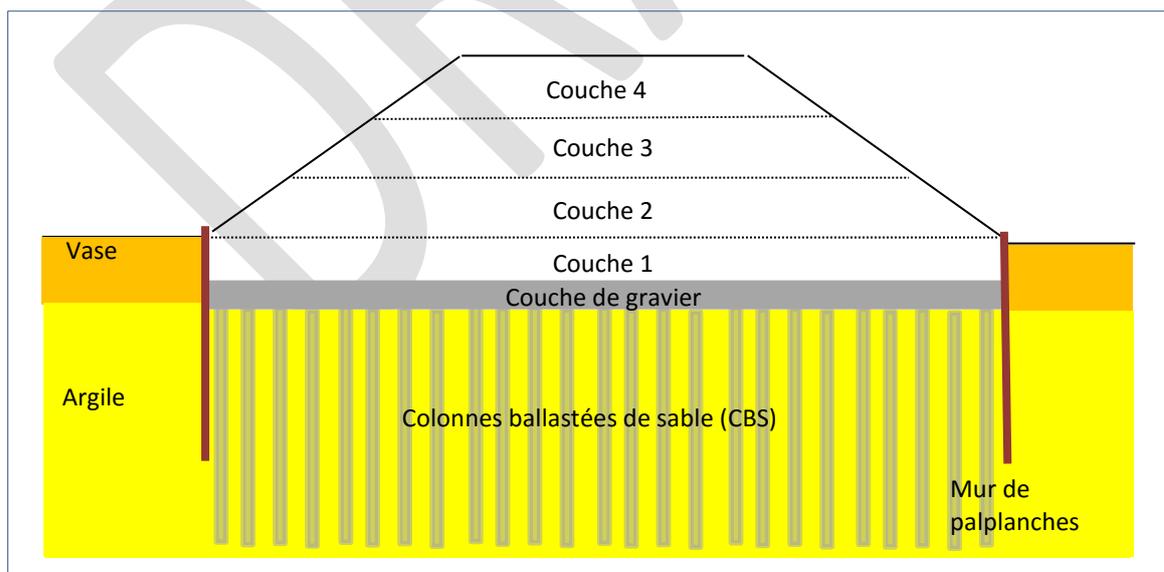
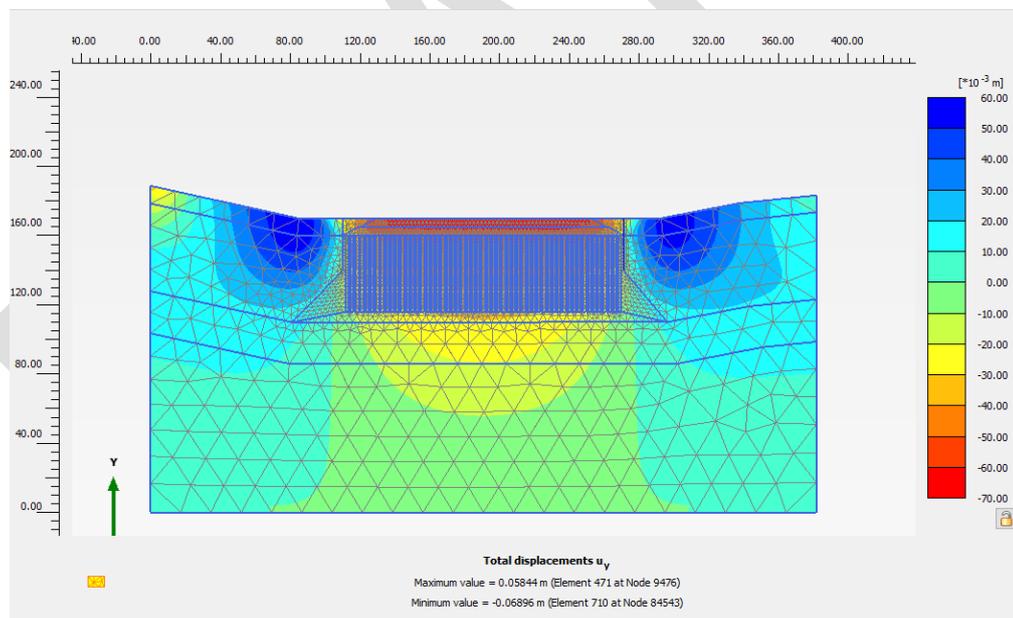


Figure C12 : La construction par étape du remblai sous-marins.

La modélisation par éléments finis de la construction du remblai indique que les étapes de construction optimale seraient :

- Couche 1 : Une couche de sol granuleux de 4 m d'épaisseur sur toute la largeur entre les palplanches) et une semaine pour la consolidation du sol.
- Couche 2 : Une seconde couche granuleuse de 5 m d'épaisseur sur la 1ère couche et avec une semaine de consolidation du sol.
- Couche 3 : Une troisième couche granuleuse de 5 m d'épaisseur sur la deuxième couche avec une semaine de consolidation du sol.
- Couche 4 : couche finale de 5 m d'épaisseur sur la 3ème couche et avec une semaine de consolidation du sol.

La modélisation démontre qu'une intervalle d'une semaine entre la fin de la pose de chaque couche et le commencement de la construction de la couche suivante est suffisante pour permettre la consolidation entière (en vertu de la forte charge appliquée) de la fondation argileuse. Si l'intervalle entre l'achèvement de la couche et le commencement de la construction des couches suivantes pourraient être plus long, il serait possible de réduire le nombre de colonnes de la CBS, mais ce type d'optimisation est hors de la portée du présent rapport et exigera des études plus poussées dans le cadre de la conception détaillée. Les chiffres ci-après indique la progression de la consolidation.



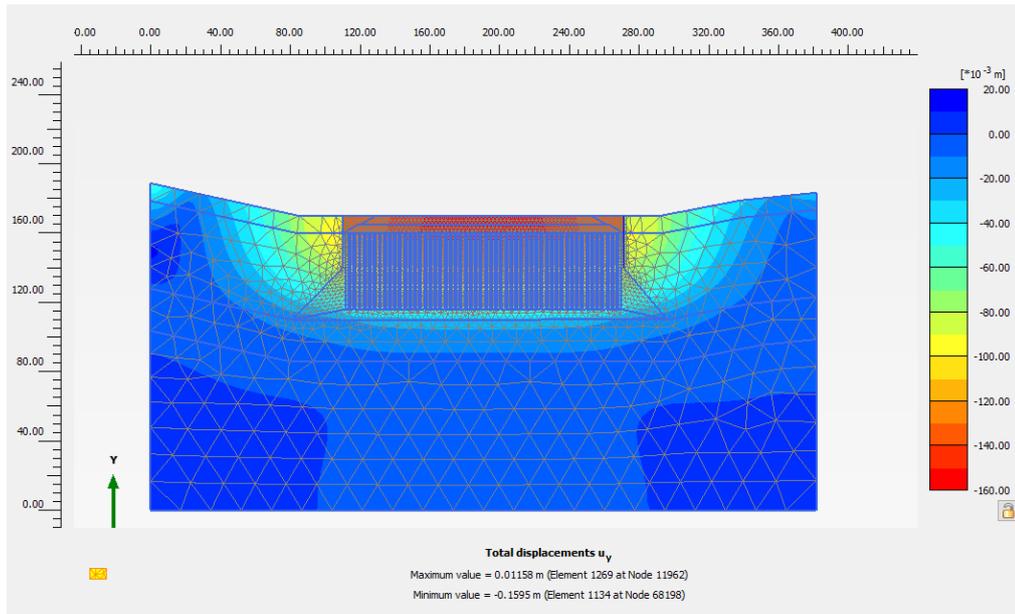


Figure C14 : Tassement et déformation de la zone d'étude une semaine après l'installation de la 1ère couche (le tassement a eu lieu).

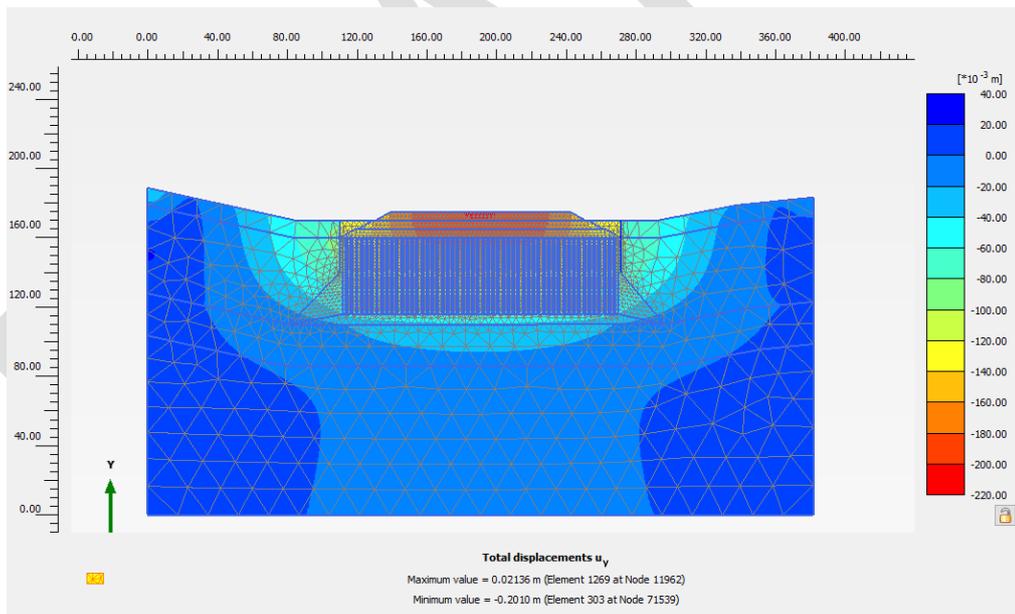


Figure C15 : Tassement et déformation de la zone d'étude immédiatement après l'installation de la 2ème couche

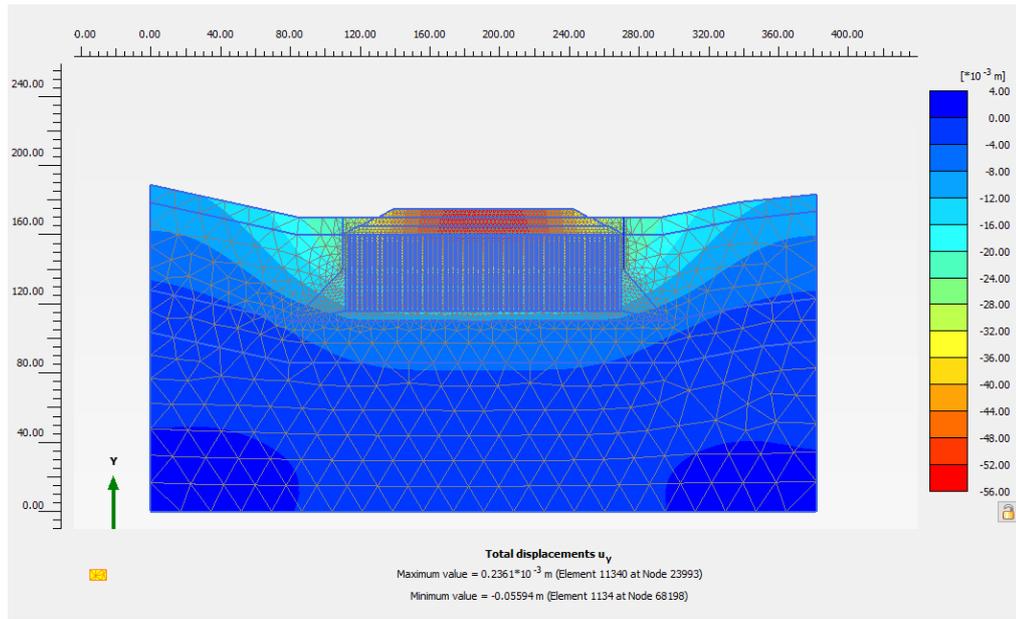


Figure C16 : Tassement et déformation de la zone d'étude une semaine après l'installation de la 2ème couche (le tassement a eu lieu).

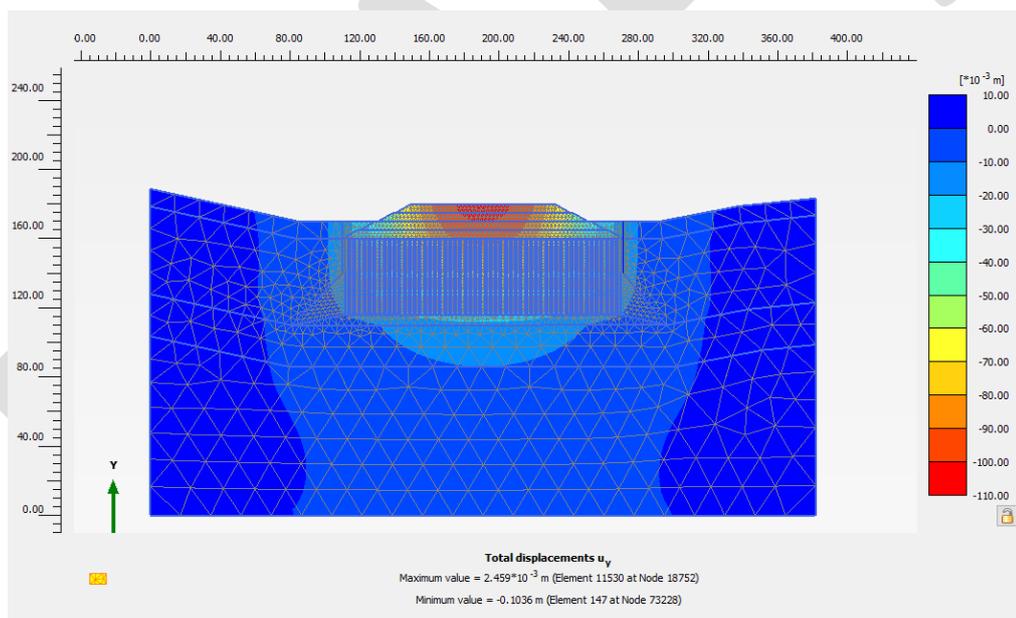


Figure C17 : Tassement et déformation de la zone d'étude immédiatement après l'installation de la 3ème couche

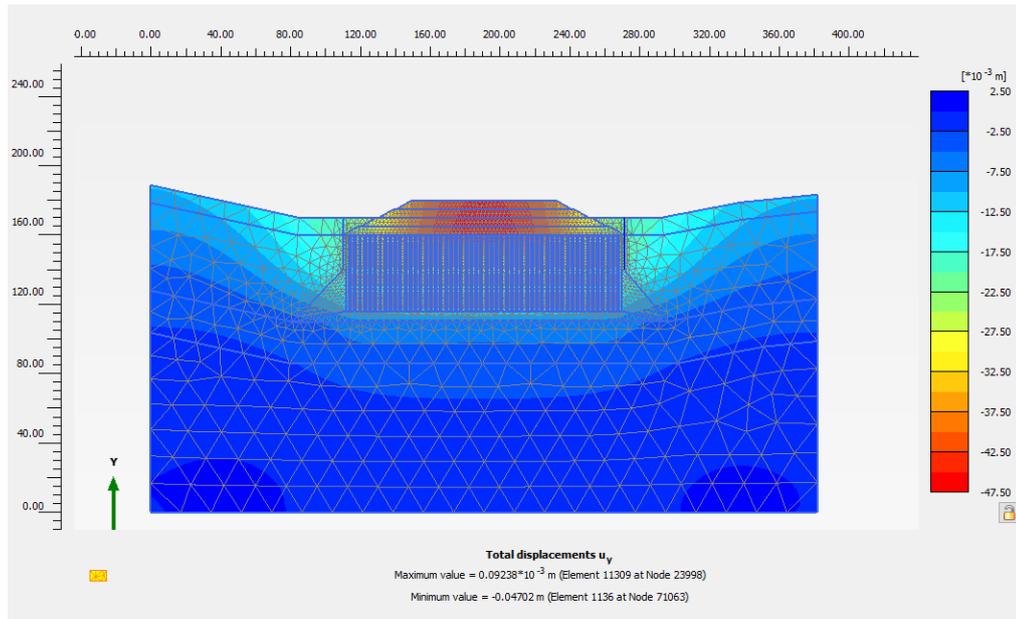


Figure C18 : Tassement et déformation de la zone d'étude une semaine après l'installation de la 3ème couche (le tassement a eu lieu)

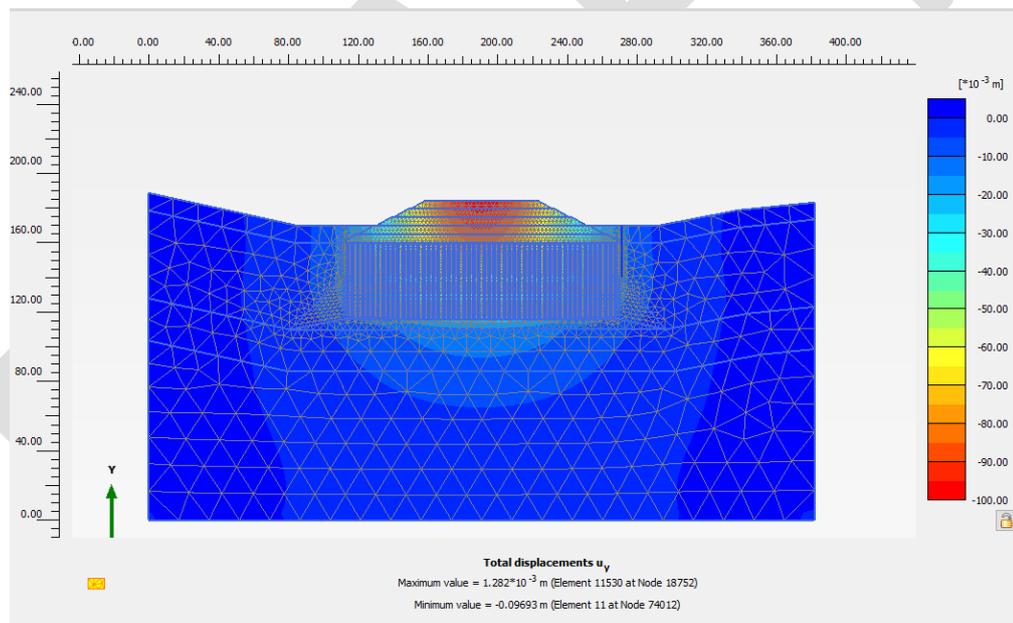


Figure C19 : Tassement et déformation de la zone d'étude immédiatement après l'installation de la couche 4

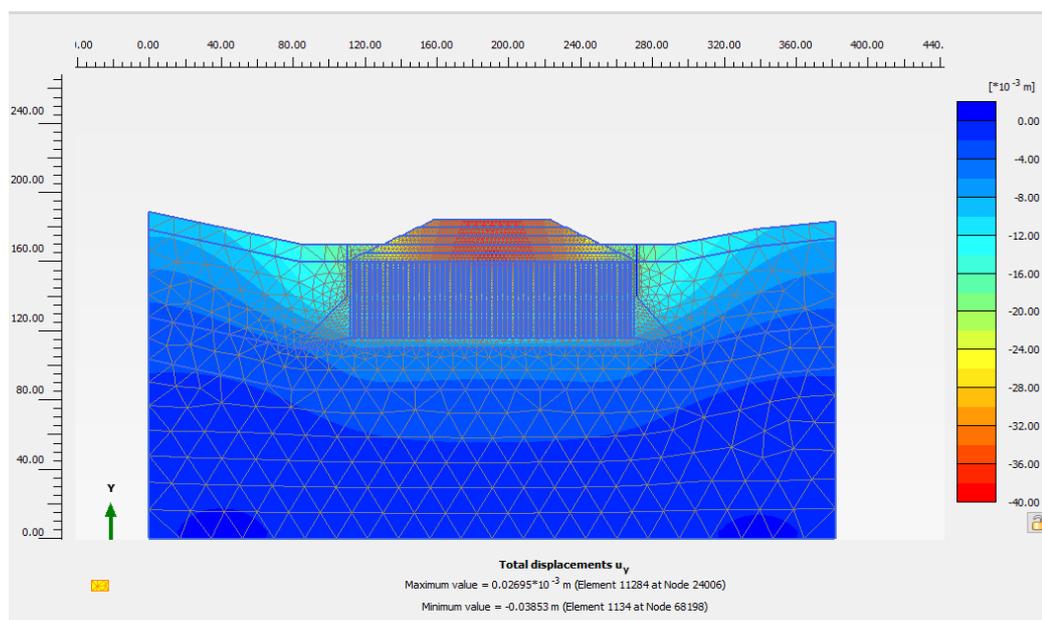


Figure C20 : Tassement et déformation de la zone d'étude une semaine après l'installation de la couche 4 (le tassement a eu lieu)

Etape 6 : Placement du tunnel

Pendant cette phase, les éléments de tunnel immergé sont lancés en position et abaissés sur le haut du talus où ils sont reliés entre eux. Une couche de sable de fondation est injectée sous les éléments et remplissage de verrouillage est placé pour maintenir les éléments en position. Les éléments sont ensuite remblayés et une couche de protection de roche est ajoutée pour protéger le tunnel contre les effets de l'érosion et des ancrs de bateau.

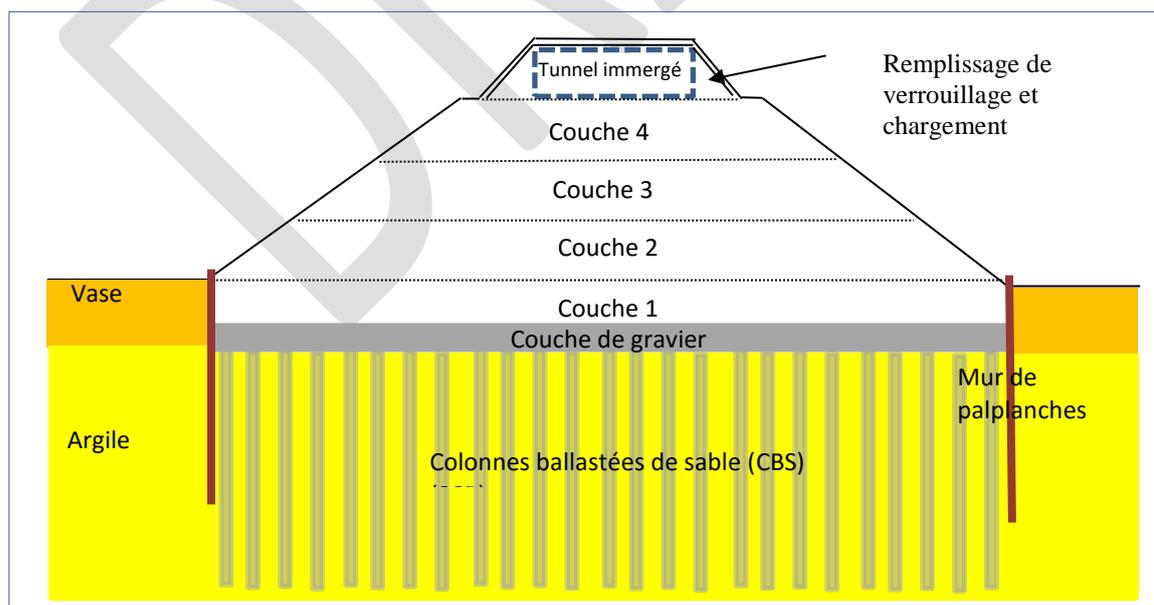


Figure C21 : Le placement de l'élément de tunnel immergé au sommet du remblai sous-marin.

La modélisation par éléments finis de cette étape de la construction (Figure C20) montre que la mise en place du tunnel et le remplissage de verrouillage provoquera un tassement instantané d'environ 20mm. Le tassement après que 15 ans augmenteront jusqu'à environ 45mm et sur une période de 120 ans est censée passer à 50mm. Le tassement différentiel entre les éléments de tunnel adjacents sera de l'ordre de 20 à 30mm et cela devra être pris en compte dans la conception des clés de cisailement entre chaque élément.

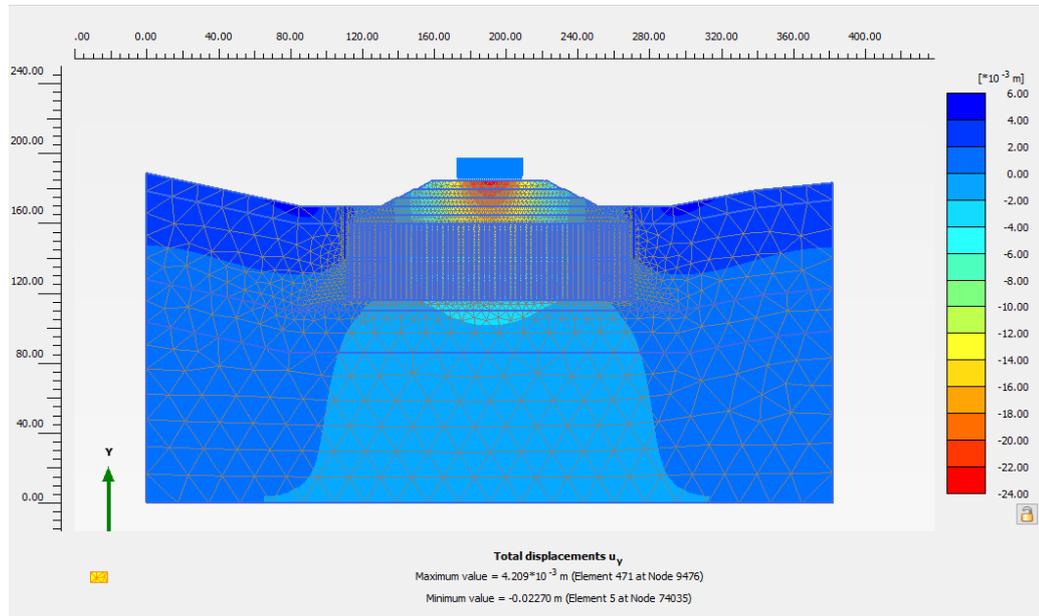


Figure C22 : Tassement et déformation immédiatement après l'installation du tunnel immergé, y compris le remplissage de verrouillage et remplissage supérieur

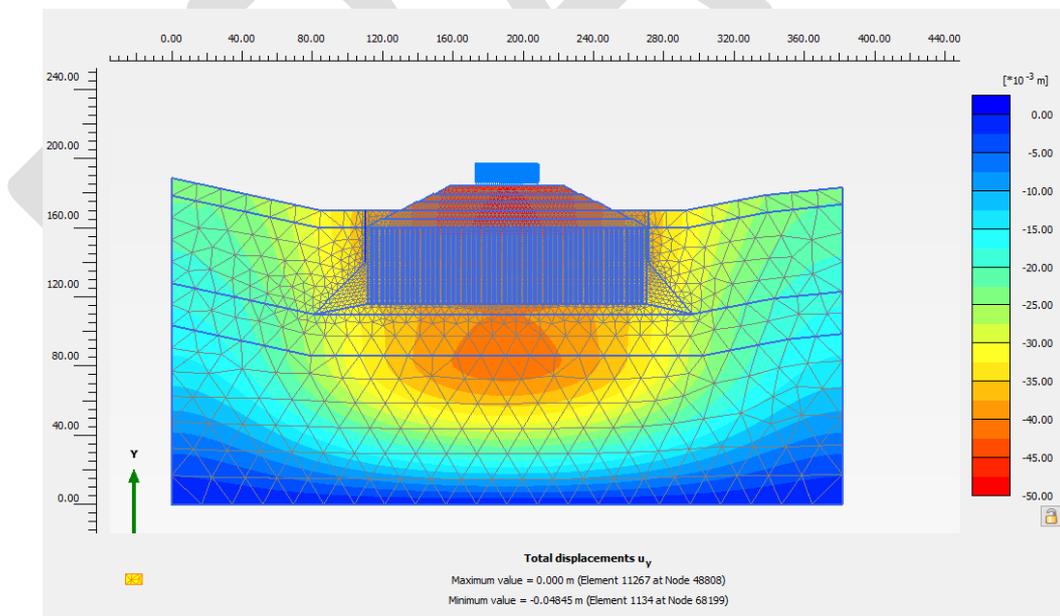


Figure C23 : Tassement et déformation (15 ans après l'achèvement des travaux)

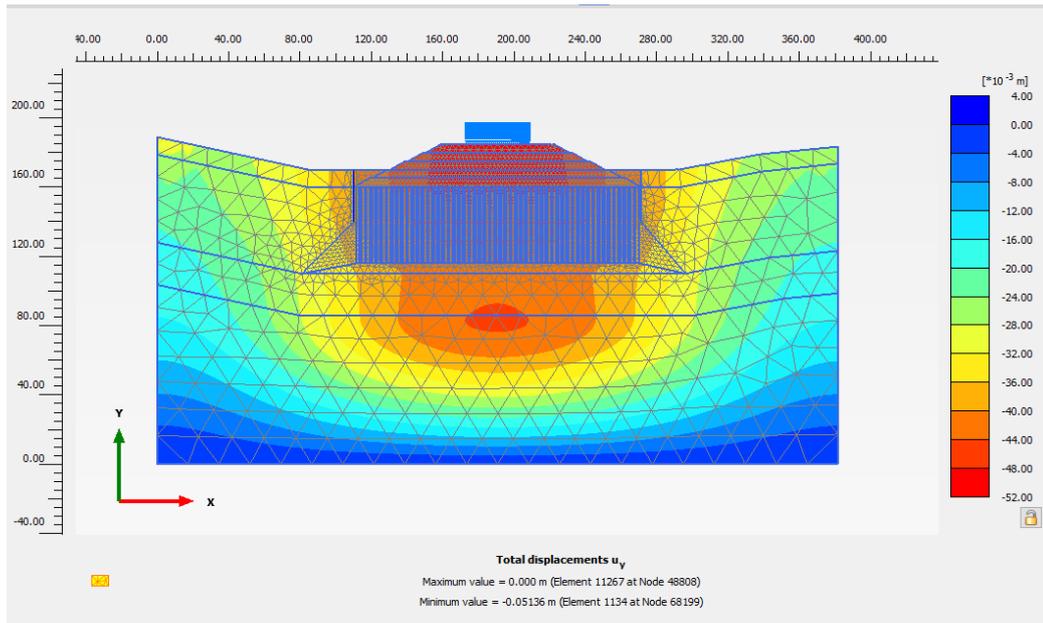


Figure C24 : Tassement et déformation (120 ans après l'achèvement des travaux)

Worldwide Offices

Head Office

LONDON, UNITED KINGDOM
200 Great Dover Street
SE1 4YB



www.rendel-ltd.com

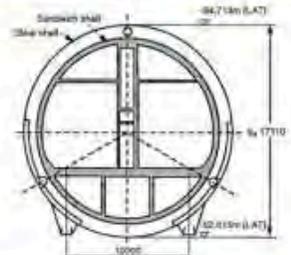
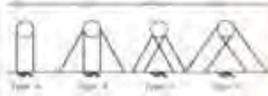
TUNNEL FLOTTANT IMMERGÉ

SYNTHÈSE D'UNE EXPERTISE DEMANDÉE PAR LE
DETA AU BUREAU MOTT MACDONALD (GB)

CONSEIL CONSULTATIF DU 14.06.2017

UNE VINGTAINNE DE PROJETS ÉTUDIÉS DANS LE MONDE

Table 1: Summary of Previous SFT Studies

| Tunnel Name | Project Details |
|--------------------|---|
| Hogsfjord, Norway | <p>The Hogsfjord tunnel was conceived by the Norwegian Public Roads Administration in 1987 as a road crossing of a 2km wide and 25m deep fjord. This project was instrumental in advancing the concept and was taken to the point of preparing tender documents for construction in the 1990's. Concepts were developed by four large Norwegian contractors with experience of offshore construction. Concepts ranged from steel and steel/concrete composite and reinforced concrete and featured both pontoon supports and tension leg anchorages connected to ballast boxes. The scheme did not receive funding.</p>  |
| Uchiura Bay, Japan | <p>Studied in 1994 this SFT comprised a steel composite shell with RC internal structure and lining.</p>  |
| Funka Bay, Japan | <p>This was a major crossing study carried out in 1996 for a combined road and rail tunnel of 30km length in water depth of up to 120m. The structure was planned as steel/concrete composite and the supports were to be tension legs. A range of options for the tension legs were studied. (Option D was selected).</p>   |

VARIANTES DE TUNNEL IMMERGÉ



Pontoon Supported

Tethered



Pier Supported

3 TYPES DE TUNNEL IMMERGÉ

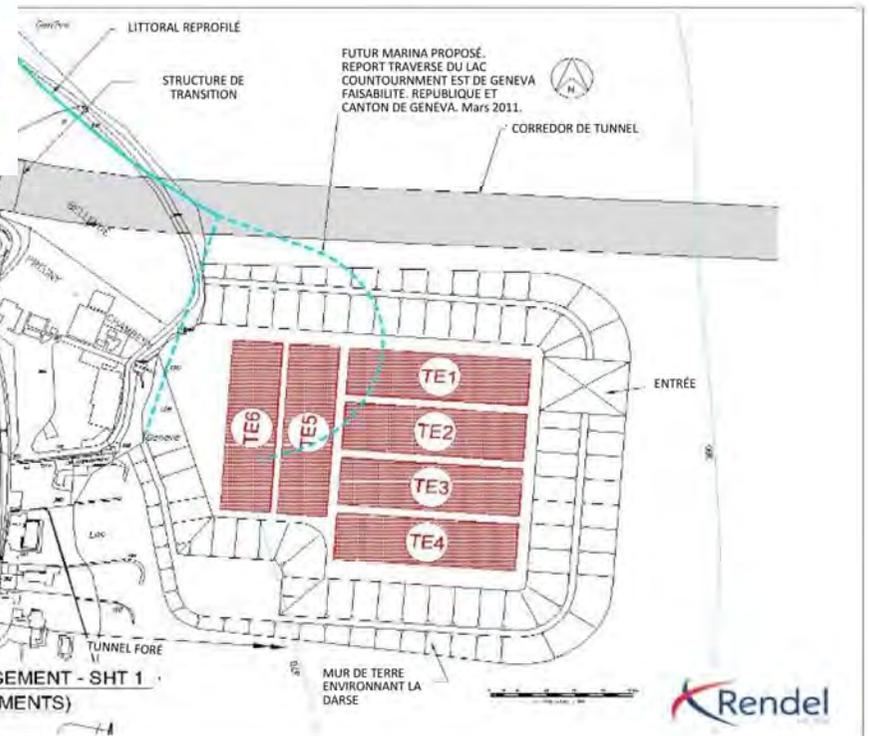
- **SUPPORTÉ PAR DES FLOTTEURS**
- **ANCRÉS**
- **SUPPORTÉ PAR DES PIEUX**

PRINCIPES DE CONCEPTION

- **S'APPROCHE DES CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES D'UN PONT**
- **TECHNIQUES DE CONSTRUCTION D'UN TUNNEL IMMERGÉ ET UN COÛT COMPARABLE**

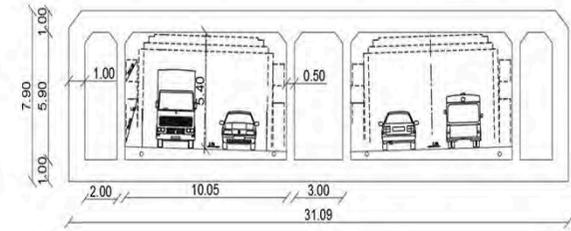
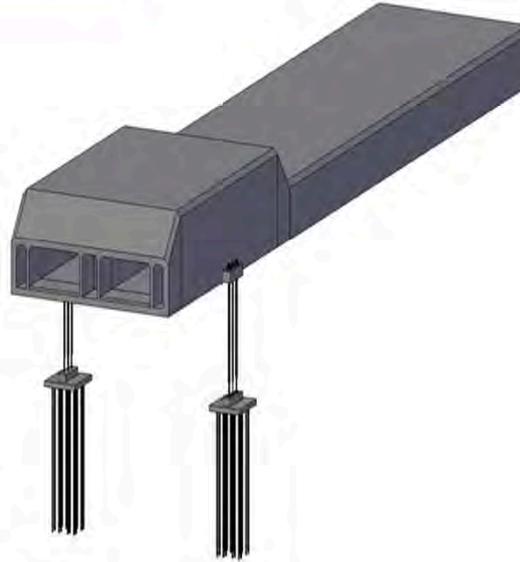
TECHNIQUE DE CONSTRUCTION

Figure 22: Oresund Tunnel Casting Factory

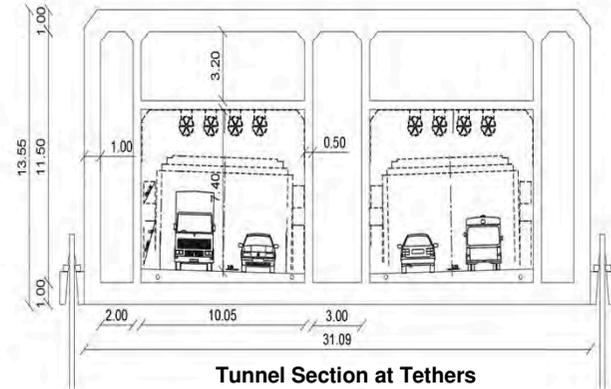


VARIANTE ANCRÉE

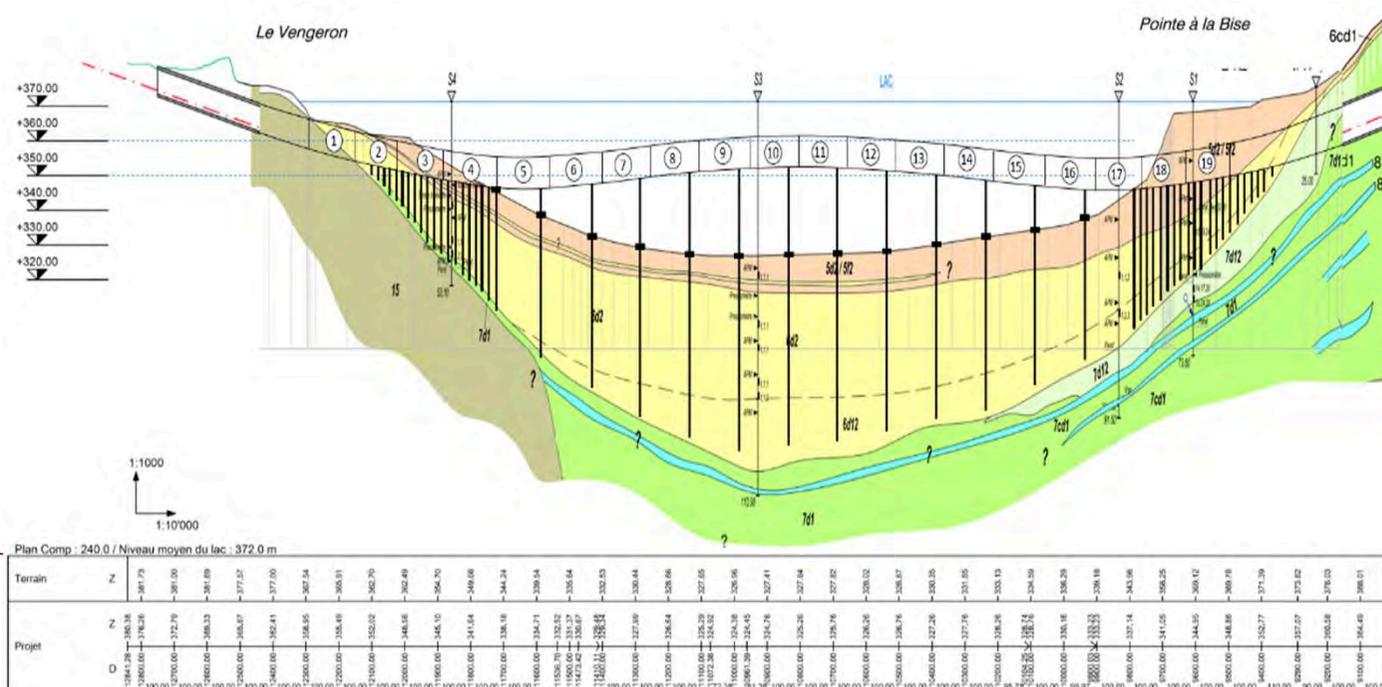
- LE TUNNEL A UNE FLOTTAISON RENFORCÉE ET IL EST RETENU PAR DES TIRANTS ANCRÉS AU FOND DU LAC ESPACÉS D'ENVIRON 150 M



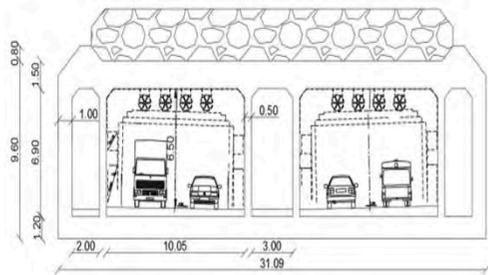
Standard Tunnel Section



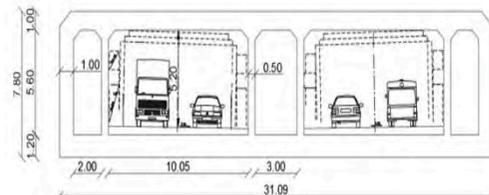
Tunnel Section at Tethers



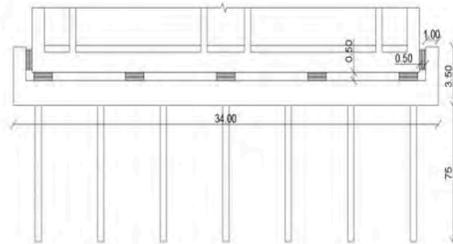
VARIANTE SUR PIEUX



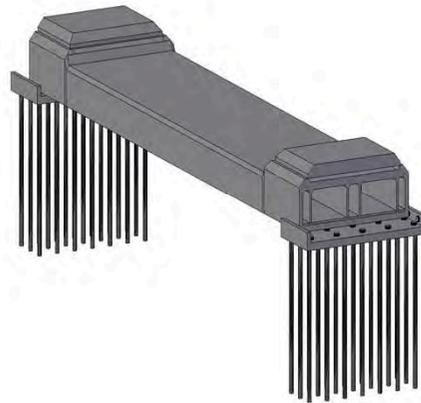
Tunnel Section at Piers



Standard Tunnel Section

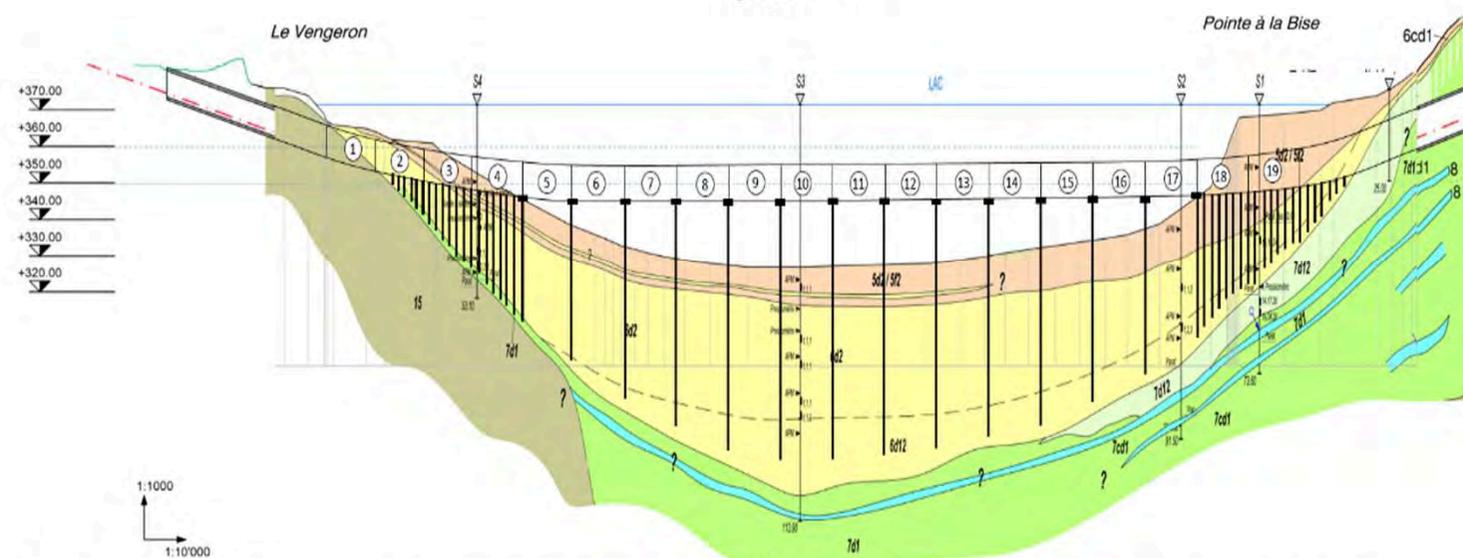


Pier Arrangement



- LE TUNNEL EST SURCHARGÉ POUR NE PAS FLOTTER ; IL S'APPUIE SUR DES PIEUX / DES FONDATIONS ESTPACÉES DE 150M ENVIRON

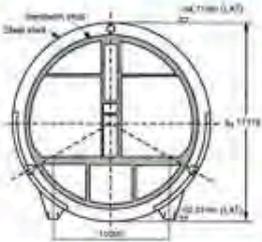
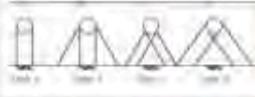
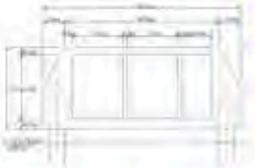
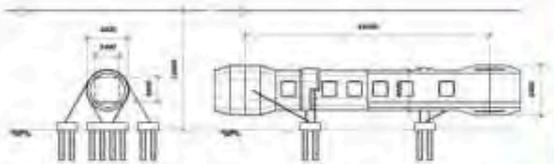
- SERAIT LA VARIANTE PRÉCONISÉE POUR LA TRAVERSÉE DU LAC :
 - Impacts et risques limités



Plan Comp - 240.0 / Niveau moyen du lac : 372.0 m

| Terrain | N | Z |
|---------|--------|---|
| | 381.73 | |
| | 381.00 | |
| | 381.09 | |
| | 377.57 | |
| | 377.00 | |
| | 367.54 | |
| | 366.91 | |
| | 362.70 | |
| | 362.49 | |
| | 356.70 | |
| | 349.08 | |
| | 344.24 | |
| | 338.54 | |
| | 335.64 | |
| | 330.53 | |
| | 330.44 | |
| | 326.98 | |
| | 327.05 | |
| | 326.96 | |
| | 327.41 | |
| | 327.44 | |
| | 327.32 | |
| | 328.02 | |
| | 328.67 | |
| | 330.35 | |
| | 331.85 | |
| | 333.13 | |
| | 334.59 | |
| | 336.29 | |
| | 338.18 | |
| | 343.96 | |
| | 350.25 | |
| | 350.12 | |
| | 360.78 | |
| | 371.39 | |
| | 373.62 | |
| | 376.03 | |
| | 388.01 | |
| | 396.81 | |
| Projet | N | Z |
| | 381.73 | |
| | 381.00 | |
| | 381.09 | |
| | 377.57 | |
| | 377.00 | |
| | 367.54 | |
| | 366.91 | |
| | 362.70 | |
| | 362.49 | |
| | 356.70 | |
| | 349.08 | |
| | 344.24 | |
| | 338.54 | |
| | 335.64 | |
| | 330.53 | |
| | 330.44 | |
| | 326.98 | |
| | 327.05 | |
| | 326.96 | |
| | 327.41 | |
| | 327.44 | |
| | 327.32 | |
| | 328.02 | |
| | 328.67 | |
| | 330.35 | |
| | 331.85 | |
| | 333.13 | |
| | 334.59 | |
| | 336.29 | |
| | 338.18 | |
| | 343.96 | |
| | 350.25 | |
| | 350.12 | |
| | 360.78 | |
| | 371.39 | |
| | 373.62 | |
| | 376.03 | |
| | 388.01 | |
| | 396.81 | |

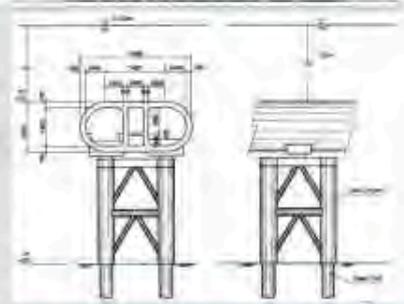
Tunnel flottant immergé : Benchmark des projets étudiés

| Tunnel Name | Project Details | |
|----------------------|---|--|
| Hogsfjord, Norway | <p>The Hogsfjord tunnel was conceived by the Norwegian Public Roads Administration in 1987 as a road crossing of a 2km wide and 25m deep fjord. This project was instrumental in advancing the concept and was taken to the point of preparing tender documents for construction in the 1990's. Concepts were developed by four large Norwegian contractors with experience of offshore construction. Concepts ranged from steel and steel/concrete composite and reinforced concrete and featured both pontoon supports and tension leg anchorages connected to ballast boxes. The scheme did not receive funding.</p> |  |
| Uchiura Bay, Japan | <p>Studied in 1994 this SFT comprised a steel composite shell with RC internal structure and lining.</p> |  |
| Funka Bay, Japan | <p>This was a major crossing study carried out in 1996 for a combined road and rail tunnel of 30km length in water depth of up to 120m. The structure was planned as steel/concrete composite and the supports were to be tension legs. A range of options for the tension legs were studied. (Option D was selected).</p> |  |
| Oinaoshi Port, Japan | <p>This study was made for a 300m road and pedestrian tunnel in 15-20m water depth, for comparison with a bridge option. The structure was supported by piles into the sea bed acting in tension.</p> |  |
| Akashi Strait, Japan | <p>The SFT was conceived as a 1.9km steel/concrete composite structure with a rectangular section to carry 2 x 3 lanes of road traffic. The structure was to be fitted with steel deflectors on each side of the box for hydrodynamic performance. Water depth is 80m.</p> |  |
| Daikokujima, Japan | <p>This was conceived as an experimental project comprising a 120m long pedestrian tunnel at a water depth of 12m. Element length was 24m and the tunnel was to be supported by tension legs connected to piled foundations in the sea bed at 12m intervals.</p> |  |



Osaka Bay, Japan

This study was made in 1995 for a rail connection between Kansai and Kobe airports. It was a 30km crossing in water depth of 20-40m. The tunnel was to be supported on steel piles with cross heads and jacket structures. The design was prepared to take account of hydrodynamic and seismic loads. The tunnel modules were planned to be negatively buoyant.



Messina Strait, Italy

Many studies have been carried out on an SFT solution for the Messina Strait since 1969 to 1996. The crossing is approximately 4km and because of sea conditions and deep water tension leg anchorages were foreseen. Road and rail tunnels have been studied and particular work was done on hydrodynamic and seismic behaviour. The crossing conditions are extremely challenging and a bridge solution has been preferred.



Lake Lugano, Italy

A rail tunnel crossing of Lake Lugano was developed in the 1990s as part of the Alpransit route development that included the Gotthard base tunnel and the Ceneri base tunnel. The structure was planned to be reinforced concrete and the tunnel was formed with five 186m elements sitting on caisson piers on piled foundations. The water depth was 70m and ground conditions were 10-12m soft deposits overlying glacial clay and bedrock.

The crossing is not yet realised and the Gothard Line still uses the Melide causeway to cross the Lake. It may be considered again in the future.



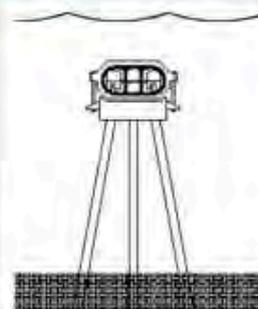
Stordfjorden, Norway

This study was prepared by the NSFT Company AS in 1999 and comprised a 2.5km crossing of a 40m deep fjord. The tunnel structure was proposed to be prestressed reinforced concrete with a circular cross section to carry two traffic lanes. The anchorages were planned as groups of 24 tethers made up of four bundles of 6 tethers.



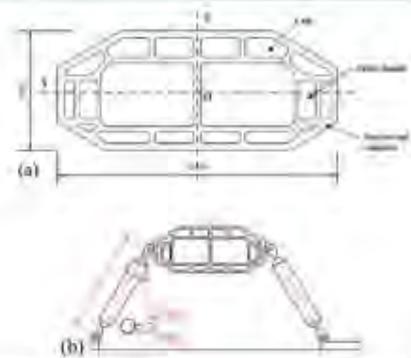
Lake Washington, Seattle, USA

This study in 1999 proposed a 3km LRT crossing of Lake Washington. Piers constructed with piles and a pier cap provided support to the tunnel, with ties to hold the tunnels section to the pier caps. The proposal was developed as part of an emerging transit scheme. Alternative options were eventually selected that did not require the crossing.



Jintang Strait (China)

This 3.2km sea crossing road tunnel scheme was developed by Ponte di Archimede S.p.A 2001. The structure was to be formed by precast prestressed concrete elements of 100m long. The height of the section was 12.1m and width of section was 27.9m to carry 2x2 lanes of traffic. Modules were to be made continuous and anchorages were made of pairs of steel tubes at 50m spacing.



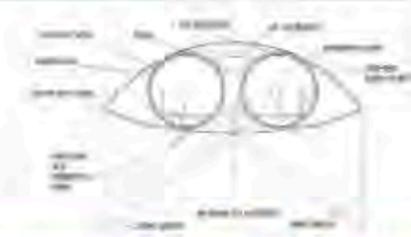
Pulau Seribu archipelago, Indonesia

Preliminary studies in 2008 for 1.2km crossing with combination of immersed tunnel and SFT. Structure is a steel/concrete composite that is buoyant and tethered with an array of steel cables attached to concrete foundations.



Hang Pu River, Shanghai, China

Composite sandwich structure of aluminium, concrete and steel to be constructed in 25m long modules. Steel cable anchors in W-formation.



Qiandao Lake (China)

SIJLAB prepared a design for a pedestrian tunnel in 2007 to cross Qiandao Lake as a prototype project for SFTs. The tunnel was conceived as a tubular structure with a composite sandwich of steel/concrete/aluminium. The crossing was to be 100m and built with five 20m long modules which are made continuous. The tunnel is supported with tension cables at three locations along its length, anchored to foundation blocks placed on the lake bed. Extensive research and development was made and the design developed sufficient for construction, but the project has not yet been realised as it has not received funding.



Sulaifjord, Norway

The Sulaifjord tunnel concept was studied in the 2000's (work published in 2009 by Jakobsen et al.) and was for a 4.2km long 2-lane road tunnel. The tunnel was concrete and a buoyant structure held in place with tethers at 250m spacing. The tunnel was to be constructed with 250m long modules made continuous at the anchoring.



Strait of Gibraltar, Spain-Morocco

Studied in 2009 the 20km railway crossing was designed with a reinforced concrete structure with 167no. 120m long elements anchored by tension leg foundations. Sea conditions for the crossing are extremely challenging and an alternative bored tunnel crossing was chosen to be developed further.



E39, Norway

Studies have been ongoing over the last four years on a number of fjord crossings for the E39 Highway. These include SFT crossings of Sognefjord and Bjornafjord. Various concepts have been developed, the favoured options are for twin tube crossings with cross passages, supported by floating pontoons. The SFTs are undergoing evaluation along with floating bridge solutions to select preferred options to take forward.



Traversée du lac

Etude prévisionnelle des niveaux sonores



Image: © 2017 Calatrava Valls SA

08.08.2017

ECOTEC Environnement SA
3, rue François-Ruchon - 1203 Genève
t : 022 344 91 19
info@ecotec.ch - www.ecotec.ch



Expertises
Études d'impact
Recherche appliquée

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-----|--|---|
| 1 | Introduction | 4 |
| 1.1 | Mandat | 4 |
| 1.2 | Bases légales | 4 |
| 1.3 | Degrés de sensibilité | 5 |
| 1.4 | Récepteurs sensibles | 5 |
| 2 | Méthodologie | 6 |
| 2.1 | Généralités | 6 |
| 2.2 | Modélisation du site..... | 6 |
| 2.3 | Modèle de récepteurs | 6 |
| 2.4 | Emissions sonores | 6 |
| 2.5 | Période d'évaluation | 7 |
| 3 | Résultats | 7 |
| 3.1 | Modèle acoustique | 7 |
| 3.2 | Valeurs d'immission et contrôle au regard des valeurs limites d'exposition | 7 |
| 3.3 | Grilles d'évaluation des niveaux sonores | 8 |
| 4 | Conclusion | 8 |
| 4.1 | Synthèse..... | 8 |
| 4.2 | Remarques | 8 |
| 5 | Annexes | 9 |

1 INTRODUCTION

1.1 Mandat

Cette étude vise à évaluer l'impact au niveau du bruit, du projet de traversée du lac, variante pont, pour les premiers récepteurs sensibles situés sur la rive gauche du lac (commune de Collonge-Bellerive). Les récepteurs sensibles se trouvent dans la pente entre le chemin de Sous-Caran et le lac. Cette situation n'offre aucun obstacle à la propagation du bruit. Une analyse avec 3 scénarios est menée. Les scénarios modélisés intègrent un plongement du pont sous la pointe à la bise à une distance de 350 m, 450 m et 600 m de la rive. La figure ci-dessous illustre le scénario à 350 m de la rive.

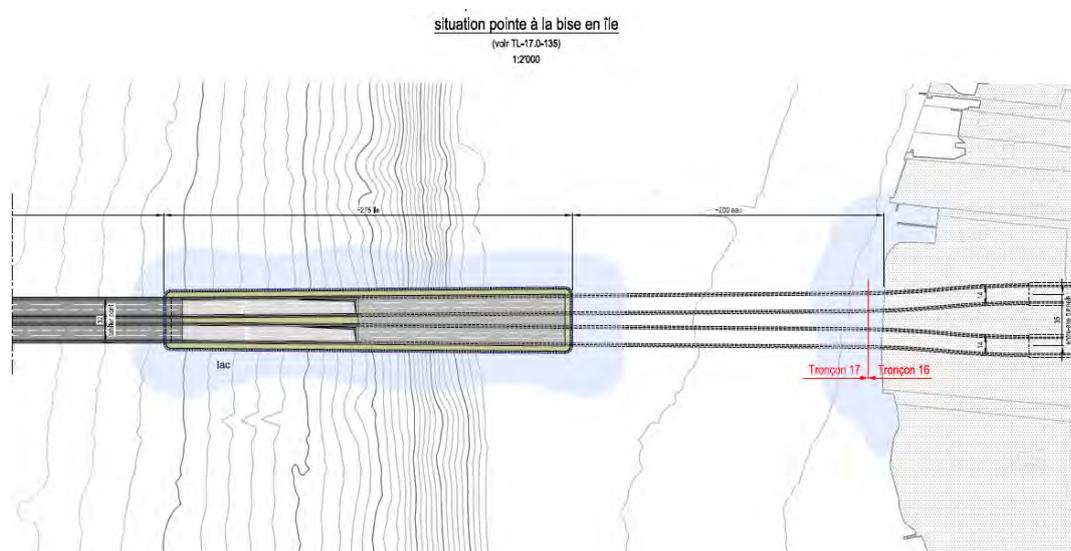


Figure 1 : Situation en rive gauche du pont qui plonge sous la pointe à la bise.

1.2 Bases légales

Principales bases légales et directives concernant la protection contre le bruit :

- Loi sur la protection de l'environnement (LPE) du 21 décembre 1999 ;
- Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit (OPB) du 15 décembre 1986 ;
- Règlement cantonal sur la protection contre le bruit et les vibrations (K 1 70.10) du 12 février 2003.

Les valeurs limites d'exposition au sens de l'Ordonnance sur la Protection du Bruit (OPB), à savoir les valeurs de planification (VP), les valeurs limites d'immission (VLI) et les valeurs d'alarme (VA), sont définies dans l'annexe 3 de l'OPB, relative au bruit du trafic routier. Elles sont appliquées de la manière suivante :

- Valeurs de planification (VP) : doivent être respectées par les installations fixes nouvelles ou les

installations modifiées ;

- Valeurs limites d'immission (VLI) : doivent être respectées par les installations existantes ;
- Valeurs d'alarme (VA) : valeurs au-delà desquelles un assainissement est nécessaire.

Ces valeurs sont données en fonction du plan d'attribution des degrés de sensibilité (DS) fixé au niveau communal. Les valeurs limites d'exposition selon l'annexe 3 de l'OPB sont présentées à la figure 2.

| Degré de sensibilité (art. 43) | Valeur de planification Lr en dB (A) | | Valeur limite d'immission Lr en dB (A) | | Valeur d'alarme Lr en dB (A) | |
|--------------------------------|--------------------------------------|------|--|------|------------------------------|------|
| | Jour | Nuit | Jour | Nuit | Jour | Nuit |
| I | 50 | 40 | 55 | 45 | 65 | 60 |
| II | 55 | 45 | 60 | 50 | 70 | 65 |
| III | 60 | 50 | 65 | 55 | 70 | 65 |
| IV | 65 | 55 | 70 | 60 | 75 | 70 |

Figure 2 : Valeurs limites d'exposition au bruit du trafic routier.

S'agissant d'une nouvelle installation, les valeurs de planification doivent être respectées conformément à l'art. 7 de l'OPB.

1.3 Degrés de sensibilité

L'attribution des degrés de sensibilité du secteur d'étude est fixée dans les plans d'attribution des degrés de sensibilité de la commune de Collonge-Bellerive (plan N°29'547-515) approuvé par le conseil d'Etat le 28 novembre 2007 (cf. annexe 1).

Les degrés de sensibilité sont répartis de la manière suivante dans le secteur :

- DSIIIdIII : Zones bordant la route d'Hermance ;
- DSII : Zones résidentielles destinées aux villas.

1.4 Récepteurs sensibles

Les bâtiments abritant des locaux à usage sensible au bruit, pouvant être impactés par la nouvelle traversée du lac, sont listés dans l'annexe 2. L'évaluation porte sur les 66 récepteurs les plus proches, à savoir des villas.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Généralités

L'étude prévisionnelle des niveaux sonores dans l'environnement a été réalisée selon les étapes suivantes :

- Modélisation du site et de ses environs à l'aide du logiciel IMMI (version 2016 [413]) sur la base de la norme de calcul StL-86+ ;
- Modélisation des sources sonores sur la base des données trafic fournies ;
- Calcul de la propagation du bruit ;
- Contrôle des valeurs d'immission au droit des récepteurs sensibles au regard des valeurs limites d'exposition selon l'OPB.

2.2 Modélisation du site

Les éléments suivants sont pris en compte :

- Topographie existante, adaptée selon le projet (données SITG, plans projet) ;
- Bâtiments existants et projetés dans le secteur d'étude. Bâtiments considérés comme 80% réfléchissants (coefficient d'absorption Alpha = 0.206, équivalent « paroi lisse ») ;
- Structures de la nouvelle traversée de la rade avec accroche en île.

2.3 Modèle de récepteurs

Les récepteurs sont positionnés au niveau des façades des bâtiments abritant des locaux à usage sensible au bruit potentiellement impactés, à raison de 1 récepteur par façade. Chaque récepteur, placé au niveau du rez-de-chaussée, à 1.5 m au-dessus du sol, est considéré comme représentatif des immissions pour toute la façade (source de bruit située à grande distance des récepteurs et aucun obstacle sur le chemin de propagation).

2.4 Emissions sonores

Les émissions sont modélisées sur la base des données trafic fournies, à l'aide de la norme de calcul StL-86+. Les paramètres pris en compte sont :

- TJM : 80'000 véh./j ;
- % de véh. bruyants : 10% de jour, 5% de nuit ;
- Vitesse : véhicules individuels : 100 km/h, véhicules bruyants : 80 km/h ;

- Revêtement : sans influence (pas de phono absorbant considéré).

Le tracé de la nouvelle autoroute est positionné selon trois scénarios :

- Scénario 1 : pont plongeant – accroche sur île avec l'entrée du tunnel à 350 m de la rive ;
- Scénario 2 : pont plongeant – accroche sur île avec l'entrée du tunnel à 450 m de la rive ;
- Scénario 3 : pont plongeant – accroche sur île avec l'entrée du tunnel à 600 m de la rive.

2.5 Période d'évaluation

L'évaluation des nuisances sonores est faite pour la période diurne (6-22h) et la période nocturne (22-6h).

3 RÉSULTATS

3.1 Modèle acoustique

Les vues 3D du modèle acoustique sont présentées en annexe 3.

3.2 Valeurs d'immission et contrôle au regard des valeurs limites d'exposition

Les niveaux d'évaluation L_r obtenus au droit des récepteurs sensibles pour les périodes diurnes et nocturnes sont présentés dans les tableaux des immissions en annexe 4. Le degré de précision des résultats est de l'ordre de +/- 1 dB.

L'ensemble des récepteurs sensibles se trouve dans une zone affecté en DSII. Les valeurs de planification applicables sont donc 55 dB(A) de jour et 45 dB(A) de nuit.

Les immissions les plus élevées sont obtenues au niveau de l'adresse 9 Ch. des Marèches. Les valeurs d'évaluation y atteignent les valeurs suivantes :

- Scénario 1 : 54 dB(A) de jour et 45 dB(A) de nuit ;
- Scénario 2 : 52 dB(A) de jour et 43 dB(A) de nuit ;
- Scénario 3 : 50 dB(A) de jour et 41 dB(A) de nuit.

Les valeurs de planification sont respectées de jour (6h-22h) comme de nuit (22h-6h) pour l'ensemble des récepteurs sensibles considérés et ce, quel que soit le scénario considéré.

3.3 Grilles d'évaluation des niveaux sonores

Les cartes de propagation du bruit pour les périodes diurnes et nocturnes se trouvent en annexe 5. Les niveaux d'évaluation sont présentés par des isophones, basés sur des grilles d'évaluation calculées à 1.5 m, puis à 10 m au-dessus du sol.

4 CONCLUSION

4.1 Synthèse

L'évaluation montre que l'impact du bruit sur les récepteurs sensibles situés sur les rives de la commune de Collonge-Bellerive est limité. **Pour l'ensemble des récepteurs sensibles considérés, les valeurs de planification sont respectées de jour comme de nuit. L'art. 7 de l'OPB est respecté.**

Le bruit émis par la nouvelle infrastructure sera toutefois fortement perceptible de jour comme de nuit.

La nouvelle infrastructure se trouve dans un environnement sans obstacle sur le chemin de propagation dans un environnement actuel exempt de bruit routier. Compte tenu du contexte, les actions possibles pour limiter les immissions de bruit sont pertinentes.

L'influence de l'éloignement de la trémie par rapport à la rive est notable. La moyenne des gains obtenus pour l'ensemble des récepteurs du fait de l'éloignement est de 1.4 dB(A) entre les scénarios 350 m et 450 m, puis de 1.9 dB(A) entre les scénarios 450 m et 600 m.

La pose d'un revêtement phono absorbant permettrait de réduire encore les immissions de l'ordre de 3 dB(A).

4.2 Remarques

L'évaluation tient compte d'hypothèses conservatrices qui maximisent l'évaluation des nuisances sonores :

- Structure du pont modélisée sans parapet ;
- Trémie modélisée sans casquette ;
- Gain lié au revêtement non pris en compte.

Les niveaux sonores pourront être précisés une fois la géométrie de l'accroche connue plus précisément.

5 ANNEXES

Annexe 1 : DSOPB

Annexe 2 : Récepteurs sensibles

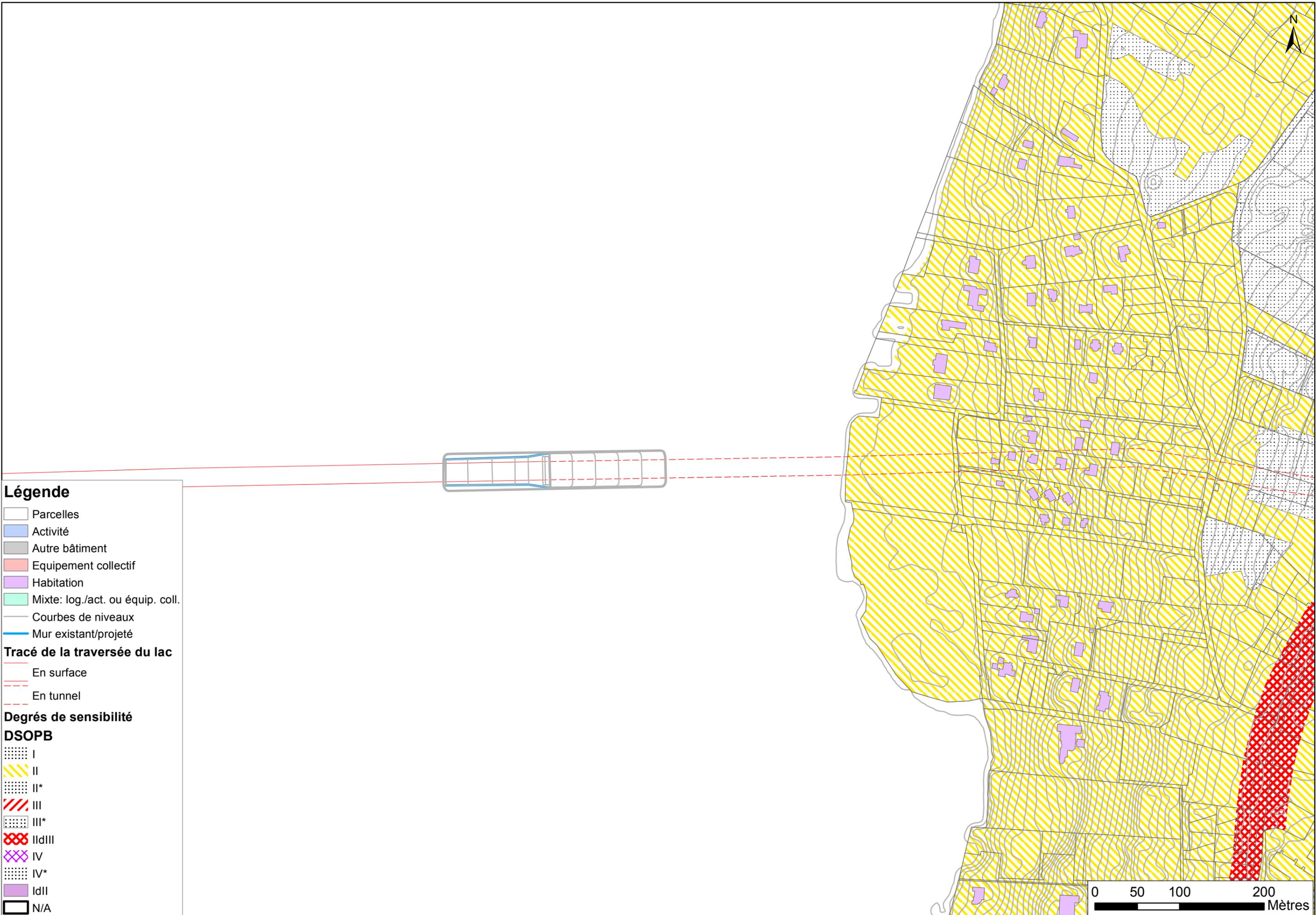
Annexe 3 : Vues 3D du modèle acoustique

Annexe 4 : Tableau des immissions

Annexe 5 : Carte des isophones

Annexe 1

DSOPB



Légende

-  Parcelles
-  Activité
-  Autre bâtiment
-  Equipement collectif
-  Habitation
-  Mixte: log./act. ou équip. coll.
-  Courbes de niveaux
-  Mur existant/projeté

Tracé de la traversée du lac

-  En surface
-  En tunnel

Degrés de sensibilité

DSOPB

-  I
-  II
-  II*
-  III
-  III*
-  IIdIII
-  IV
-  IV*
-  IdII
-  N/A



Annexe 2

Récepteurs sensibles

| EGID | Adresse | Commune | DSOPB appliqué |
|-----------|----------------------------|--------------------|----------------|
| 1007994 | Ch. de Beauvoir 10 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007972 | Ch. de Beauvoir 14 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007971 | Ch. de Beauvoir 9 | Collonge-Bellerive | II |
| 295087550 | Ch. de Botterel 18 (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 1007659 | Ch. de Botterel 18 (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 2035968 | Ch. de la Baie 12 | Collonge-Bellerive | II |
| 2035972 | Ch. de la Baie 6 | Collonge-Bellerive | II |
| 3131527 | Ch. de la Baie 6A | Collonge-Bellerive | II |
| 2035970 | Ch. de la Baie 8 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007975 | Ch. de la Bise 10 | Collonge-Bellerive | II |
| 295113849 | Ch. de la Bise 12 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007976 | Ch. de la Bise 14 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007966 | Ch. de la Forêt 10 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007967 | Ch. de la Forêt 11 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007968 | Ch. de la Forêt 12 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007969 | Ch. de la Forêt 14 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007964 | Ch. de la Forêt 5 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007965 | Ch. de la Forêt 7 | Collonge-Bellerive | II |
| 2036319 | Ch. de la Forêt 8 | Collonge-Bellerive | II |
| 295145858 | Ch. de la Forêt 9 | Collonge-Bellerive | II |
| 2036208 | Ch. de la Praly | Collonge-Bellerive | II |
| 1008097 | Ch. de la Praly 10 (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 295100358 | Ch. de la Praly 10 (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 1007681 | Ch. de la Praly 11 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007694 | Ch. de la Praly 15 (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 295092139 | Ch. de la Praly 15 (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 1007996 | Ch. de la Réserve 11 | Collonge-Bellerive | II |
| 3131620 | Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 3131620 | Ch. de la Réserve 17 (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 1007992 | Ch. de la Réserve 7 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007993 | Ch. de la Réserve 9 | Collonge-Bellerive | II |
| 2749397 | Ch. de la Réserve 9A (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 295085171 | Ch. de la Réserve 9A (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 1007938 | Ch. de Sous-Caran 13C | Collonge-Bellerive | II |
| 1007957 | Ch. de Sous-Caran 13D | Collonge-Bellerive | II |
| 1007940 | Ch. de Sous-Caran 13E | Collonge-Bellerive | II |
| 1007941 | Ch. de sous-Caran 13F | Collonge-Bellerive | II |
| 1007944 | Ch. de Sous-Caran 17B | Collonge-Bellerive | II |
| 1007945 | Ch. de Sous-Caran 17C | Collonge-Bellerive | II |
| 1008008 | Ch. de Sous-Caran 31 | Collonge-Bellerive | II |
| 1008007 | Ch. de Sous-Caran 33 (1) | Collonge-Bellerive | II |
| 295074598 | Ch. de Sous-Caran 33 (2) | Collonge-Bellerive | II |
| 1008041 | Ch. de Sous-Caran 35 | Collonge-Bellerive | II |
| 11514611 | Ch. de Sous-Caran 39 | Collonge-Bellerive | II |
| 3131551 | Ch. de Sous-Caran 39A | Collonge-Bellerive | II |
| 1008050 | Ch. de sous-Caran 41 | Collonge-Bellerive | II |
| 295113236 | Ch. de Sous-Caran 43 | Collonge-Bellerive | II |
| 1008036 | Ch. de Sous-Caran 45 | Collonge-Bellerive | II |
| 295072644 | Ch. des Ecureuils-Doret 12 | Collonge-Bellerive | II |

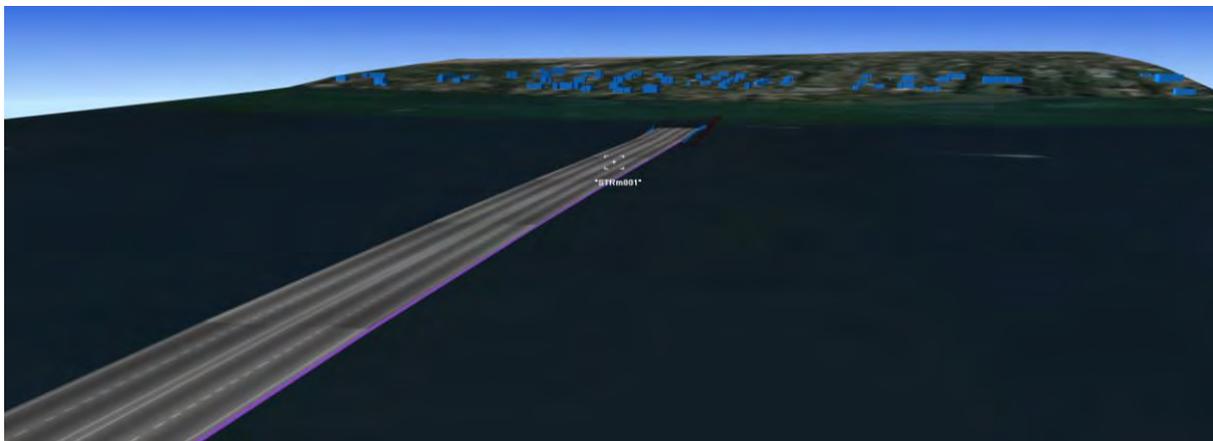
| | | | |
|-----------|---------------------------|--------------------|----|
| 2036054 | Ch. des Ecureuils-Doret 3 | Collonge-Bellerive | II |
| 1008039 | Ch. des Ecureuils-Doret 5 | Collonge-Bellerive | II |
| 295030353 | Ch. des Halbrans 2 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007984 | Ch. des Marèches 10 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007986 | Ch. des Marèches 12 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007987 | Ch. des Marèches 13 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007988 | Ch. des Marèches 15 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007989 | Ch. des Marèches 17 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007990 | Ch. des Marèches 19 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007991 | Ch. des Marèches 20 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007977 | Ch. des Marèches 4 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007978 | Ch. des Marèches 6 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007979 | Ch. des Marèches 6A | Collonge-Bellerive | II |
| 1007980 | Ch. des Marèches 6B | Collonge-Bellerive | II |
| 1007981 | Ch. des Marèches 7 | Collonge-Bellerive | II |
| 1007982 | Ch. des Marèches 8 | Collonge-Bellerive | II |
| 295040268 | Ch. des Marèches 9 | Collonge-Bellerive | II |

Annexe 3

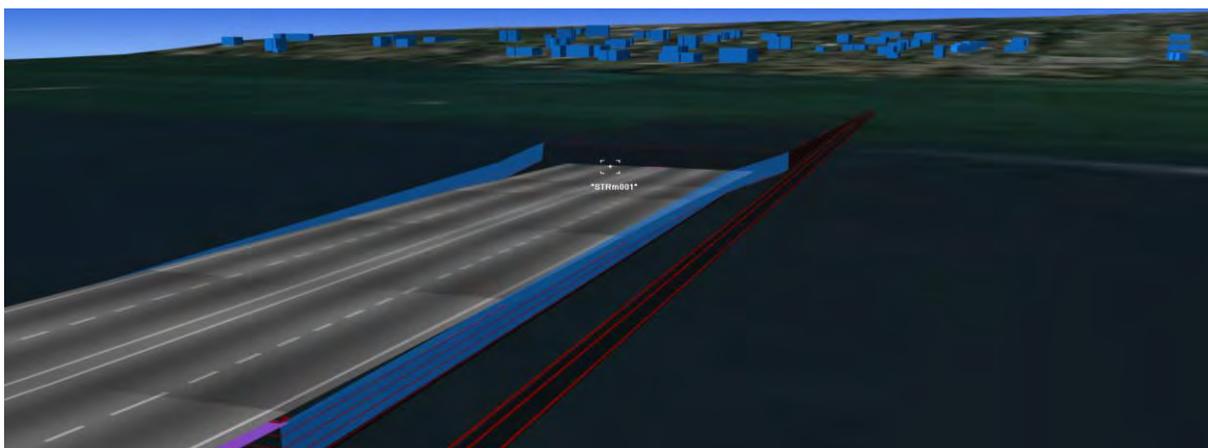
Vues 3D du modèle acoustique

Vue 3D - Modèle de bruit

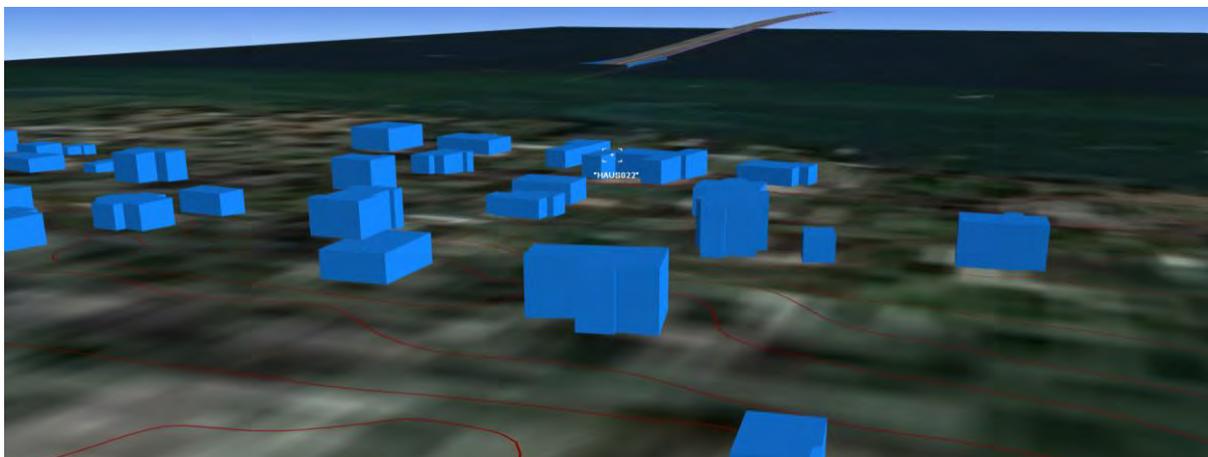
Vue générale



Accroche en île



Récepteurs



Annexe 4

Tableau des immissions

Scénario 1 - Trémie à 350 m de la rive

| Adresse | | EGID / utilisation | No. | Façade | Dir. | Etage | Niveaux d'évaluation Lr [dB(A)] | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------|---------|-------|---------------------------------|--------|
| | | | | | | | Jour | Nuit |
| Ch. de sous-Caran 13F | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007941 | 1 | 1 Est | RDC | 31.7 | 22.8 |
| | | | | 2 | 2 Sud | RDC | 42.6 | 33.8 |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 50.1 + | 41.3 + |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 31.9 | 23.1 |
| Ch. de sous-Caran 41 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008050 | 1 | 1 Ouest | RDC | 44.8 | 36.0 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 48.6 + | 39.8 + |
| | | | | 3 | 3 N/E | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 6 | 6 S/E | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | | 7 | 7 S/O | RDC | 35.8 | 27.0 |
| Ch. de la Praly 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036208 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.1 | 40.2 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 50.6 + | 41.8 + |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 37.2 | 28.3 |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 38.8 | 29.9 |
| | | | | 5 | 5 N/E | RDC | 30.3 - | 21.4 - |
| | | | | 6 | 6 Est | RDC | 30.2 - | 21.3 - |
| | | | | 7 | 7 S/E | RDC | 30.4 - | 21.5 - |
| | | | | 8 | 8 Sud | RDC | 41.5 | 32.6 |
| Ch. de la Réserve 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007992 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.5 | 40.6 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 48.3 | 39.4 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 30.4 - | 21.5 - |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.4 - | 21.5 - |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 44.8 | 35.9 |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 51.9 + | 43.0 + |
| Ch. des Halbrans 2 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295030353 | 1 | 1 Ouest | RDC | 42.4 | 33.5 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 29.2 | 20.4 |
| | | | | 3 | 4 Nord | RDC | 29.2 | 20.3 |
| | | | | 4 | 6 Est | RDC | 29.2 | 20.3 |
| | | | | 5 | 7 Sud | RDC | 43.5 + | 34.6 + |
| Ch. des Marèches 13 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007987 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.7 + | 37.9 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 44.1 | 35.2 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 40.2 | 31.3 |
| | | | | 4 | 4 N/E | RDC | 32.9 | 24.1 |
| | | | | 5 | 5 Est | RDC | 33.8 | 24.9 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 41.8 | 33.0 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295072644 | 1 | 1 N/E | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | | 2 | 2 S/E | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | | 3 | 3 S/O | RDC | 48.8 + | 39.9 + |
| | | | | 4 | 4 N/O | RDC | 48.7 | 39.9 |
| Ch. de la Réserve 9A (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 2749397 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.8 | 40.9 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 51.5 + | 42.6 + |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 31.6 | 22.7 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 31.5 - | 22.6 - |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 31.5 | 22.6 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 44.8 | 35.9 |
| Ch. de la Forêt 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007969 | 1 | 1 Sud | RDC | 48.8 + | 40.0 + |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 45.1 | 36.2 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 32.1 | 23.2 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 31.5 | 22.6 |
| Ch. des Marèches 20 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007991 | 1 | 1 N/O | RDC | 50.1 | 41.2 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 35.4 | 26.6 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 31.4 | 22.5 |
| | | | | 4 | 4 Sud | RDC | 45.7 | 36.8 |
| | | | | 5 | 5 S/O | RDC | 50.4 + | 41.5 + |
| Ch. de la Forêt 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007968 | 1 | 1 Nord | RDC | 32.2 | 23.4 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 32.0 | 23.1 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 31.1 | 22.2 |
| | | | | 4 | 4 S/E | RDC | 32.5 | 23.6 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 46.8 + | 37.9 + |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 38.0 | 29.1 |
| | | | | 7 | 7 Ouest | RDC | 34.1 | 25.3 |
| | | | | 8 | 8 Ouest | RDC | 33.9 | 25.1 |
| Ch. de la Praly 10 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008097 | 1 | 1 Sud | RDC | 42.6 | 33.7 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.8 | 40.0 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 49.0 + | 40.2 + |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.8 | 21.9 |
| Ch. de la Bise 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007975 | 1 | 1 Ouest | RDC | 35.0 | 26.1 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 39.0 | 30.2 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 31.1 | 22.2 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.9 | 22.0 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 30.9 | 22.1 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 49.7 + | 40.8 + |
| Ch. de Sous-Caran 13C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007938 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.7 | 40.8 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 42.9 | 34.0 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 31.6 | 22.8 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.8 | 21.9 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 49.6 | 40.8 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 49.8 + | 40.9 + |
| Ch. de la Forêt 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007965 | 1 | 1 Ouest | RDC | 33.0 | 24.1 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 35.9 | 27.1 |

Scénario 1 - Trémie à 350 m de la rive

| | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------|---|---------|-----|--------|--------|
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.8 | 21.9 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 32.1 | 23.2 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 44.4 | 35.5 |
| | | | 6 | 6 S/E | RDC | 37.6 | 28.7 |
| | | | 7 | 7 Sud | RDC | 49.5 | 40.6 |
| | | | 8 | 8 S/O | RDC | 49.5 + | 40.6 + |
| Ch. des Marèches 7 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007981 | 1 | 1 Est | RDC | 32.7 | 23.9 |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 51.1 | 42.2 |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 51.1 + | 42.2 + |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 32.9 | 24.0 |
| Ch. des Marèches 4 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007977 | 1 | 1 Sud | RDC | 50.1 | 41.3 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 50.2 + | 41.3 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 32.1 | 23.2 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 31.9 | 23.0 |
| Ch. de Botterel 18 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 295087550 | 1 | 3 Nord | RDC | 30.5 + | 21.6 + |
| | | | 2 | 4 Est | RDC | 30.4 | 21.6 |
| | | | 3 | 5 Sud | RDC | 30.4 | 21.6 |
| Ch. de la Forêt 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 295145858 | 1 | 1 Sud | RDC | 49.6 | 40.8 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 49.7 + | 40.8 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 33.2 | 24.3 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 41.9 | 33.1 |
| Ch. de Sous-Caran 33 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295074598 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.6 + | 40.7 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 45.0 | 36.1 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 37.3 | 28.4 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 47.2 | 38.3 |
| Ch. de Sous-Caran 31 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008008 | 1 | 1 Nord | RDC | 38.2 | 29.4 |
| | | | 2 | 2 N/E | RDC | 30.1 | 21.3 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | 4 | 4 S/E | RDC | 29.9 | 21.0 |
| | | | 5 | 5 Sud | RDC | 48.4 | 39.5 |
| | | | 6 | 6 Ouest | RDC | 48.8 + | 39.9 + |
| Ch. des Marèches 15 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007988 | 1 | 1 Ouest | RDC | 50.9 | 42.0 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 33.6 | 24.7 |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 32.7 | 23.9 |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 32.6 | 23.7 |
| | | | 5 | 4 Sud | RDC | 52.2 + | 43.3 + |
| | | | 6 | 5 Sud | RDC | 50.9 | 42.0 |
| | | | 7 | 6 Ouest | RDC | 50.8 | 41.9 |
| Ch. de la Praly 15 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007694 | 1 | 1 Ouest | RDC | 50.0 | 41.2 |
| | | | 2 | 3 N/E | RDC | 32.4 | 23.5 |
| | | | 3 | 4 N/E | RDC | 31.6 - | 22.7 - |
| | | | 4 | 5 Est | RDC | 31.6 - | 22.7 - |
| | | | 5 | 6 Sud | RDC | 33.3 | 24.4 |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 44.2 | 35.4 |
| | | | 7 | 8 S/O | RDC | 52.4 + | 43.5 + |
| Ch. des Marèches 19 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007990 | 1 | 1 Ouest | RDC | 50.3 + | 41.4 + |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 50.2 | 41.3 |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 32.6 | 23.7 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 33.5 | 24.6 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 32.2 | 23.3 |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 50.2 | 41.4 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 5 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008039 | 1 | 1 Sud | RDC | 49.6 | 40.7 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 49.9 + | 41.1 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 38.1 | 29.2 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 34.6 | 25.7 |
| Ch. de la Réserve 9A (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295085171 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.7 | 40.8 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 49.8 + | 40.9 + |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 49.8 | 40.9 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 48.3 | 39.4 |
| Ch. de Botterel 18 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007659 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.4 | 40.6 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 49.3 | 40.5 |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 49.2 | 40.3 |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 30.5 - | 21.6 - |
| | | | 5 | 5 S/E | RDC | 30.6 - | 21.7 - |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 30.6 - | 21.8 - |
| | | | 7 | 9 Ouest | RDC | 51.7 | 42.8 |
| | | | 8 | 9 Ouest | RDC | 51.8 + | 42.9 + |
| Ch. de la Praly 11 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007681 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.4 + | 40.6 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 48.8 | 39.9 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 43.1 | 34.2 |
| Ch. de la Réserve 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007993 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.7 + | 40.8 + |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 48.5 | 39.7 |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 48.9 | 40.0 |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 31.0 | 22.2 |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 45.5 | 36.6 |
| Ch. de la Bise 12 | Collonge-Bellerive | Habitation 295113849 | 1 | 1 Ouest | RDC | 40.4 | 31.5 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 31.1 | 22.2 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 31.1 | 22.2 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 42.9 + | 34.0 + |
| Ch. de Sous-Caran 33 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1008007 | 1 | 1 Nord | RDC | 42.5 | 33.6 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 40.5 | 31.6 |
| | | | 3 | 3 N/E | RDC | 31.9 | 23.0 |

Scénario 1 - Trémie à 350 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 4 | 4 | Est | RDC | 34.8 | 25.9 | |
| | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 38.1 | 29.2 | |
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 44.4 + | 35.6 + | |
| | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 42.7 | 33.8 | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 38.8 | 29.9 | |
| Ch. de Sous-Caran 35 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008041 | 1 | 1 | N/O | RDC | 52.3 + | 43.5 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 42.8 | 33.9 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 37.2 | 28.4 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 34.9 | 26.0 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 49.2 | 40.4 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 52.1 | 43.2 |
| Ch. des Marèches 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295040268 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 51.2 | 42.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 53.7 | 44.9 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 33.0 - | 24.2 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 33.0 - | 24.1 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 51.1 | 42.2 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 53.8 + | 44.9 + |
| Ch. des Marèches 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007982 | 1 | 1 | Est | RDC | 32.0 | 23.1 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 50.2 | 41.3 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 50.2 + | 41.3 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 32.0 | 23.2 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 32.0 | 23.2 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 32.1 | 23.2 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 2 | Ouest | RDC | 49.6 | 40.8 |
| | | | | 2 | 3 | Nord | RDC | 51.5 + | 42.7 + |
| | | | | 3 | 4 | Ouest | RDC | 49.5 | 40.6 |
| | | | | 4 | 5 | Nord | RDC | 49.2 | 40.3 |
| Ch. de la Bise 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007976 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 50.0 | 41.1 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 32.3 - | 23.5 - |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 35.3 | 26.4 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 39.0 | 30.1 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 33.1 | 24.2 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 50.0 | 41.1 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 52.5 + | 43.6 + |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 50.0 | 41.1 |
| Ch. des Marèches 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007979 | 1 | 1 | N/O | RDC | 36.8 | 27.9 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 31.3 | 22.5 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 31.3 | 22.4 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 40.3 + | 31.4 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 34.3 | 25.4 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 34.6 | 25.7 |
| Ch. de Sous-Caran 13E | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007940 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 36.7 | 27.8 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 39.2 | 30.3 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 32.6 | 23.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.5 | 22.6 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 50.1 + | 41.3 + |
| Ch. des Marèches 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007986 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 50.5 + | 41.7 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 47.2 | 38.4 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 33.7 | 24.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.5 | 22.7 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 39.0 | 30.1 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 50.2 | 41.3 |
| Ch. de la Forêt 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007967 | 1 | 1 | Est | RDC | 33.3 | 24.5 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 49.7 + | 40.9 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 45.7 | 36.8 |
| | | | | 4 | 5 | Ouest | RDC | 46.1 | 37.2 |
| | | | | 5 | 6 | Nord | RDC | 38.3 | 29.5 |
| Ch. de Sous-Caran 45 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008036 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.0 | 39.2 |
| | | | | 2 | 9 | Nord | RDC | 29.6 | 20.8 |
| | | | | 3 | 16 | Est | RDC | 29.6 | 20.8 |
| | | | | 4 | 17 | Est | RDC | 30.1 | 21.3 |
| | | | | 5 | 18 | S/E | RDC | 29.8 | 20.9 |
| | | | | 6 | 19 | Sud | RDC | 48.1 + | 39.2 + |
| Ch. de la Baie 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035970 | 1 | 1 | Sud | RDC | 29.7 | 20.8 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 48.4 | 39.6 |
| | | | | 3 | 2 | Ouest | RDC | 48.4 + | 39.6 + |
| | | | | 4 | 3 | Nord | RDC | 48.3 | 39.4 |
| | | | | 5 | 4 | Est | RDC | 29.6 | 20.7 |
| | | | | 6 | 5 | Sud | RDC | 29.6 | 20.7 |
| | | | | 7 | 6 | Est | RDC | 29.6 | 20.7 |
| Ch. de Sous-Caran 13D | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007957 | 1 | 1 | Sud | RDC | 49.8 | 40.9 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 50.4 | 41.5 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 52.3 + | 43.4 + |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 35.4 | 26.5 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 31.5 - | 22.6 - |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 31.1 - | 22.2 - |
| Ch. de la Praly 10 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295100358 | 1 | 1 | Est | RDC | 30.9 | 22.0 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 46.7 | 37.9 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 49.4 + | 40.6 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 49.0 | 40.2 |
| Ch. de Beauvoir 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007971 | 1 | 1 | Sud | RDC | 49.7 | 40.8 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 49.7 + | 40.9 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 40.0 | 31.2 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.9 | 22.0 |

Scénario 1 - Trémie à 350 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|------------|-----------|---|---|-------|-----|--------|--------|
| Ch. de la Forêt 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007966 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 50.0 + | 41.1 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 35.3 | 26.5 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 37.9 | 29.0 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.2 | 22.3 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 49.5 | 40.6 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 49.5 | 40.6 |
| Ch. de la Baie 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035972 | 1 | 1 | Sud | RDC | 31.3 | 22.4 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 48.1 | 39.3 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 49.6 + | 40.7 + |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 42.0 | 33.2 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 44.8 | 35.9 |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 40.3 | 31.4 |
| Ch. de la Praly 15 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295092139 | 1 | 1 | Nord | RDC | 31.8 | 22.9 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 34.5 | 25.6 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 47.9 | 39.0 |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 49.9 + | 41.1 + |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 49.7 | 40.8 |
| Ch. de la Réserve 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007996 | 1 | 1 | N/O | RDC | 50.2 | 41.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 51.5 + | 42.7 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 49.5 | 40.7 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.7 | 22.8 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 31.8 | 22.9 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 31.8 | 22.9 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 49.1 | 40.3 |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 50.2 | 41.3 |
| Ch. de Beauvoir 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007972 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 49.0 | 40.2 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 39.8 | 30.9 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 32.1 - | 23.2 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.9 - | 23.0 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 31.8 - | 22.9 - |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 50.1 | 41.2 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 52.6 + | 43.8 + |
| Ch. des Ecureuils-Doret 3 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036054 | 1 | 1 | Sud | RDC | 49.3 + | 40.4 + |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 49.2 | 40.3 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 30.7 | 21.9 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 32.6 | 23.7 |
| Ch. des Marèches 6B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007980 | 1 | 1 | N/O | RDC | 36.5 | 27.7 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 31.1 - | 22.3 - |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 31.0 - | 22.2 - |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 52.3 + | 43.4 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 36.2 | 27.4 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 34.2 | 25.3 |
| Ch. de Sous-Caran 17C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007945 | 1 | 1 | Est | RDC | 31.0 | 22.2 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 49.8 | 40.9 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 49.9 + | 41.0 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 31.3 | 22.4 |
| Ch. de la Baie 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131527 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 42.0 | 33.1 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 48.2 + | 39.4 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 48.2 | 39.3 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 29.4 | 20.5 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 29.2 | 20.4 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 49.6 | 40.8 |
| | | | | 2 | 3 | Est | RDC | 31.3 - | 22.5 - |
| | | | | 3 | 4 | Sud | RDC | 43.8 | 35.0 |
| | | | | 4 | 5 | Sud | RDC | 51.2 | 42.3 |
| | | | | 5 | 6 | Ouest | RDC | 52.2 + | 43.3 + |
| Ch. des Marèches 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007978 | 1 | 1 | N/O | RDC | 50.1 | 41.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 31.5 | 22.7 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 31.5 | 22.6 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 50.1 | 41.2 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 31.6 | 22.7 |
| | | | | 6 | 6 | S/O | RDC | 50.4 + | 41.5 + |
| Ch. de Sous-Caran 39A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131551 | 1 | 1 | N/O | RDC | 39.4 | 30.5 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 37.9 | 29.0 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 30.3 | 21.4 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 45.5 + | 36.6 + |
| Ch. de Sous-Caran 43 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295113236 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.8 | 37.0 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 29.3 | 20.5 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 29.2 | 20.4 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 29.3 | 20.4 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 29.4 | 20.5 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 47.2 | 38.3 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 48.1 + | 39.3 + |
| | | | | 8 | 7 | Ouest | RDC | 47.1 | 38.2 |
| Ch. de Beauvoir 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007994 | 1 | 1 | Nord | RDC | 37.3 | 28.4 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 42.1 | 33.2 |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 49.5 + | 40.7 + |
| Ch. des Marèches 17 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007989 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 50.4 | 41.5 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 32.3 - | 23.5 - |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 32.8 - | 23.9 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 32.1 - | 23.3 - |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 33.5 | 24.7 |

Scénario 1 - Trémie à 350 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|------------|----------|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 47.7 | 38.8 | |
| | | | 7 | 7 | S/O | RDC | 52.8 | 44.0 | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 52.9 + | 44.0 + | |
| Ch. de la Baie 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035968 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 51.2 + | 42.3 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 48.7 | 39.9 |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 48.7 | 39.9 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 30.8 - | 21.9 - |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 30.5 - | 21.7 - |
| | | | | 7 | 7 | S/E | RDC | 30.6 - | 21.7 - |
| | | | | 8 | 8 | Sud | RDC | 30.6 - | 21.7 - |
| Ch. des Marêches 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007984 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 50.5 + | 41.7 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 46.6 | 37.7 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 32.4 | 23.6 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 50.1 | 41.3 |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 50.2 | 41.3 |
| Ch. de Sous-Caran 39 | Collonge-Bellerive | Habitation | 11514611 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.8 | 40.0 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 42.1 | 33.2 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 39.8 | 30.9 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.3 | 21.4 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 48.9 | 40.0 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 49.1 + | 40.2 + |
| Ch. de Sous-Caran 17B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007944 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.1 | 36.3 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 30.4 | 21.6 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 30.4 | 21.5 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 49.4 + | 40.5 + |
| Ch. de la Forêt 5 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007964 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 44.7 | 35.8 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 35.3 | 26.5 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 30.3 | 21.5 |
| | | | | 4 | 4 | N/E | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 30.4 | 21.5 |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 30.3 | 21.4 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 49.2 + | 40.3 + |
| Ch. de la Forêt 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036319 | 1 | 1 | Est | RDC | 30.4 - | 21.5 - |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 48.9 | 40.1 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 49.4 | 40.5 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 51.6 + | 42.7 + |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 47.6 | 38.7 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 32.8 | 24.0 |

+ = immission la plus élevée pour le bâtiment

- = diff. de niveau >= 20 dB par rapport à l'immission la plus élevée

Scénario 2 - Trémie à 450 m de la rive

| Adresse | | EGID / utilisation | No. | Façade | Dir. | Etage | Niveaux d'évaluation Lr [dB(A)] | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------|---------|-------|---------------------------------|--------|
| | | | | | | | Jour | Nuit |
| Ch. de sous-Caran 13F | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007941 | 1 | 1 Est | RDC | 30.3 | 21.4 |
| | | | | 2 | 2 Sud | RDC | 41.3 | 32.4 |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 48.9 + | 40.0 + |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 30.3 | 21.5 |
| Ch. de sous-Caran 41 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008050 | 1 | 1 Ouest | RDC | 45.2 | 36.4 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 47.5 + | 38.6 + |
| | | | | 3 | 3 N/E | RDC | 29.2 | 20.4 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 29.2 | 20.3 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 29.3 | 20.4 |
| | | | | 6 | 6 S/E | RDC | 29.3 | 20.5 |
| | | | | 7 | 7 S/O | RDC | 34.4 | 25.5 |
| Ch. de la Praly 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036208 | 1 | 1 Ouest | RDC | 47.7 | 38.8 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 50.0 + | 41.1 + |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 35.9 | 27.1 |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 37.2 | 28.3 |
| | | | | 5 | 5 N/E | RDC | 29.1 - | 20.2 - |
| | | | | 6 | 6 Est | RDC | 28.9 - | 20.0 - |
| | | | | 7 | 7 S/E | RDC | 28.9 - | 20.0 - |
| | | | | 8 | 8 Sud | RDC | 42.0 | 33.2 |
| Ch. de la Réserve 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007992 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.1 | 39.2 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 46.2 | 37.3 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 29.0 - | 20.1 - |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 29.0 - | 20.2 - |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 45.1 | 36.2 |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 50.5 + | 41.7 + |
| Ch. des Halbrans 2 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295030353 | 1 | 1 Ouest | RDC | 42.0 + | 33.1 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 28.0 | 19.1 |
| | | | | 3 | 4 Nord | RDC | 27.9 | 19.0 |
| | | | | 4 | 6 Est | RDC | 27.9 | 19.1 |
| | | | | 5 | 7 Sud | RDC | 39.6 | 30.8 |
| Ch. des Marèches 13 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007987 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.6 + | 37.8 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 43.9 | 35.0 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 41.5 | 32.6 |
| | | | | 4 | 4 N/E | RDC | 32.3 | 23.4 |
| | | | | 5 | 5 Est | RDC | 32.6 | 23.7 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 40.1 | 31.3 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295072644 | 1 | 1 N/E | RDC | 29.4 | 20.5 |
| | | | | 2 | 2 S/E | RDC | 29.4 | 20.5 |
| | | | | 3 | 3 S/O | RDC | 47.6 + | 38.7 + |
| | | | | 4 | 4 N/O | RDC | 47.6 | 38.7 |
| Ch. de la Réserve 9A (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 2749397 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.4 | 39.6 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 49.4 + | 40.5 + |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.0 | 21.1 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.0 | 21.1 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 30.0 | 21.1 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 45.4 | 36.6 |
| Ch. de la Forêt 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007969 | 1 | 1 Sud | RDC | 47.4 + | 38.5 + |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 42.6 | 33.7 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.0 | 21.1 |
| Ch. des Marèches 20 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007991 | 1 | 1 N/O | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 35.7 | 26.9 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 30.0 - | 21.1 - |
| | | | | 4 | 4 Sud | RDC | 45.6 | 36.7 |
| | | | | 5 | 5 S/O | RDC | 50.5 + | 41.6 + |
| Ch. de la Forêt 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007968 | 1 | 1 Nord | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 31.2 | 22.3 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 29.7 | 20.9 |
| | | | | 4 | 4 S/E | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 42.8 + | 33.9 + |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 36.5 | 27.6 |
| | | | | 7 | 7 Ouest | RDC | 32.7 | 23.8 |
| | | | | 8 | 8 Ouest | RDC | 32.8 | 24.0 |
| Ch. de la Praly 10 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008097 | 1 | 1 Sud | RDC | 43.1 | 34.2 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 47.5 + | 38.7 + |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 47.3 | 38.4 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 29.4 | 20.5 |
| Ch. de la Bise 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007975 | 1 | 1 Ouest | RDC | 33.7 | 24.8 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 37.6 | 28.8 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.1 | 21.2 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 29.5 | 20.6 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 29.5 | 20.7 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 48.2 + | 39.4 + |
| Ch. de Sous-Caran 13C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007938 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.3 | 39.4 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 41.5 | 32.7 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 29.6 | 20.8 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 29.4 | 20.6 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 48.2 | 39.3 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 48.3 + | 39.5 + |
| Ch. de la Forêt 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007965 | 1 | 1 Ouest | RDC | 31.7 | 22.8 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 34.6 | 25.7 |

Scénario 2 - Trémie à 450 m de la rive

| | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------|---|---------|-----|--------|--------|
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 29.5 | 20.6 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 35.3 | 26.4 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 43.4 | 34.5 |
| | | | 6 | 6 S/E | RDC | 38.5 | 29.7 |
| | | | 7 | 7 Sud | RDC | 48.1 | 39.2 |
| | | | 8 | 8 S/O | RDC | 48.1 + | 39.2 + |
| Ch. des Marèches 7 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007981 | 1 | 1 Est | RDC | 31.0 | 22.2 |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 49.5 + | 40.6 + |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 49.5 | 40.6 |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 31.2 | 22.3 |
| Ch. des Marèches 4 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007977 | 1 | 1 Sud | RDC | 48.6 | 39.8 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.7 + | 39.8 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 31.0 | 22.2 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 30.4 | 21.5 |
| Ch. de Botterel 18 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 295087550 | 1 | 3 Nord | RDC | 29.1 + | 20.3 + |
| | | | 2 | 4 Est | RDC | 29.1 | 20.2 |
| | | | 3 | 5 Sud | RDC | 29.1 | 20.2 |
| Ch. de la Forêt 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 295145858 | 1 | 1 Sud | RDC | 48.3 + | 39.4 + |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.2 | 39.4 |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.1 | 21.2 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 40.7 | 31.8 |
| Ch. de Sous-Caran 33 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295074598 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.1 + | 39.2 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 44.4 | 35.5 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 36.5 | 27.7 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 47.0 | 38.1 |
| Ch. de Sous-Caran 31 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008008 | 1 | 1 Nord | RDC | 38.7 | 29.9 |
| | | | 2 | 2 N/E | RDC | 29.8 | 20.9 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 28.6 | 19.7 |
| | | | 4 | 4 S/E | RDC | 28.6 | 19.7 |
| | | | 5 | 5 Sud | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | 6 | 6 Ouest | RDC | 47.4 + | 38.6 + |
| Ch. des Marèches 15 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007988 | 1 | 1 Ouest | RDC | 49.5 | 40.7 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 31.3 | 22.4 |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 31.1 | 22.2 |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 31.0 | 22.1 |
| | | | 5 | 4 Sud | RDC | 50.8 + | 41.9 + |
| | | | 6 | 5 Sud | RDC | 49.9 | 41.1 |
| | | | 7 | 6 Ouest | RDC | 49.6 | 40.7 |
| Ch. de la Praly 15 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007694 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.6 | 39.8 |
| | | | 2 | 3 N/E | RDC | 30.5 - | 21.6 - |
| | | | 3 | 4 N/E | RDC | 30.2 - | 21.3 - |
| | | | 4 | 5 Est | RDC | 30.2 - | 21.3 - |
| | | | 5 | 6 Sud | RDC | 31.8 | 22.9 |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 44.9 | 36.0 |
| | | | 7 | 8 S/O | RDC | 51.0 + | 42.1 + |
| Ch. des Marèches 19 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007990 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.9 + | 40.0 + |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.8 | 39.9 |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 30.8 | 22.0 |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 48.8 | 39.9 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 5 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008039 | 1 | 1 Sud | RDC | 48.1 | 39.3 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.6 + | 39.7 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 38.4 | 29.5 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 35.1 | 26.2 |
| Ch. de la Réserve 9A (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295085171 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.4 | 39.5 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 48.4 + | 39.6 + |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 48.4 | 39.5 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 45.9 | 37.0 |
| Ch. de Botterel 18 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007659 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.1 | 39.2 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 48.0 | 39.1 |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 47.8 | 39.0 |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 29.1 - | 20.3 - |
| | | | 5 | 5 S/E | RDC | 29.2 - | 20.4 - |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 29.5 - | 20.7 - |
| | | | 7 | 9 Ouest | RDC | 50.4 | 41.5 |
| | | | 8 | 9 Ouest | RDC | 50.5 + | 41.6 + |
| Ch. de la Praly 11 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007681 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.0 + | 39.2 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 47.0 | 38.2 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 29.3 | 20.4 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 43.5 | 34.7 |
| Ch. de la Réserve 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007993 | 1 | 1 Ouest | RDC | 48.2 | 39.4 |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 48.3 + | 39.4 + |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 47.5 | 38.6 |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 46.6 | 37.7 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 29.6 | 20.7 |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 45.7 | 36.9 |
| Ch. de la Bise 12 | Collonge-Bellerive | Habitation 295113849 | 1 | 1 Ouest | RDC | 38.9 | 30.1 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 29.7 | 20.8 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 29.6 | 20.8 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 41.4 + | 32.6 + |
| Ch. de Sous-Caran 33 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1008007 | 1 | 1 Nord | RDC | 42.2 + | 33.3 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 35.3 | 26.4 |
| | | | 3 | 3 N/E | RDC | 30.4 | 21.5 |

Scénario 2 - Trémie à 450 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------|---|-------|-------|------|--------|--------|
| | | | 4 | 4 | Est | RDC | 33.8 | 24.9 | |
| | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 31.3 | 22.5 | |
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 41.0 | 32.1 | |
| | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 39.3 | 30.5 | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 37.5 | 28.6 | |
| Ch. de Sous-Caran 35 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008041 | 1 | 1 | N/O | RDC | 50.6 | 41.8 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 42.8 | 33.9 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 36.7 | 27.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 35.4 | 26.5 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 47.8 | 39.0 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 50.7 + | 41.9 + |
| Ch. des Marèches 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295040268 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 49.6 | 40.7 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 52.1 + | 43.3 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 31.4 - | 22.5 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.2 - | 22.4 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 49.4 | 40.5 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 52.1 | 43.3 |
| Ch. des Marèches 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007982 | 1 | 1 | Est | RDC | 30.4 | 21.6 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 48.7 + | 39.8 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 30.5 | 21.7 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 30.5 | 21.6 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 30.5 | 21.6 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 2 | Ouest | RDC | 48.3 | 39.4 |
| | | | | 2 | 3 | Nord | RDC | 49.9 + | 41.0 + |
| | | | | 3 | 4 | Ouest | RDC | 48.0 | 39.1 |
| | | | | 4 | 5 | Nord | RDC | 47.4 | 38.6 |
| Ch. de la Bise 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007976 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.5 | 39.7 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 29.9 - | 21.0 - |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 34.0 | 25.1 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 37.5 | 28.6 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 29.9 - | 21.0 - |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 48.5 | 39.6 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 51.0 + | 42.2 + |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 48.5 | 39.7 |
| Ch. des Marèches 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007979 | 1 | 1 | N/O | RDC | 35.3 | 26.4 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 29.9 | 21.0 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 29.8 | 21.0 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 38.7 + | 29.8 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 32.8 | 23.9 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 33.1 | 24.2 |
| Ch. de Sous-Caran 13E | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007940 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 35.2 | 26.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 37.7 | 28.8 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 30.9 | 22.0 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.0 | 21.2 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 48.7 + | 39.8 + |
| Ch. des Marèches 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007986 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.9 + | 40.0 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 47.5 | 38.7 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 31.3 | 22.4 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.2 | 21.3 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 32.0 | 23.1 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 48.7 | 39.8 |
| Ch. de la Forêt 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007967 | 1 | 1 | Est | RDC | 32.4 | 23.5 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 48.0 + | 39.2 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 45.2 | 36.4 |
| | | | | 4 | 5 | Ouest | RDC | 45.4 | 36.6 |
| | | | | 5 | 6 | Nord | RDC | 39.4 | 30.5 |
| Ch. de Sous-Caran 45 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008036 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.9 | 38.0 |
| | | | | 2 | 9 | Nord | RDC | 28.4 | 19.6 |
| | | | | 3 | 16 | Est | RDC | 28.4 | 19.6 |
| | | | | 4 | 17 | Est | RDC | 28.9 | 20.0 |
| | | | | 5 | 18 | S/E | RDC | 28.6 | 19.7 |
| | | | | 6 | 19 | Sud | RDC | 46.9 + | 38.1 + |
| Ch. de la Baie 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035970 | 1 | 1 | Sud | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 47.3 | 38.4 |
| | | | | 3 | 2 | Ouest | RDC | 47.3 + | 38.4 + |
| | | | | 4 | 3 | Nord | RDC | 47.1 | 38.3 |
| | | | | 5 | 4 | Est | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 6 | 5 | Sud | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 7 | 6 | Est | RDC | 28.4 | 19.6 |
| Ch. de Sous-Caran 13D | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007957 | 1 | 1 | Sud | RDC | 48.3 | 39.5 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 48.9 | 40.1 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 50.9 + | 42.0 + |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 33.9 | 25.1 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 30.0 - | 21.1 - |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 29.6 - | 20.8 - |
| Ch. de la Praly 10 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295100358 | 1 | 1 | Est | RDC | 29.5 | 20.6 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 46.9 | 38.1 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 48.0 + | 39.2 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 47.3 | 38.5 |
| Ch. de Beauvoir 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007971 | 1 | 1 | Sud | RDC | 48.2 | 39.4 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 48.3 + | 39.4 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 31.9 | 23.0 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 29.6 | 20.7 |

Scénario 2 - Trémie à 450 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|------------|-----------|---|---|-------|-----|--------|--------|
| Ch. de la Forêt 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007966 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.2 + | 39.4 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 35.2 | 26.4 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 37.3 | 28.4 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.1 | 21.2 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 48.1 | 39.2 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 48.1 | 39.3 |
| Ch. de la Baie 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035972 | 1 | 1 | Sud | RDC | 29.8 | 21.0 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 46.7 | 37.9 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 48.0 + | 39.1 + |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 42.4 | 33.5 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 43.2 | 34.3 |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 39.1 | 30.3 |
| Ch. de la Praly 15 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295092139 | 1 | 1 | Nord | RDC | 30.3 | 21.5 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 33.8 | 24.9 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 48.0 | 39.1 |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 48.5 + | 39.7 + |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 48.2 | 39.4 |
| Ch. de la Réserve 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007996 | 1 | 1 | N/O | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 49.4 + | 40.5 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 47.6 | 38.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.1 | 21.3 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 30.2 | 21.3 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 30.2 | 21.4 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 48.6 | 39.7 |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 48.7 | 39.9 |
| Ch. de Beauvoir 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007972 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.4 | 37.6 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 34.8 | 26.0 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 30.5 - | 21.6 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.2 - | 21.3 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 30.0 - | 21.1 - |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 48.6 | 39.7 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 51.2 + | 42.3 + |
| Ch. des Ecureuils-Doret 3 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036054 | 1 | 1 | Sud | RDC | 47.9 | 39.0 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 47.9 + | 39.0 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 29.4 | 20.6 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 31.2 | 22.3 |
| Ch. des Marèches 6B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007980 | 1 | 1 | N/O | RDC | 35.1 | 26.2 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 29.6 - | 20.8 - |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 29.6 - | 20.7 - |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 50.8 + | 42.0 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 34.8 | 26.0 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 32.8 | 23.9 |
| Ch. de Sous-Caran 17C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007945 | 1 | 1 | Est | RDC | 29.6 | 20.8 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 48.4 | 39.5 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 48.4 + | 39.6 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 30.2 | 21.3 |
| Ch. de la Baie 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131527 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 42.7 | 33.8 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 47.1 + | 38.2 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 47.0 | 38.2 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 28.2 | 19.3 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 28.1 | 19.2 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.3 | 39.4 |
| | | | | 2 | 3 | Est | RDC | 29.9 - | 21.0 - |
| | | | | 3 | 4 | Sud | RDC | 44.6 | 35.7 |
| | | | | 4 | 5 | Sud | RDC | 49.9 | 41.1 |
| | | | | 5 | 6 | Ouest | RDC | 50.8 + | 42.0 + |
| Ch. des Marèches 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007978 | 1 | 1 | N/O | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 30.1 | 21.2 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 30.1 | 21.2 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 48.6 | 39.8 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 30.2 | 21.3 |
| | | | | 6 | 6 | S/O | RDC | 48.7 + | 39.8 + |
| Ch. de Sous-Caran 39A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131551 | 1 | 1 | N/O | RDC | 35.8 | 27.0 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 31.0 | 22.1 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 29.1 | 20.2 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 45.2 + | 36.3 + |
| Ch. de Sous-Caran 43 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295113236 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.8 + | 36.9 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 28.2 | 19.3 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 28.1 | 19.2 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.1 | 19.2 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 28.2 | 19.3 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 45.4 | 36.6 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 45.5 | 36.6 |
| | | | | 8 | 7 | Ouest | RDC | 45.2 | 36.4 |
| Ch. de Beauvoir 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007994 | 1 | 1 | Nord | RDC | 29.7 | 20.8 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 29.4 | 20.6 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 41.7 | 32.8 |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 48.2 + | 39.3 + |
| Ch. des Marèches 17 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007989 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.9 | 40.1 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 30.7 - | 21.9 - |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 30.8 - | 22.0 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 30.6 - | 21.7 - |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 32.3 | 23.4 |

Scénario 2 - Trémie à 450 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|------------|----------|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 47.8 | 38.9 | |
| | | | 7 | 7 | S/O | RDC | 51.4 | 42.5 | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 51.4 + | 42.5 + | |
| Ch. de la Baie 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035968 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 47.6 | 38.7 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 50.1 + | 41.2 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 47.6 | 38.8 |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 47.6 | 38.7 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 29.9 - | 21.0 - |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 29.3 - | 20.5 - |
| | | | | 7 | 7 | S/E | RDC | 29.3 - | 20.5 - |
| | | | | 8 | 8 | Sud | RDC | 29.4 - | 20.5 - |
| Ch. des Marêches 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007984 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 48.8 + | 39.9 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 44.8 | 35.9 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 30.4 | 21.5 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 48.7 | 39.8 |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 48.7 | 39.9 |
| Ch. de Sous-Caran 39 | Collonge-Bellerive | Habitation | 11514611 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 47.3 | 38.4 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 42.3 | 33.4 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 39.0 | 30.2 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 29.2 | 20.3 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 47.6 | 38.7 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 47.7 + | 38.9 + |
| Ch. de Sous-Caran 17B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007944 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 43.8 | 34.9 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 29.1 | 20.2 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 29.0 | 20.1 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 48.0 + | 39.1 + |
| Ch. de la Forêt 5 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007964 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 37.9 | 29.1 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 33.9 | 25.1 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 28.8 | 20.0 |
| | | | | 4 | 4 | N/E | RDC | 28.8 | 19.9 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 28.8 | 19.9 |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 28.9 | 20.1 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 47.8 + | 38.9 + |
| Ch. de la Forêt 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036319 | 1 | 1 | Est | RDC | 29.2 - | 20.4 - |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 47.7 | 38.8 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 47.7 | 38.8 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 50.2 + | 41.4 + |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 45.1 | 36.3 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 30.4 | 21.5 |

+ = immission la plus élevée pour le bâtiment

- = diff. de niveau >= 20 dB par rapport à l'immission la plus élevée

Scénario 3 - Trémie à 600 m de la rive

| Adresse | | EGID / utilisation | No. | Façade | Dir. | Etage | Niveaux d'évaluation Lr [dB(A)] | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------|---------|-------|---------------------------------|--------|
| | | | | | | | Jour | Nuit |
| Ch. de sous-Caran 13F | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007941 | 1 | 1 Est | RDC | 28.2 | 19.4 |
| | | | | 2 | 2 Sud | RDC | 39.3 | 30.4 |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 46.9 + | 38.1 + |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 28.7 | 19.9 |
| Ch. de sous-Caran 41 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008050 | 1 | 1 Ouest | RDC | 45.3 | 36.4 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 45.8 + | 36.9 + |
| | | | | 3 | 3 N/E | RDC | 27.5 | 18.6 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.5 | 18.6 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 27.5 | 18.7 |
| | | | | 6 | 6 S/E | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 7 | 7 S/O | RDC | 32.6 | 23.8 |
| Ch. de la Praly 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036208 | 1 | 1 Ouest | RDC | 45.9 | 37.0 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 48.4 + | 39.5 + |
| | | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 34.2 | 25.3 |
| | | | | 4 | 4 Nord | RDC | 34.7 | 25.9 |
| | | | | 5 | 5 N/E | RDC | 27.9 - | 19.0 - |
| | | | | 6 | 6 Est | RDC | 27.2 - | 18.3 - |
| | | | | 7 | 7 S/E | RDC | 27.2 - | 18.3 - |
| | | | | 8 | 8 Sud | RDC | 42.7 | 33.8 |
| Ch. de la Réserve 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007992 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.3 | 37.4 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 42.6 | 33.7 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 27.2 - | 18.4 - |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.2 - | 18.4 - |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 45.2 | 36.4 |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 48.7 + | 39.9 + |
| Ch. des Halbrans 2 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295030353 | 1 | 1 Ouest | RDC | 42.4 + | 33.5 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 26.3 | 17.4 |
| | | | | 3 | 4 Nord | RDC | 26.2 | 17.3 |
| | | | | 4 | 6 Est | RDC | 26.2 | 17.3 |
| | | | | 5 | 7 Sud | RDC | 38.9 | 30.0 |
| Ch. des Marèches 13 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007987 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.4 + | 37.6 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 43.8 | 34.9 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 40.4 | 31.5 |
| | | | | 4 | 4 N/E | RDC | 29.9 | 21.0 |
| | | | | 5 | 5 Est | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 38.0 | 29.1 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295072644 | 1 | 1 N/E | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 2 | 2 S/E | RDC | 27.6 | 18.8 |
| | | | | 3 | 3 S/O | RDC | 46.0 + | 37.1 + |
| | | | | 4 | 4 N/O | RDC | 45.9 | 37.1 |
| Ch. de la Réserve 9A (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 2749397 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.6 + | 37.8 + |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 46.1 | 37.2 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.0 | 19.1 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.9 | 19.1 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 27.9 | 19.1 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 45.8 | 36.9 |
| Ch. de la Forêt 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007969 | 1 | 1 Sud | RDC | 45.2 + | 36.4 + |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 40.0 | 31.1 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.4 | 19.6 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 28.1 | 19.2 |
| Ch. des Marèches 20 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007991 | 1 | 1 N/O | RDC | 44.0 | 35.2 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 35.2 | 26.4 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 28.1 - | 19.2 - |
| | | | | 4 | 4 Sud | RDC | 45.5 | 36.7 |
| | | | | 5 | 5 S/O | RDC | 48.9 + | 40.1 + |
| Ch. de la Forêt 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007968 | 1 | 1 Nord | RDC | 29.5 | 20.6 |
| | | | | 2 | 2 Nord | RDC | 29.3 | 20.4 |
| | | | | 3 | 3 Est | RDC | 27.8 | 19.0 |
| | | | | 4 | 4 S/E | RDC | 27.8 | 19.0 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 33.4 | 24.5 |
| | | | | 6 | 6 S/O | RDC | 34.5 + | 25.7 + |
| | | | | 7 | 7 Ouest | RDC | 30.8 | 21.9 |
| | | | | 8 | 8 Ouest | RDC | 31.1 | 22.2 |
| Ch. de la Praly 10 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008097 | 1 | 1 Sud | RDC | 43.4 | 34.5 |
| | | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 45.8 + | 37.0 + |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 44.6 | 35.8 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.5 | 18.6 |
| Ch. de la Bise 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007975 | 1 | 1 Ouest | RDC | 31.7 | 22.8 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 35.5 | 26.6 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.0 | 19.1 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 5 | 5 S/E | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 46.3 + | 37.5 + |
| Ch. de Sous-Caran 13C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007938 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.4 | 37.5 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 39.7 | 30.8 |
| | | | | 3 | 3 Nord | RDC | 27.8 | 19.0 |
| | | | | 4 | 4 Est | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 5 | 5 Sud | RDC | 46.3 | 37.5 |
| | | | | 6 | 6 Sud | RDC | 46.5 + | 37.6 + |
| Ch. de la Forêt 7 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007965 | 1 | 1 Ouest | RDC | 29.9 | 21.1 |
| | | | | 2 | 2 N/O | RDC | 32.8 | 23.9 |

Scénario 3 - Trémie à 600 m de la rive

| | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------|---|---------|-----|--------|--------|
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 27.8 | 19.0 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 36.3 | 27.5 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 40.5 | 31.7 |
| | | | 6 | 6 S/E | RDC | 39.2 | 30.4 |
| | | | 7 | 7 Sud | RDC | 46.2 | 37.4 |
| | | | 8 | 8 S/O | RDC | 46.3 + | 37.4 + |
| Ch. des Marèches 7 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007981 | 1 | 1 Est | RDC | 28.9 | 20.1 |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 47.3 | 38.5 |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 47.4 + | 38.6 + |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 29.1 | 20.2 |
| Ch. des Marèches 4 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007977 | 1 | 1 Sud | RDC | 46.9 | 38.1 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 47.0 + | 38.1 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 28.4 | 19.5 |
| Ch. de Botterel 18 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 295087550 | 1 | 3 Nord | RDC | 27.3 + | 18.5 + |
| | | | 2 | 4 Est | RDC | 27.3 | 18.4 |
| | | | 3 | 5 Sud | RDC | 27.3 | 18.4 |
| Ch. de la Forêt 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 295145858 | 1 | 1 Sud | RDC | 46.3 + | 37.5 + |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 46.2 | 37.4 |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.0 | 19.1 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 37.2 | 28.3 |
| Ch. de Sous-Caran 33 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295074598 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.1 + | 37.2 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 43.6 | 34.7 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 35.4 | 26.5 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 45.3 | 36.5 |
| Ch. de Sous-Caran 31 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008008 | 1 | 1 Nord | RDC | 36.3 | 27.5 |
| | | | 2 | 2 N/E | RDC | 28.6 | 19.7 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 26.9 | 18.0 |
| | | | 4 | 4 S/E | RDC | 26.9 | 18.0 |
| | | | 5 | 5 Sud | RDC | 44.4 | 35.5 |
| | | | 6 | 6 Ouest | RDC | 45.8 + | 37.0 + |
| Ch. des Marèches 15 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007988 | 1 | 1 Ouest | RDC | 47.5 | 38.6 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 29.2 - | 20.3 - |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 29.0 - | 20.1 - |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 28.9 - | 20.0 - |
| | | | 5 | 4 Sud | RDC | 49.5 + | 40.6 + |
| | | | 6 | 5 Sud | RDC | 48.1 | 39.2 |
| | | | 7 | 6 Ouest | RDC | 47.5 | 38.7 |
| Ch. de la Praly 15 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007694 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.8 | 38.0 |
| | | | 2 | 3 N/E | RDC | 28.1 - | 19.3 - |
| | | | 3 | 4 N/E | RDC | 28.4 - | 19.5 - |
| | | | 4 | 5 Est | RDC | 28.2 - | 19.3 - |
| | | | 5 | 6 Sud | RDC | 29.9 | 21.0 |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 45.4 | 36.6 |
| | | | 7 | 8 S/O | RDC | 49.2 + | 40.4 + |
| Ch. des Marèches 19 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007990 | 1 | 1 Ouest | RDC | 47.0 + | 38.2 + |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 47.0 | 38.1 |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 28.6 | 19.7 |
| | | | 4 | 4 N/E | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 28.9 | 20.0 |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 47.0 | 38.1 |
| Ch. des Ecureuils-Doret 5 | Collonge-Bellerive | Habitation 1008039 | 1 | 1 Sud | RDC | 46.4 | 37.5 |
| | | | 2 | 2 Ouest | RDC | 47.1 + | 38.2 + |
| | | | 3 | 3 Nord | RDC | 38.1 | 29.3 |
| | | | 4 | 4 Est | RDC | 32.3 | 23.4 |
| Ch. de la Réserve 9A (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 295085171 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.5 | 37.6 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 46.5 + | 37.6 + |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 46.5 | 37.6 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 40.8 | 31.9 |
| Ch. de Botterel 18 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation 1007659 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.2 | 37.3 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 46.1 | 37.2 |
| | | | 3 | 2 Nord | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | 4 | 3 Est | RDC | 27.4 - | 18.5 - |
| | | | 5 | 5 S/E | RDC | 27.5 - | 18.6 - |
| | | | 6 | 7 Sud | RDC | 30.7 | 21.8 |
| | | | 7 | 9 Ouest | RDC | 48.6 | 39.7 |
| | | | 8 | 9 Ouest | RDC | 48.6 + | 39.8 + |
| Ch. de la Praly 11 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007681 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.2 + | 37.3 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 44.3 | 35.5 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 27.5 | 18.6 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 43.8 | 35.0 |
| Ch. de la Réserve 9 | Collonge-Bellerive | Habitation 1007993 | 1 | 1 Ouest | RDC | 46.4 | 37.5 |
| | | | 2 | 2 Sud | RDC | 48.7 + | 39.8 + |
| | | | 3 | 3 Ouest | RDC | 45.6 | 36.7 |
| | | | 4 | 4 Nord | RDC | 43.0 | 34.1 |
| | | | 5 | 5 Est | RDC | 27.7 - | 18.8 - |
| | | | 6 | 6 Sud | RDC | 45.8 | 37.0 |
| Ch. de la Bise 12 | Collonge-Bellerive | Habitation 295113849 | 1 | 1 Ouest | RDC | 37.1 | 28.2 |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 27.7 | 18.9 |
| | | | 3 | 3 Est | RDC | 27.8 | 18.9 |
| | | | 4 | 4 Sud | RDC | 39.6 + | 30.7 + |
| Ch. de Sous-Caran 33 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation 1008007 | 1 | 1 Nord | RDC | 42.8 + | 33.9 + |
| | | | 2 | 2 Nord | RDC | 28.7 | 19.8 |
| | | | 3 | 3 N/E | RDC | 28.6 | 19.7 |

Scénario 3 - Trémie à 600 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------|---|-------|-------|------|--------|--------|
| | | | 4 | 4 | Est | RDC | 32.1 | 23.3 | |
| | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 28.6 | 19.7 | |
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 37.1 | 28.3 | |
| | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 36.2 | 27.3 | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 35.5 | 26.7 | |
| Ch. de Sous-Caran 35 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008041 | 1 | 1 | N/O | RDC | 48.8 | 39.9 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 37.0 | 28.2 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 34.6 | 25.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 32.9 | 24.1 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 49.0 + | 40.2 + |
| Ch. des Marèches 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295040268 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 47.4 | 38.6 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 50.0 | 41.1 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 29.2 - | 20.3 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 29.1 - | 20.3 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 47.3 | 38.4 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 50.1 + | 41.2 + |
| Ch. des Marèches 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007982 | 1 | 1 | Est | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 47.0 | 38.1 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 47.0 + | 38.1 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 28.5 | 19.6 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 28.5 | 19.6 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 2 | Ouest | RDC | 46.5 + | 37.7 + |
| | | | | 2 | 3 | Nord | RDC | 46.5 | 37.6 |
| | | | | 3 | 4 | Ouest | RDC | 45.9 | 37.1 |
| | | | | 4 | 5 | Nord | RDC | 44.7 | 35.8 |
| Ch. de la Bise 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007976 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.6 | 37.7 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 27.9 - | 19.1 - |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 32.2 | 23.3 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 35.5 | 26.6 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 27.9 - | 19.1 - |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 46.6 | 37.7 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 49.1 + | 40.3 + |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 46.6 | 37.7 |
| Ch. des Marèches 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007979 | 1 | 1 | N/O | RDC | 33.4 | 24.5 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 27.9 | 19.1 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 27.9 | 19.1 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 36.5 + | 27.6 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 30.9 | 22.1 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 31.2 | 22.4 |
| Ch. de Sous-Caran 13E | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007940 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 33.2 | 24.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 35.7 | 26.9 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 28.9 | 20.0 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.1 | 19.2 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 46.7 + | 37.9 + |
| Ch. des Marèches 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007986 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 46.9 + | 38.1 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 30.8 | 21.9 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.6 | 19.8 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 29.2 | 20.4 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 46.8 | 37.9 |
| Ch. de la Forêt 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007967 | 1 | 1 | Est | RDC | 30.9 | 22.0 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 45.5 + | 36.6 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 40.5 | 31.6 |
| | | | | 4 | 5 | Ouest | RDC | 44.6 | 35.8 |
| | | | | 5 | 6 | Nord | RDC | 39.7 | 30.9 |
| Ch. de Sous-Caran 45 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1008036 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.3 | 36.4 |
| | | | | 2 | 9 | Nord | RDC | 26.8 | 18.0 |
| | | | | 3 | 16 | Est | RDC | 26.8 | 18.0 |
| | | | | 4 | 17 | Est | RDC | 27.4 | 18.5 |
| | | | | 5 | 18 | S/E | RDC | 27.0 | 18.1 |
| | | | | 6 | 19 | Sud | RDC | 45.3 + | 36.4 + |
| Ch. de la Baie 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035970 | 1 | 1 | Sud | RDC | 26.9 | 18.0 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 45.7 + | 36.8 + |
| | | | | 3 | 2 | Ouest | RDC | 45.7 | 36.8 |
| | | | | 4 | 3 | Nord | RDC | 45.5 | 36.7 |
| | | | | 5 | 4 | Est | RDC | 26.8 | 18.0 |
| | | | | 6 | 5 | Sud | RDC | 26.9 | 18.0 |
| | | | | 7 | 6 | Est | RDC | 26.8 | 18.0 |
| Ch. de Sous-Caran 13D | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007957 | 1 | 1 | Sud | RDC | 46.5 | 37.6 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 47.1 | 38.2 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 49.0 + | 40.1 + |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 32.1 | 23.2 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 28.4 - | 19.6 - |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 27.7 - | 18.9 - |
| Ch. de la Praly 10 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295100358 | 1 | 1 | Est | RDC | 27.6 | 18.7 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 46.1 | 37.3 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 46.2 + | 37.3 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 44.8 | 36.0 |
| Ch. de Beauvoir 9 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007971 | 1 | 1 | Sud | RDC | 46.4 | 37.5 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 46.4 + | 37.5 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 29.3 | 20.5 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 27.8 | 18.9 |

Scénario 3 - Trémie à 600 m de la rive

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|------------|-----------|---|---|-------|-----|--------|--------|
| Ch. de la Forêt 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007966 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.3 + | 37.5 + |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 34.1 | 25.2 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 34.1 | 25.2 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.2 | 19.4 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 46.2 | 37.4 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 46.3 | 37.4 |
| Ch. de la Baie 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035972 | 1 | 1 | Sud | RDC | 27.5 | 18.6 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 44.9 | 36.0 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 45.6 + | 36.7 + |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 41.7 | 32.9 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 40.8 | 31.9 |
| | | | | 6 | 6 | Est | RDC | 37.2 | 28.4 |
| Ch. de la Praly 15 (2) | Collonge-Bellerive | Habitation | 295092139 | 1 | 1 | Nord | RDC | 28.4 | 19.5 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 32.2 | 23.3 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 48.1 + | 39.2 + |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 5 | 5 | Nord | RDC | 45.9 | 37.0 |
| Ch. de la Réserve 11 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007996 | 1 | 1 | N/O | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 46.9 + | 38.0 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 44.7 | 35.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.2 | 19.3 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 28.2 | 19.3 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 28.2 | 19.4 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 46.7 | 37.9 |
| | | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 46.8 | 37.9 |
| Ch. de Beauvoir 14 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007972 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 41.7 | 32.8 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 28.3 - | 19.4 - |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 28.1 - | 19.2 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.1 - | 19.2 - |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 28.1 - | 19.3 - |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 46.7 | 37.8 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 49.3 + | 40.4 + |
| Ch. des Ecureuils-Doret 3 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036054 | 1 | 1 | Sud | RDC | 46.1 | 37.2 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 46.3 + | 37.4 + |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 27.7 | 18.8 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 29.8 | 20.9 |
| Ch. des Marèches 6B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007980 | 1 | 1 | N/O | RDC | 33.2 | 24.3 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 27.7 - | 18.8 - |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 27.7 - | 18.8 - |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 48.9 + | 40.1 + |
| | | | | 5 | 5 | S/O | RDC | 33.0 | 24.1 |
| | | | | 6 | 6 | Ouest | RDC | 30.9 | 22.0 |
| Ch. de Sous-Caran 17C | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007945 | 1 | 1 | Est | RDC | 27.7 | 18.8 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 46.4 | 37.5 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 46.6 + | 37.7 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 28.2 | 19.3 |
| Ch. de la Baie 6A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131527 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.2 | 36.3 |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 43.4 | 34.5 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 45.4 + | 36.6 + |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 45.4 | 36.5 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 26.7 | 17.8 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 26.6 | 17.8 |
| Ch. de la Réserve 17 (1) | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131620 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.5 | 37.7 |
| | | | | 2 | 3 | Est | RDC | 27.9 - | 19.0 - |
| | | | | 3 | 4 | Sud | RDC | 44.9 | 36.0 |
| | | | | 4 | 5 | Sud | RDC | 48.9 | 40.1 |
| | | | | 5 | 6 | Ouest | RDC | 49.0 + | 40.2 + |
| Ch. des Marèches 6 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007978 | 1 | 1 | N/O | RDC | 46.7 | 37.9 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 28.0 | 19.1 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 28.0 | 19.2 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 46.7 | 37.9 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 28.2 | 19.4 |
| | | | | 6 | 6 | S/O | RDC | 46.7 + | 37.9 + |
| Ch. de Sous-Caran 39A | Collonge-Bellerive | Habitation | 3131551 | 1 | 1 | N/O | RDC | 36.3 | 27.4 |
| | | | | 2 | 2 | N/E | RDC | 27.1 | 18.2 |
| | | | | 3 | 3 | S/E | RDC | 27.0 | 18.2 |
| | | | | 4 | 4 | S/O | RDC | 43.9 + | 35.0 + |
| Ch. de Sous-Caran 43 | Collonge-Bellerive | Habitation | 295113236 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.0 | 36.1 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 26.5 | 17.7 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 26.4 | 17.6 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 26.5 | 17.6 |
| | | | | 5 | 5 | S/E | RDC | 26.6 | 17.7 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 42.3 | 33.5 |
| | | | | 7 | 7 | Ouest | RDC | 40.7 | 31.9 |
| | | | | 8 | 7 | Ouest | RDC | 45.1 + | 36.3 + |
| Ch. de Beauvoir 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007994 | 1 | 1 | Nord | RDC | 27.9 | 19.0 |
| | | | | 2 | 2 | Est | RDC | 27.7 | 18.9 |
| | | | | 3 | 3 | Sud | RDC | 41.5 | 32.7 |
| | | | | 4 | 4 | Ouest | RDC | 46.4 + | 37.5 + |
| Ch. des Marèches 17 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007989 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 47.0 | 38.2 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 28.7 - | 19.8 - |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 28.5 - | 19.6 - |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 28.5 - | 19.6 - |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 29.7 | 20.8 |

Scénario 3 - Trémie à 600 m de la rive

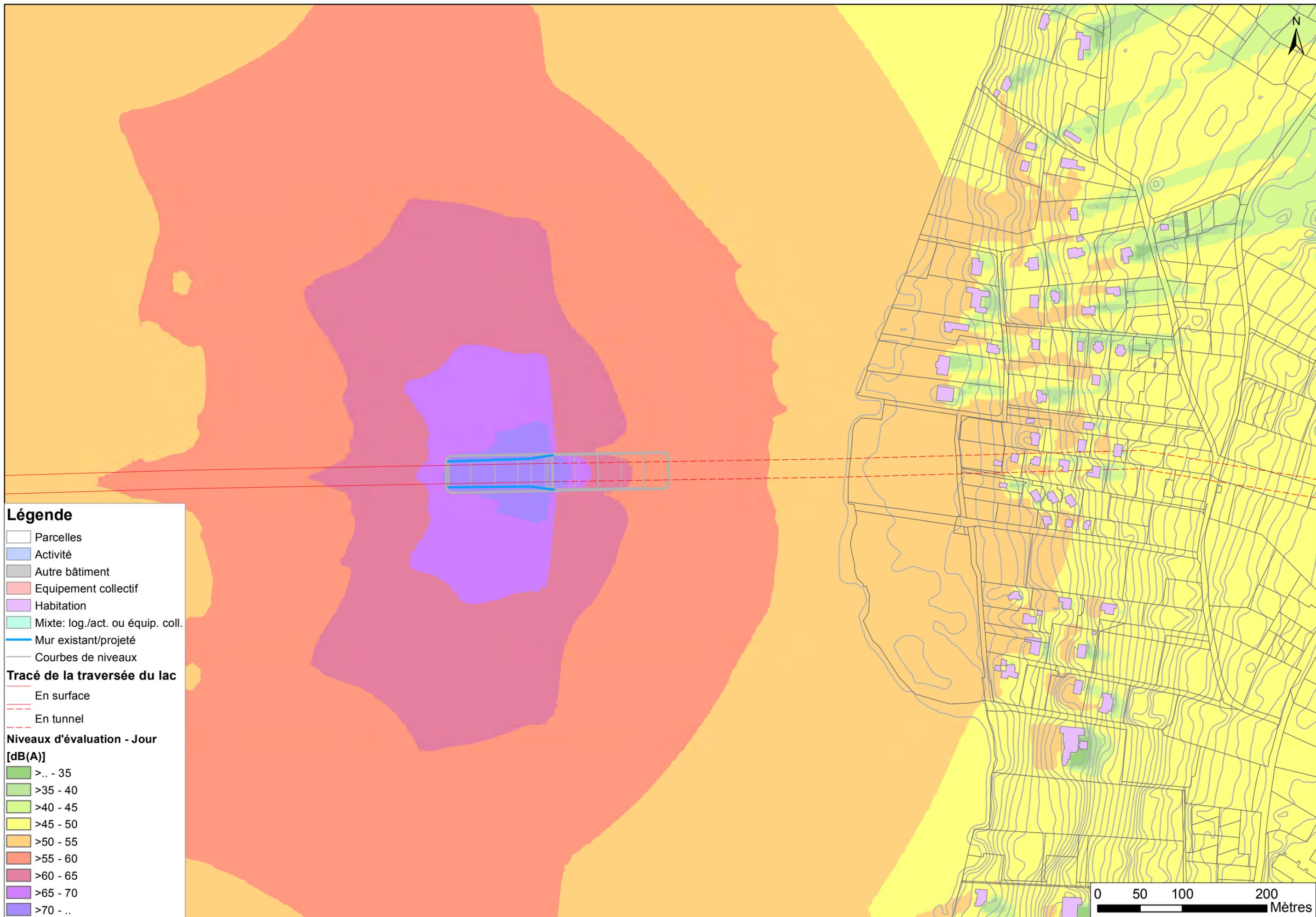
| | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|------------|----------|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 47.1 | 38.2 | |
| | | | 7 | 7 | S/O | RDC | 49.6 + | 40.8 + | |
| | | | 8 | 8 | Ouest | RDC | 49.6 | 40.7 | |
| Ch. de la Baie 12 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2035968 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 2 | 2 | Ouest | RDC | 48.5 + | 39.6 + |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 4 | 4 | Nord | RDC | 46.0 | 37.1 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 27.9 - | 19.0 - |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 27.7 - | 18.8 - |
| | | | | 7 | 7 | S/E | RDC | 27.7 - | 18.8 - |
| | | | | 8 | 8 | Sud | RDC | 27.7 - | 18.9 - |
| Ch. des Marêches 10 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007984 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 38.8 | 29.9 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 28.1 | 19.2 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 46.8 | 37.9 |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 46.8 + | 37.9 + |
| Ch. de Sous-Caran 39 | Collonge-Bellerive | Habitation | 11514611 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 45.0 | 36.1 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 35.9 | 27.1 |
| | | | | 3 | 3 | N/E | RDC | 40.6 | 31.7 |
| | | | | 4 | 4 | Est | RDC | 27.1 | 18.2 |
| | | | | 5 | 5 | Sud | RDC | 45.8 | 36.9 |
| | | | | 6 | 6 | Sud | RDC | 45.9 + | 37.1 + |
| Ch. de Sous-Caran 17B | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007944 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 41.9 | 33.1 |
| | | | | 2 | 2 | Nord | RDC | 27.3 | 18.4 |
| | | | | 3 | 3 | Est | RDC | 27.1 | 18.3 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 46.1 + | 37.3 + |
| Ch. de la Forêt 5 | Collonge-Bellerive | Habitation | 1007964 | 1 | 1 | Ouest | RDC | 30.6 | 21.7 |
| | | | | 2 | 2 | N/O | RDC | 32.1 | 23.3 |
| | | | | 3 | 3 | Nord | RDC | 27.0 | 18.1 |
| | | | | 4 | 4 | N/E | RDC | 26.9 | 18.1 |
| | | | | 5 | 5 | Est | RDC | 26.9 | 18.1 |
| | | | | 6 | 6 | S/E | RDC | 27.3 | 18.4 |
| | | | | 7 | 7 | Sud | RDC | 46.0 + | 37.1 + |
| Ch. de la Forêt 8 | Collonge-Bellerive | Habitation | 2036319 | 1 | 1 | Est | RDC | 27.3 - | 18.4 - |
| | | | | 2 | 2 | Sud | RDC | 45.9 | 37.0 |
| | | | | 3 | 3 | Ouest | RDC | 45.9 | 37.1 |
| | | | | 4 | 4 | Sud | RDC | 48.0 + | 39.1 + |
| | | | | 5 | 5 | Ouest | RDC | 43.4 | 34.5 |
| | | | | 6 | 6 | Nord | RDC | 27.1 - | 18.2 - |

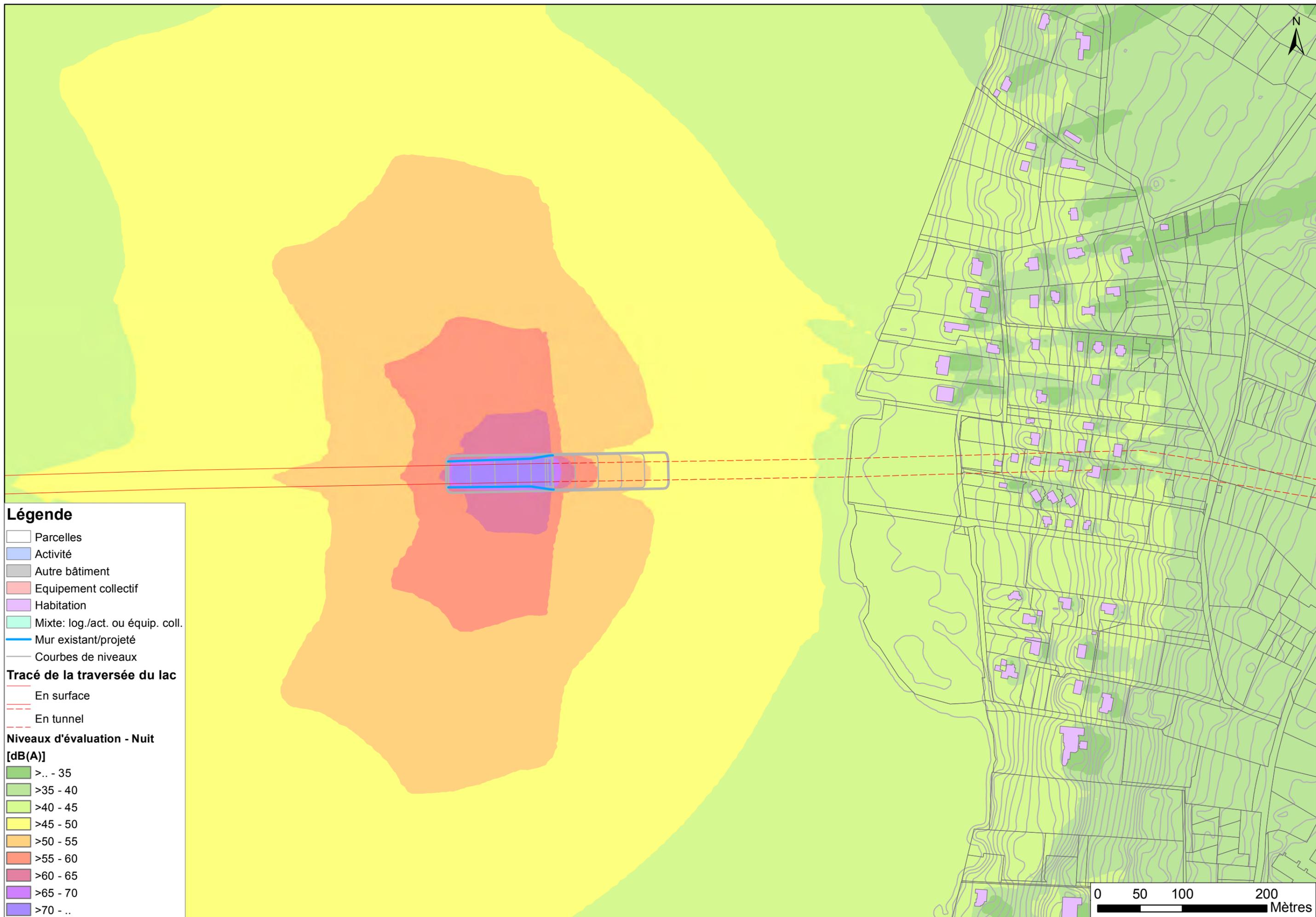
+ = immission la plus élevée pour le bâtiment

- = diff. de niveau >= 20 dB par rapport à l'immission la plus élevée

Annexe 5

Cartes des isophones





Légende

- Parcelles
- Activité
- Autre bâtiment
- Equipement collectif
- Habitation
- Mixte: log./act. ou équip. coll.
- Mur existant/projeté
- Courbes de niveaux

Tracé de la traversée du lac

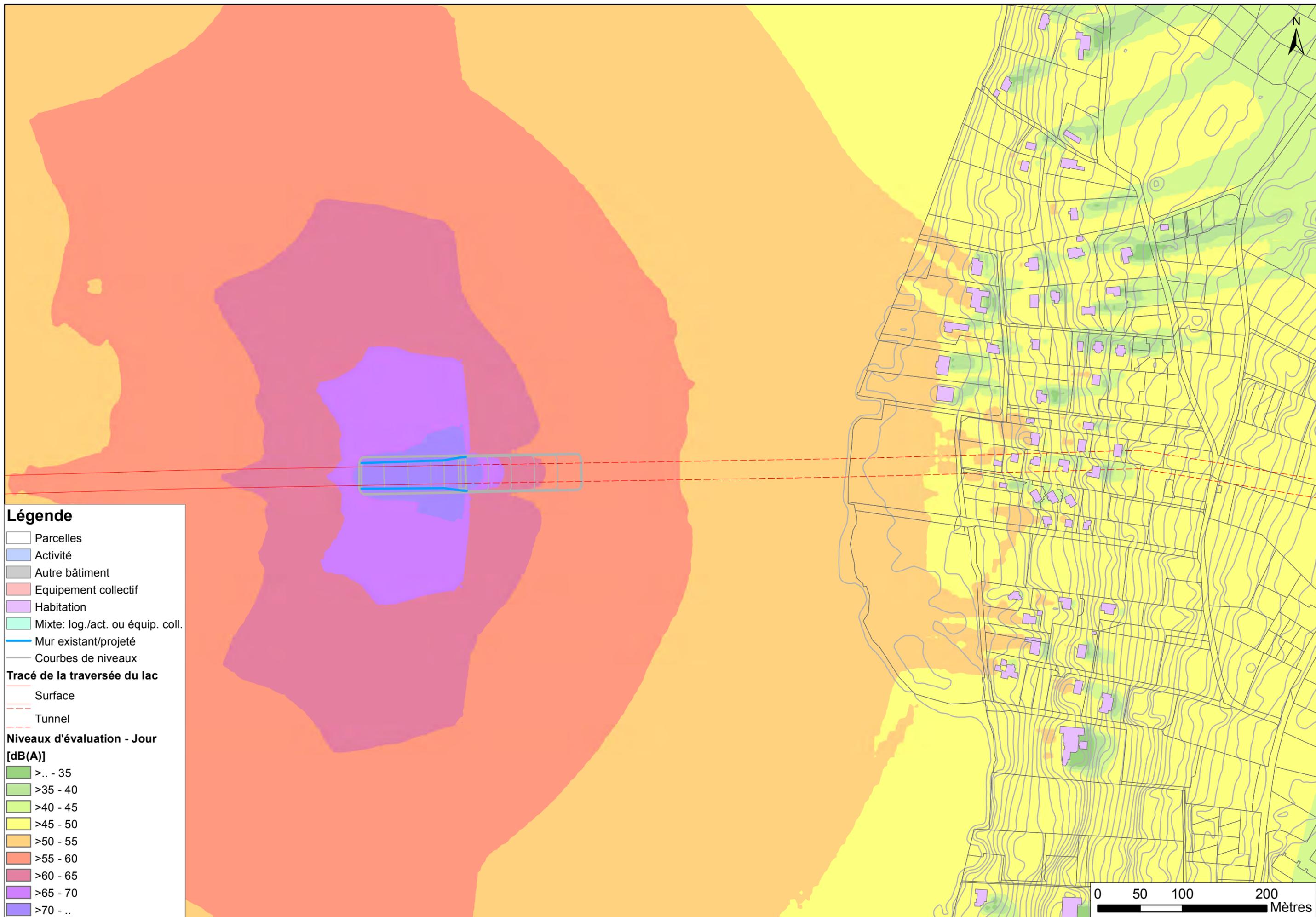
- En surface
- En tunnel

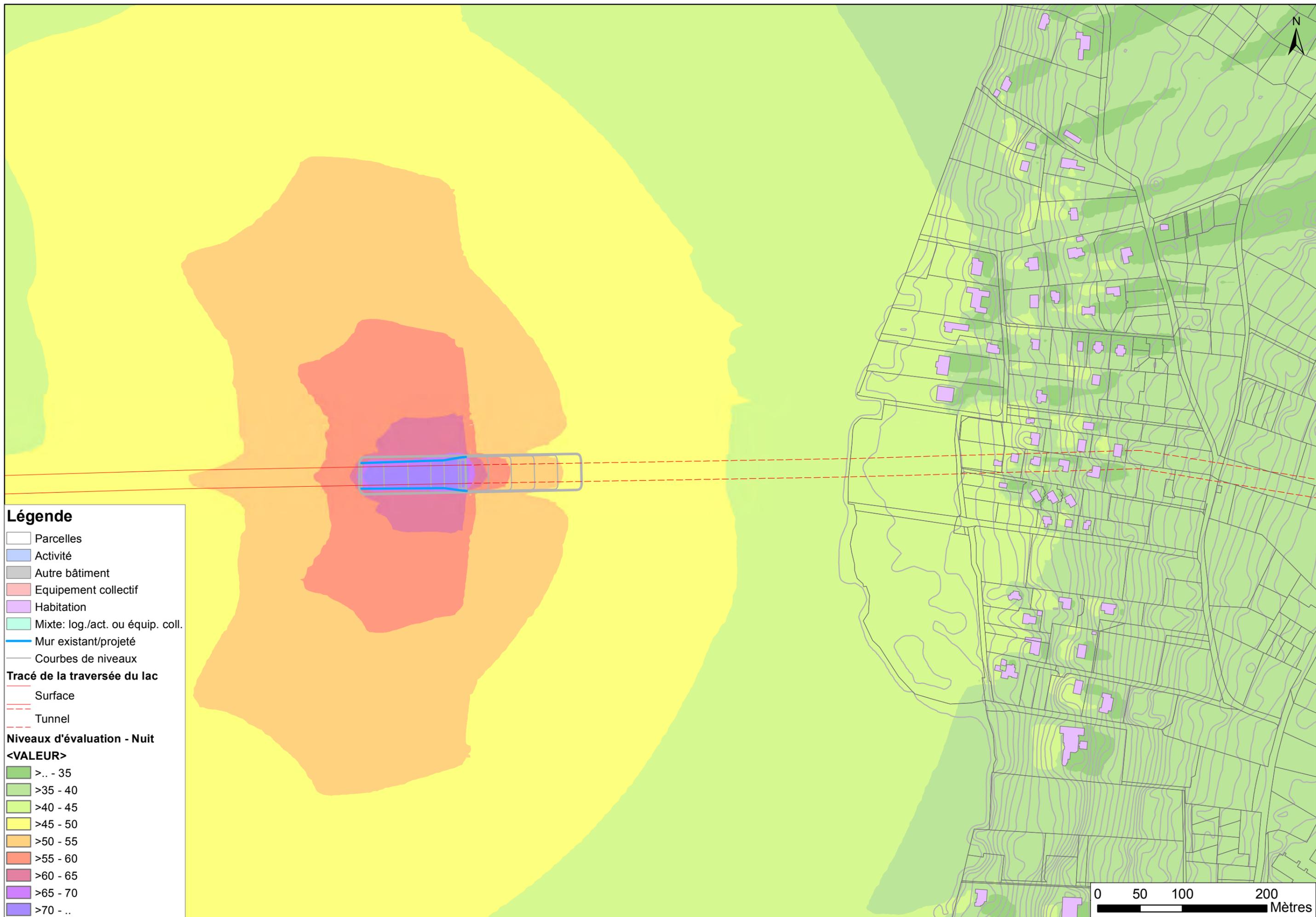
Niveaux d'évaluation - Nuit

[dB(A)]

- >.. - 35
- >35 - 40
- >40 - 45
- >45 - 50
- >50 - 55
- >55 - 60
- >60 - 65
- >65 - 70
- >70 - ..







Légende

- Parcelles
- Activité
- Autre bâtiment
- Equipement collectif
- Habitation
- Mixte: log./act. ou équip. coll.
- Mur existant/projeté
- Courbes de niveaux

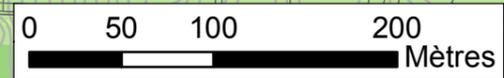
Tracé de la traversée du lac

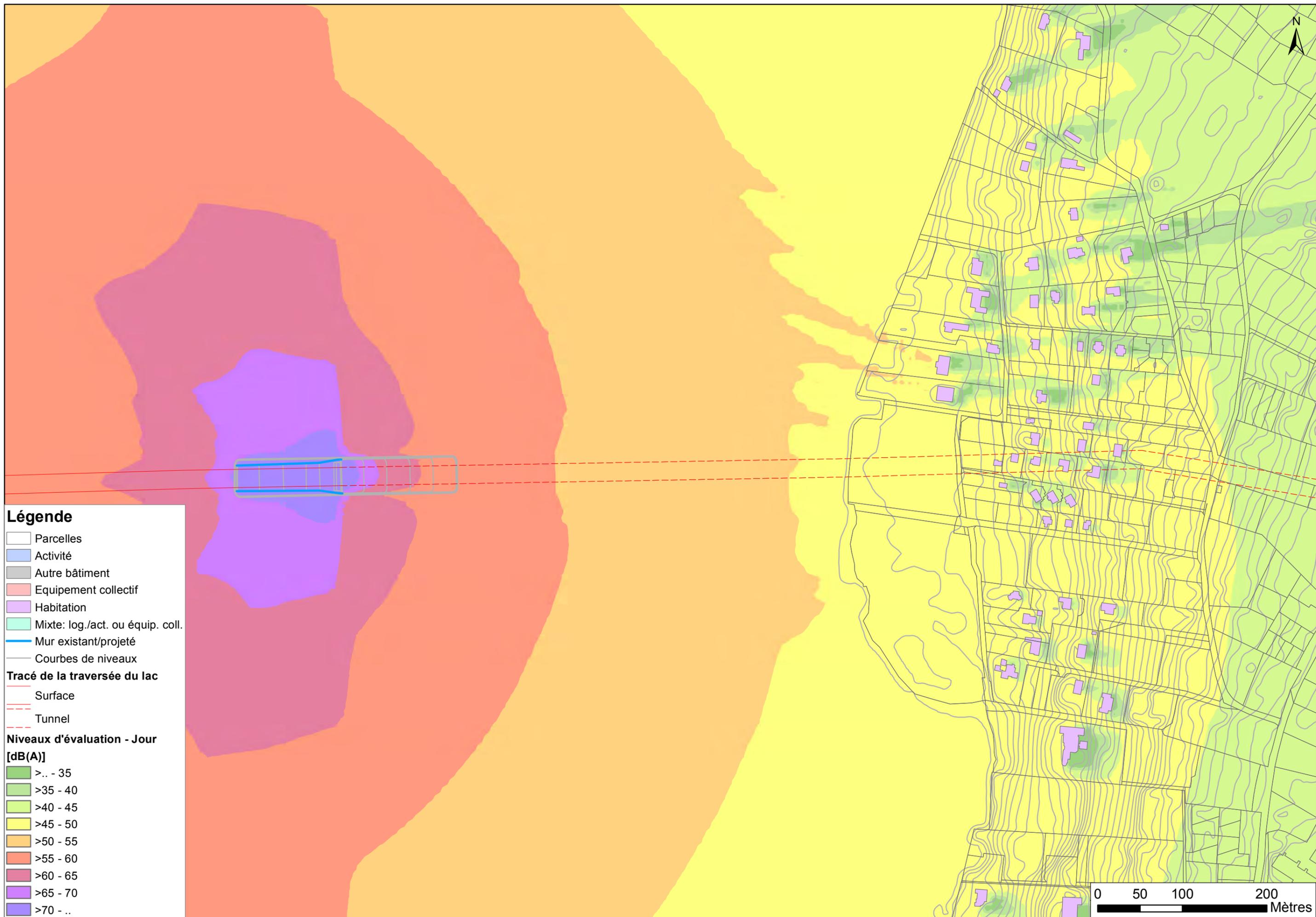
- Surface
- Tunnel

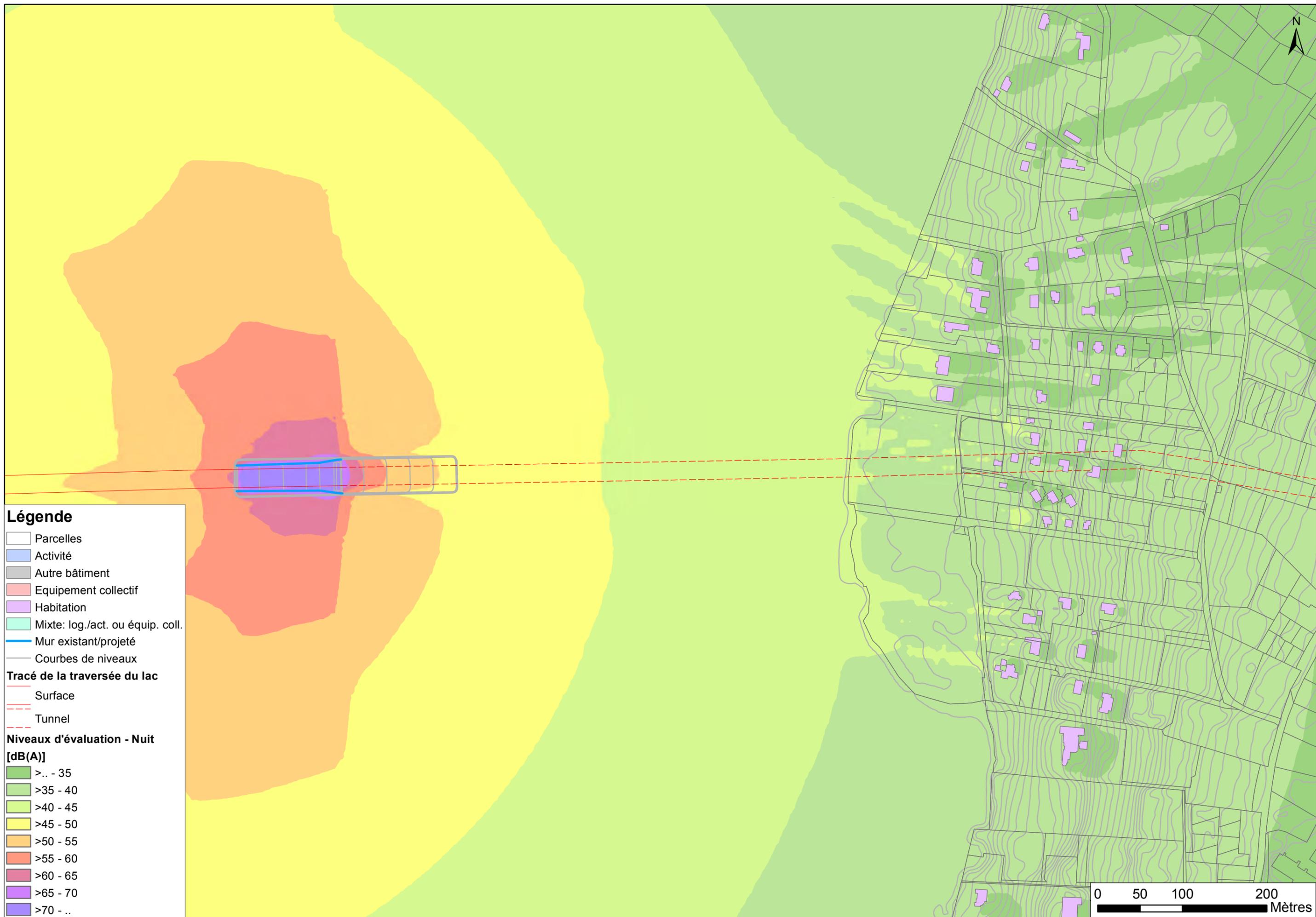
Niveaux d'évaluation - Nuit

<VALEUR>

- $>35 - 40$
- $>40 - 45$
- $>45 - 50$
- $>50 - 55$
- $>55 - 60$
- $>60 - 65$
- $>65 - 70$
- $>70 - \dots$







TRAVERSÉE DU LAC

FAISABILITÉ FINANCIÈRE

CONSEIL CONSULTATIF TRAVERSÉE DU LAC

LE 05.09.2017

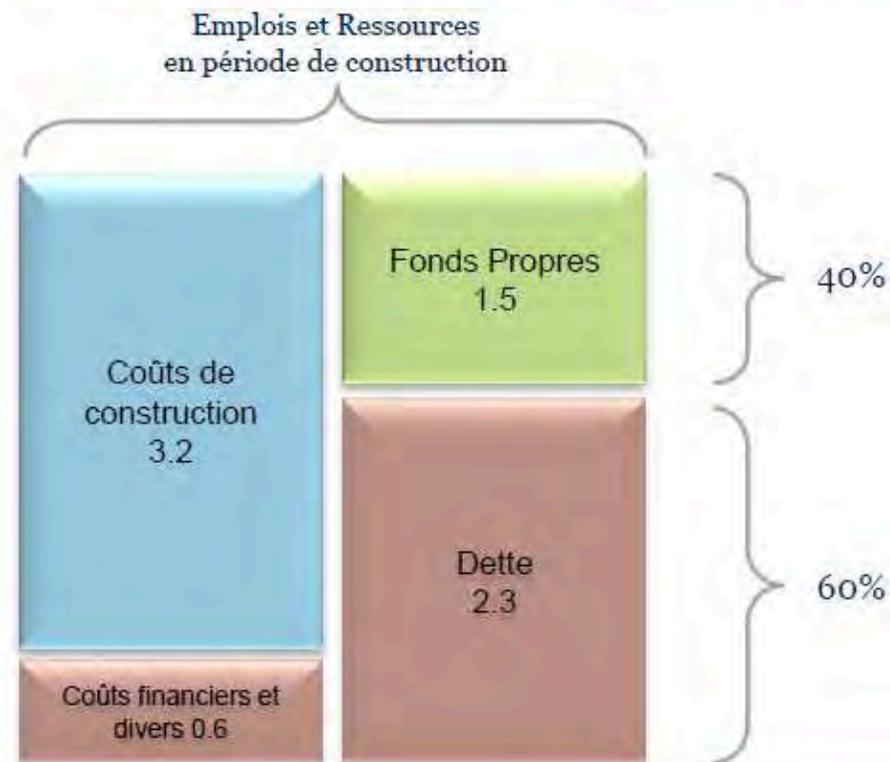
REVUE DES HYPOTHÈSES EXISTANTES

- ❑ **EDR a procédé à la revue des documents et analyses transmis par le Canton**

- ❑ **EDR a également procédé à un sondage de marché :**
 - **Fort intérêt pour le projet et le pays**
 - **Période d'investissement (construction) limitée à 5 ans environ**
 - **Risque trafic difficilement transférable au partenaire privé et à ses prêteurs**
 - **Volumes importants à financer et difficultés à le faire en CHF**
 - **Risque de change entre financements en EUR et revenus en CHF**

ANALYSE DE LA FAISABILITÉ (1/2)

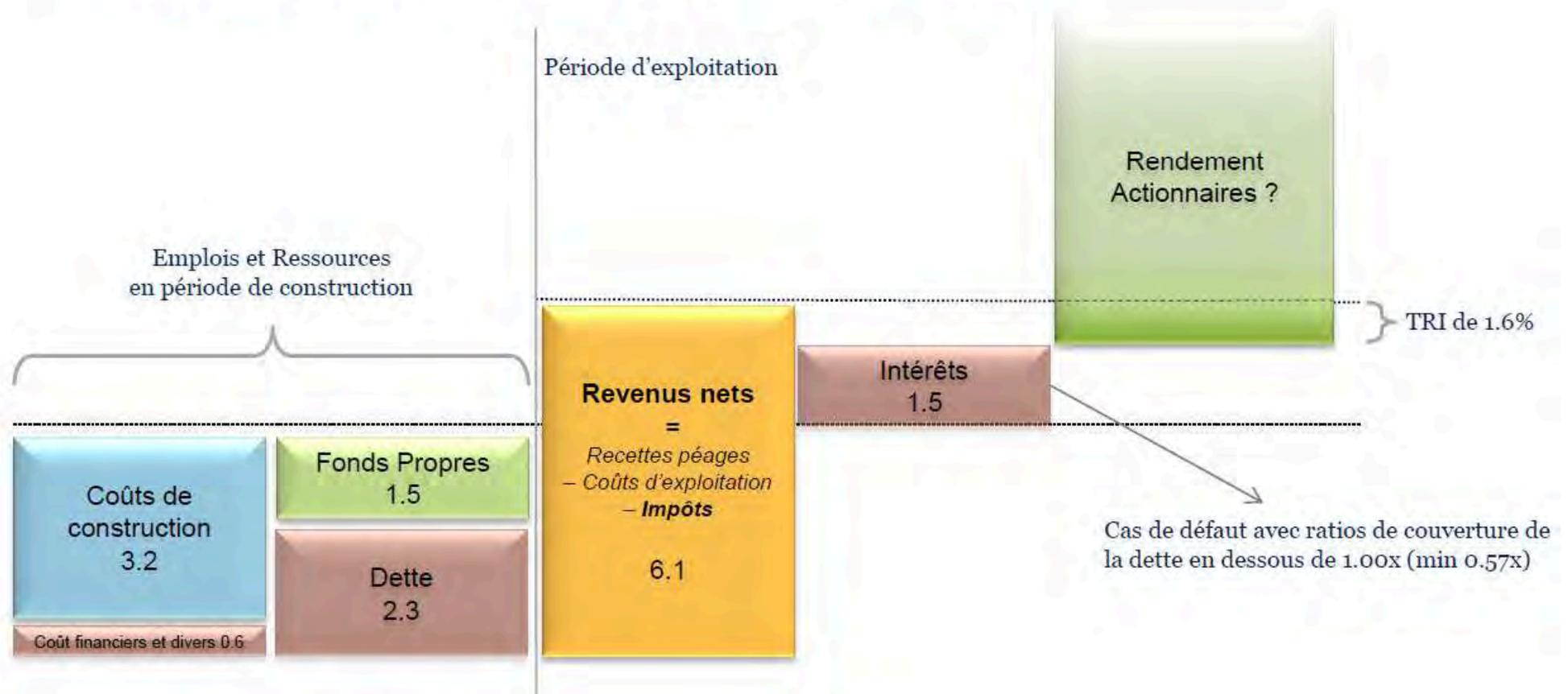
- ❑ **Grandes masses du projet à risque trafic supporté par le partenaire privé et sans subvention**
 - Coût total du projet de CHF 3.8mias
 - Les Fonds Propres représentent 40% du financement du projet (gearing 60/40)
 - Le rendement attendu par les actionnaires sera à hauteur de 12% minimum
 - La totalité des recettes de péages (potentiel de CHF 6.7 milliards) sera captée par le partenaire privé



ANALYSE DE LA FAISABILITÉ (2/2)

❑ Pourquoi le projet sans subvention ne fonctionne pas

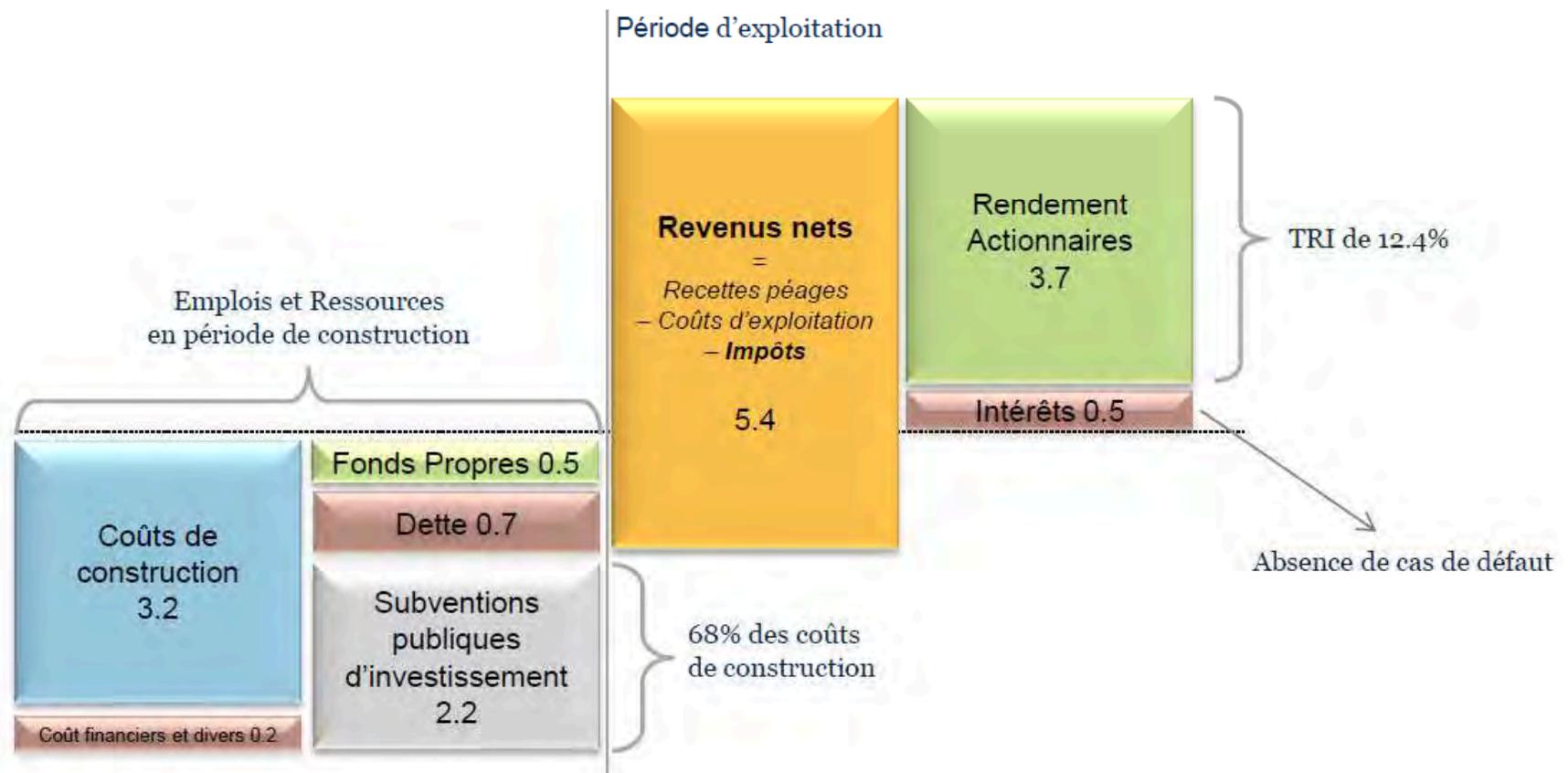
- Les revenus nets sur 40 ans d'un peu plus de CHF 6 milliards ;
- ne permettent pas de rembourser un projet de CHF 3.8 milliards ;
- tout en assurant la rémunération de la dette sans période de défaut ;
- ni bien entendu une rémunération appropriée des fonds propres.



AMÉLIORATION DU CAS DE BASE

□ Cas de Base amélioré (avec dette subordonnée actionnaires et indexation de la subvention) :

- La subvention publique représente + de 2/3 du projet (vs. 3/4 sans amélioration)
- Le financement du 1/3 restant est décomposé entre 60% de dette et 40% de fonds propres
- Du fait de la réduction du montant de dette, le coût total du projet diminue de plus de 350 millions



DIFFICULTÉS LIÉES AU CAS DE BASE AMÉLIORÉ

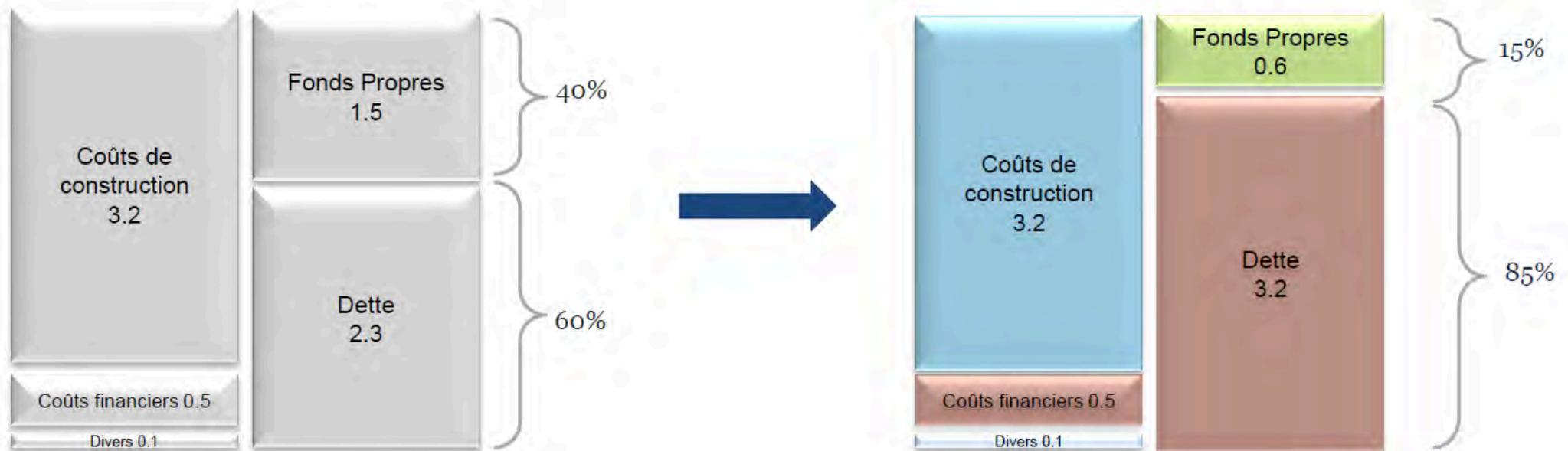
- Premier PPP de cette taille en Suisse**
 - Cadre légal peu éprouvé**
 - Procédure d'appel d'offres avec peu ou pas de possibilité de négociation**
 - Niveau de subvention élevé**
 - Appréciation négative du portage du risque trafic par le partenaire privé**
- ➔ Étude de schémas alternatifs visant à une autre répartition du risque trafic**

SCHÉMA ALTERNATIF (1/3)

❑ Risque trafic assumé par le Canton

➤ Coût total du projet de CHF 3.8mias

➤ Baisse de la participation en fonds propres du partenaire privé et du rendement attendu



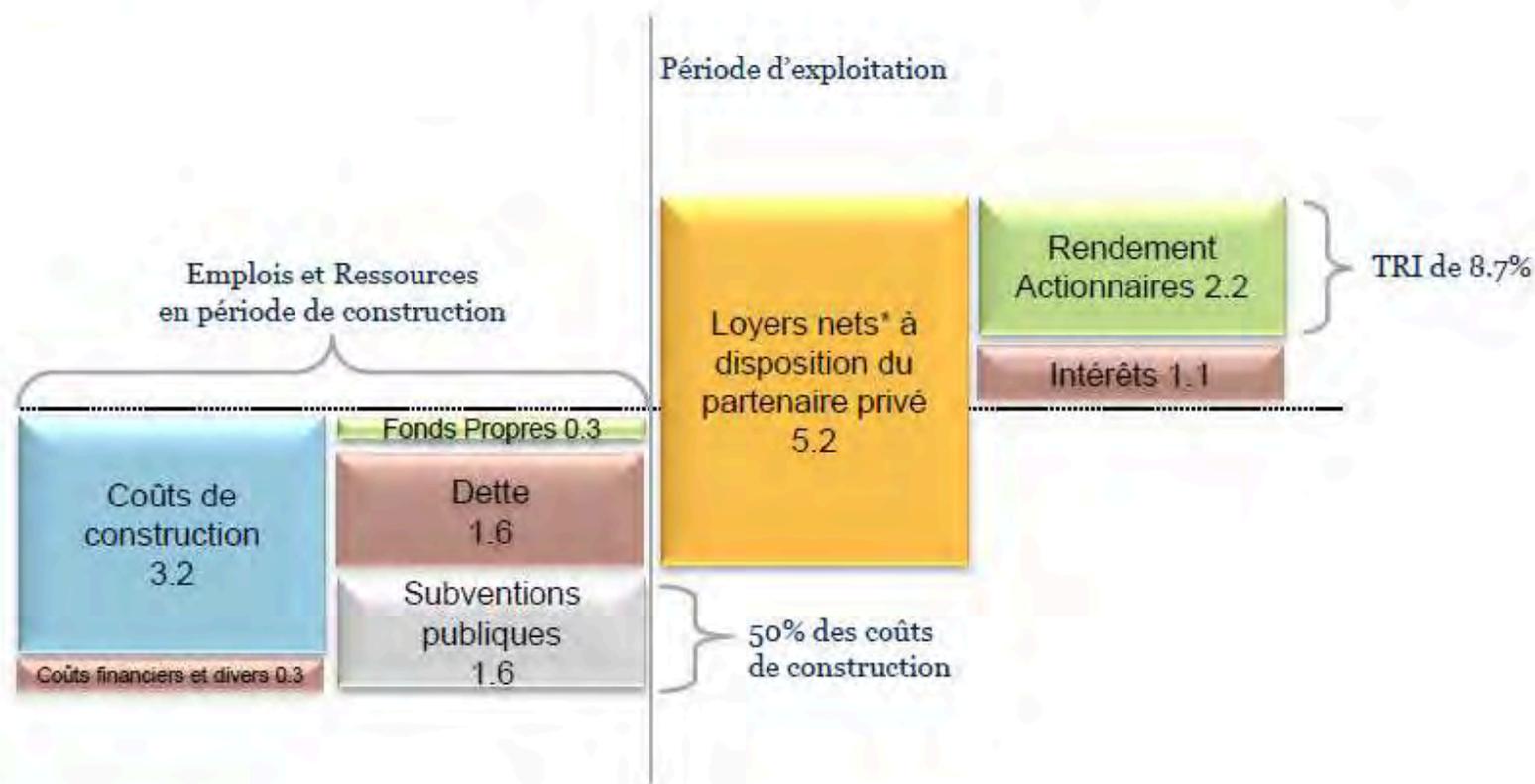
- › Risque trafic supporté par le partenaire privé
- › Gearing 60:40
- › TRI actionnaires cible de 12%

- › Risque trafic supporté par le Canton
- › Gearing 85:15
- › TRI actionnaires cible de 8-9%

SCHÉMA ALTERNATIF (2/3)

- ❑ Loyers versés par le Canton pour atteindre le TRI cible de 8-9%
- ❑ Perception des recettes de péage par le Canton
- ❑ Présentation du cas avec des subventions publiques à hauteur de 50% des coûts de construction :

Loyers = subventions d'exploitation
Subventions = subventions d'investissement

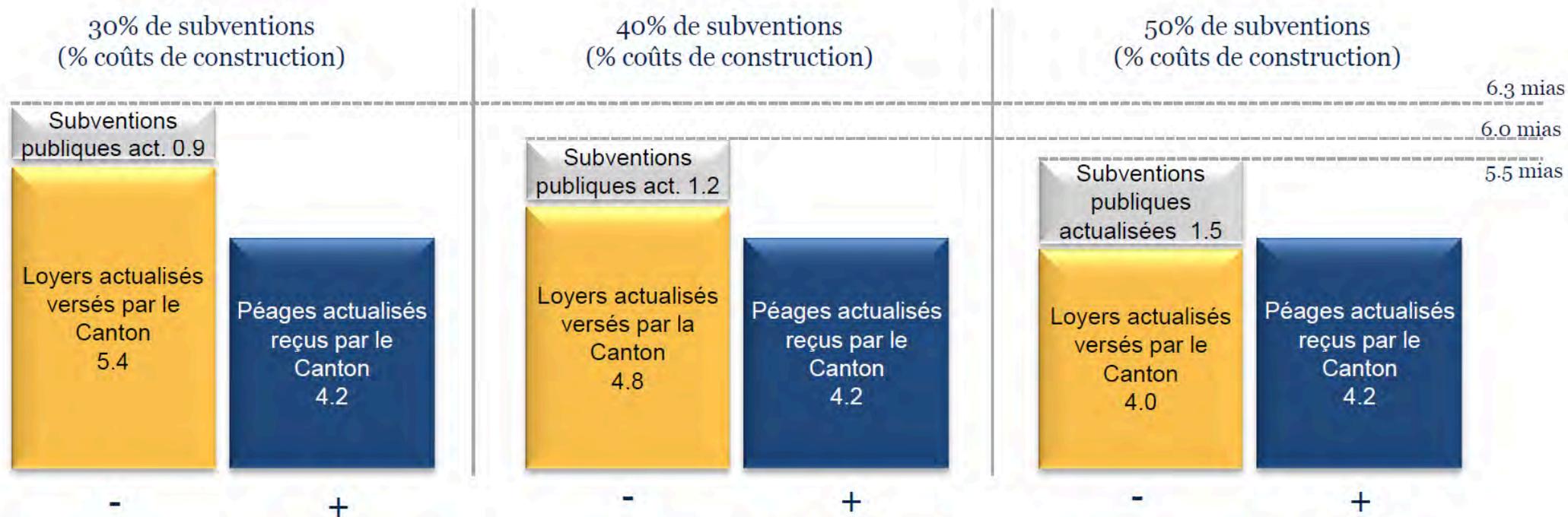


* Loyers nets = Loyers - Coûts d'exploitation - Impôts

SCHÉMA ALTERNATIF (3/3)

□ Différents scénarii de :

- subventions versées par le Canton ;
- loyers dus au partenaire privé ;
- par rapport aux recettes de péages perçues par le Canton.



L'actualisation des montants est effectuée en utilisant le CMPC du Canton : 1.70%

CONCLUSION

- ❑ **Complexité technique, juridique, financière et procédurale pour l'appel d'offres**

- ❑ **Pas de recettes trafic suffisantes pour couvrir le coût du projet non redimensionné et son financement privé**

- ❑ **Nécessité de fonds publics (subventions en construction et/ou exploitation)**

- ❑ **Le transfert du risque trafic au secteur privé ne semble ni recommandé, ni efficient**

- ❑ **Solutions pour un PPP viable avec risque trafic assumé par le Canton :**
 - **Subvention d'investissement + Loyers – Recettes de péage perçues par le Canton**

 - **Redimensionnement du périmètre du projet**

- ❑ **Pour autant que le PPP permette vraiment d'apporter de la plus value au projet de bouclage autoroutier du Canton**