

SOVAGEV – Société simple de valorisation de terrains situés en gare des Eaux-Vives

VALORISATION DE TERRAINS A GENÈVE - LA GARE DES EAUX-VIVES

RAPPORT SUR L'INTERACTION DES CONSTRUCTIONS CEVA / SOVAGEV CONCERNANT LES PROBLEMES STRUCTURELS ET DE NUISANCES VIBRATOIRES

Genève, 5 juillet 2007

**Consultants : GEOTECHNIQUE APPLIQUEE DERIAZ SA
RÉSONANCE INGÉNIEURS-CONSEILS SA**

TABLE DES MATIÈRES		5	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	28	
1	INTRODUCTION	1	5.1	TABLEAU RÉCAPITULATIF DES INTERACTIONS ET RECOMMANDATIONS	30
1.1	DESCRIPTION DU PROJET PARTIEL DU CEVA " GARE DES EAUX-VIVES "	3	5.2	TABLEAU SYNTHETIQUE DES INTERACTIONS ET RECOMMANDATIONS	34
1.2	DESCRIPTION DU PROJET SOVAGEV	7	6	REFERENCES	35
2	ASPECTS GEOTECHNIQUES	8			
2.1	GEOLOGIE - STRATIGRAPHIE	8			
2.2	HYDROLOGIE	10			
2.3	COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS GENERALES	11			
2.4	COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS PAR OUVRAGE	13			
2.5	CONCLUSIONS ASPECTS GEOTECHNIQUES	13			
3	ETUDES DES STRUCTURES PORTEUSES	15			
3.1	IDENTIFICATION DES CONTRAINTES AFFECTANT LE PROJET DE LA GARE (CEVA)	15			
3.2	IDENTIFICATION DES CONTRAINTES LIEES A LA REALISATION DES PROJETS SOVAGEV	17			
4	PREMIERE APPRECIATION DES NUISANCES VIBRATOIRES	22			
4.1	SITUATION INITIALE	22			
4.2	OBJECTIF	22			
4.3	QUELLE PROTECTION EST- ELLE NECESSAIRE ?	22			
4.4	PRONOSTICS GENERIQUES	25			
4.5	MESURES DE PROTECTION	25			
4.6	CONCLUSIONS APPRECIATION DES NUISANCES VIBRATOIRES	28			

1 INTRODUCTION

L'Etat de Genève, la Ville de Genève et CFF Immobilier ont créé une société simple de valorisation foncière, SOVAGEV, pour mettre en valeur le potentiel immobilier des terrains situés autour de la gare des Eaux-Vives.

L'étude se focalise sur l'analyse de l'interaction entre le projet CEVA et les projets de construction qui pourraient se développer dans ce secteur selon les scénarios adoptés par la SOVAGEV. Cette analyse porte sur les problèmes structurels et de nuisances vibratoires, aucune considération de détail ne sera portée sur les projets des futurs bâtiments du programme SOVAGEV.

L'étude a porté sur les domaines suivants :

- analyser et résumer le contexte géologique
- expliquer le projet du CEVA dans le secteur de la gare des Eaux-Vives
- synthétiser les interactions entre le projet du CEVA et le projet intentionnel de SOVAGEV
- étudier les problèmes potentiels de nuisances vibratoires
- dresser un catalogue de propositions permettant l'optimisation des projets CEVA et SOVAGEV quant à leurs interactions (évaluation technique et estimation des coûts induits)



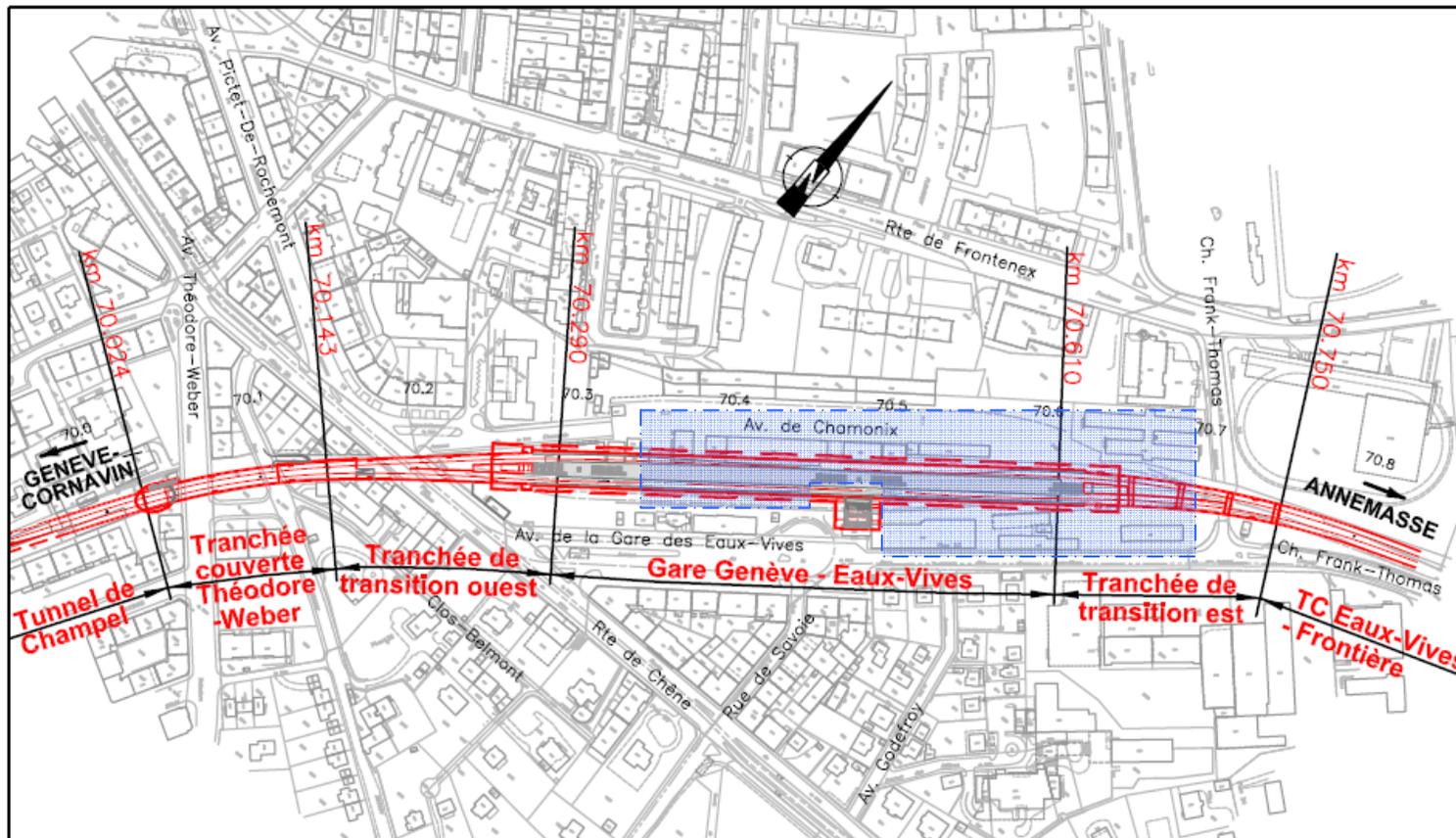
Figure 1 : Illustration du scénario adopté par SOVAGEV

Lors de l'expertise, différentes séances de coordination entre le mandant et son mandataire accompagné le cas échéant de ses consultants, ont eu lieu aux dates suivantes :

- séance de consultation le vendredi 9 mars 2007,
- séance de démarrage le vendredi 30 mars 2007,
- présentation de l'avancement de l'étude, le 19 avril 2007,

- séance de consultation auprès du CEVA le vendredi 27 avril 2007,
- présentation du rapport intermédiaire, le 24 mai 2007,
- séance de consultation au bureau d'ingénieurs civils Perreten & Milleret SA, mandataire CEVA, le vendredi 1^{er} juin 2007.

Les principaux ouvrages de base et documents reçus sont mentionnés dans le chapitre 6 " Références " .



Secteur du projet SOVAGEV

Figure 2 : Vue en plan de la situation du projet SOVAGEV

1.1 DESCRIPTION DU PROJET PARTIEL DU CEVA " GARE DES EAUX-VIVES "

1.1.1 Description structurelle

Dans le cadre de la liaison ferroviaire CEVA, la réalisation du projet partiel 26 " gare des Eaux-Vives " implique la construction des ouvrages suivants entre les km 70.024 et km 70.750, soit sur une longueur de 726 m :

- tranchée couverte Théodore-Weber,
- tranchée de transition Ouest,
- gare des Eaux-Vives,
- tranchée de transition Est.

Le projet SOVAGEV s'inscrit dans la zone centrale du projet CEVA dénommé " gare des Eaux-Vives " comme illustrée à la Figure 2.

Le tronçon de la gare des Eaux-Vives s'étend du km 70.290 au km 70.610 et comprend 4 niveaux correspondant aux quais (387.50 m), au niveau technique (393.70 m), aux commerces (396.50 m) ainsi qu'aux trottoirs (401.85 m).

L'émergence de la route de Chêne, l'émergence centrale ainsi que l'émergence de l'avenue Frank Thomas permettent d'accéder à la gare.

La gare des Eaux-Vives se caractérise par deux profils types, différenciant les zones hors émergence (Figure 3), des zones dans l'émergence (Figure 4).

La dalle de couverture est une structure à nervures d'une hauteur moyenne de 1.20 m avec une dalle de compression de 30 cm. Le système s'encastre à ses extrémités sur les deux couples de murs transversaux qui longent l'ouvrage.

L'espace du 1^{er} sous-sol d'une hauteur libre de 3.55 m pourrait être utilisé comme surfaces commerciales.

Au 2^{ème} sous-sol, le vide de l'étage technique de 2.35 m permet un usage multiple de ces volumes, tels que parking, installations techniques ou stockage des commerces.

Hors émergence, des voiles transversaux en drapeau espacés tous les 8.10 m permettent de supporter deux niveaux de plancher (1^{ème} et 2^{ème} sous-sols) sur une portée de 21.30 m (Figure 3) et d'offrir un large passage entre les cloisonnements.

Ces voiles prennent appuis sur deux axes porteurs continus constitués par les parois moulées.

Au droit des émergences, les rampes d'escaliers et les escalators nécessitent des interruptions de la structure sur 16.20 m (Figure 4). L'étayage de l'enceinte périphérique est assuré par une structure en béton constituée de deux sommiers horizontaux disposés en tête de parois moulées, reliés par des butons intégrés à la structure caissonnée du plancher.

1.1.2 Description de l'exécution

L'exécution des travaux du projet CEVA se distingue en trois principales étapes (la durée des travaux est exprimée en mois à partir du commencement des travaux) ;

- étape 1 : réalisation des tranchées couvertes pendant les 16 premiers mois des travaux pour permettre l'accès via la gare aux ouvrages adjacents.
- étape 2 : travaux de la gare de Eaux-Vives pendant le marinage des matériaux d'excavation des ouvrages adjacents (tunnel de Champel et tranchée couverte Eaux-Vive – Frontière). Pendant cette phase (environ 28 mois), les travaux de la gare seront ralentis.
- étape 3 : site de la gare disponible sans entrave. Les travaux de gros-œuvre de la gare seront en grande partie réalisés pendant cette phase d'environ 20 mois.

L'exécution des travaux de la gare des Eaux-Vives est prévue en 4 phases principales (Figure 5) :

- phase 1 : exécution d'un pré-terrassement et mise en œuvre d'un blindage provisoire (colonne de jetting),
- phase 2 : terrassement de la première étape jusqu'au niveau – 8.50 m et réalisation des parois moulées,
- phase 3 : réalisation des poutres caissons liées aux parois moulées,
- phase 4 : réalisation du reste de la construction des structures en béton (terrassement en taupé par étapes jusqu'au niveau du radier, construction des éléments porteurs verticaux et de la dalle de couverture du niveau des commerces).

Pour éviter tout risque de pollution de la nappe profonde, il a été prévu que les travaux de jetting soient réalisés à l'abri de la nappe superficielle par la mise en œuvre d'une paroi de palplanches disposée au fur et à mesure de l'avancement.

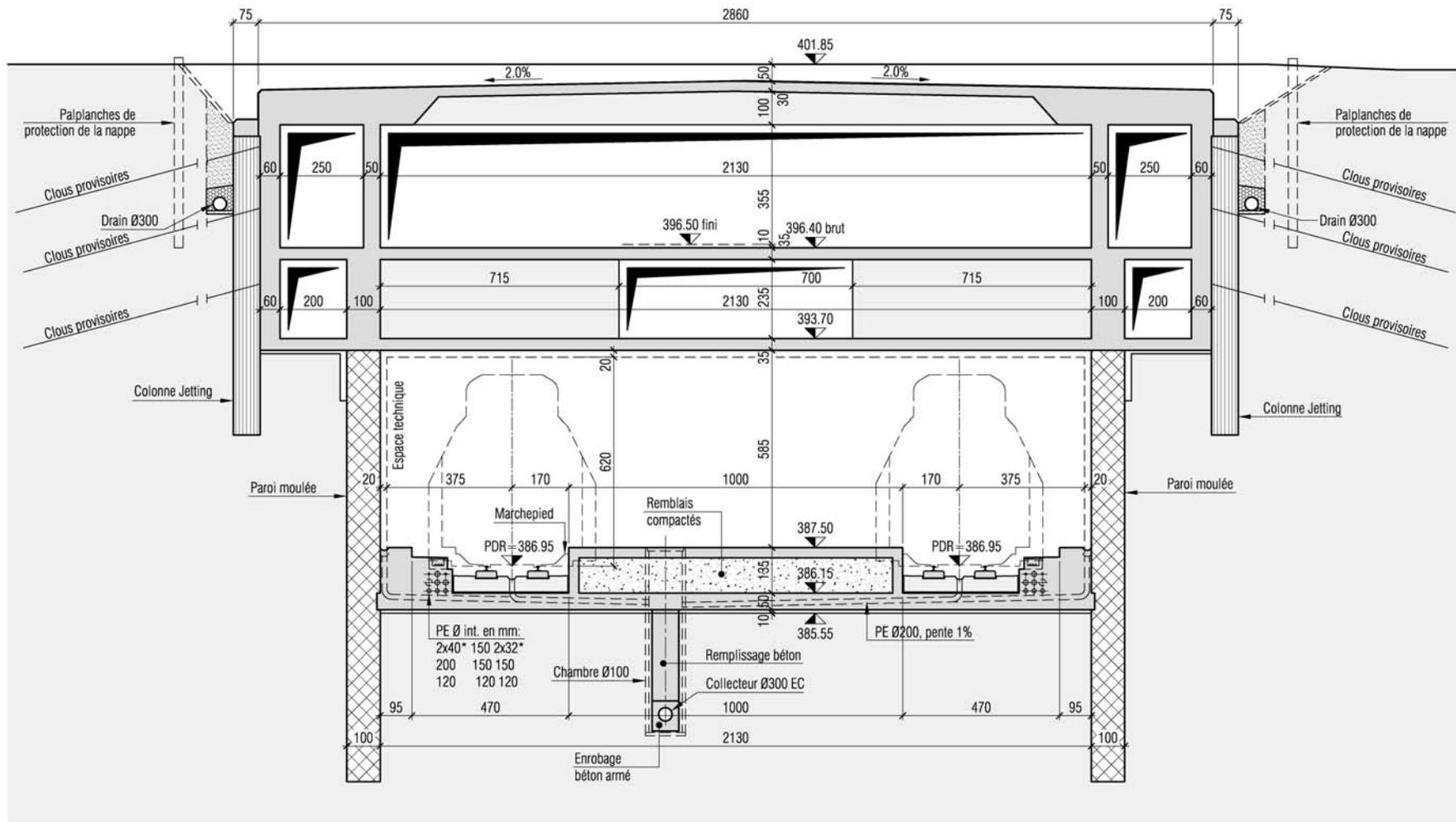


Figure 3 : Profil type de la gare des Eaux-Vives hors émergence

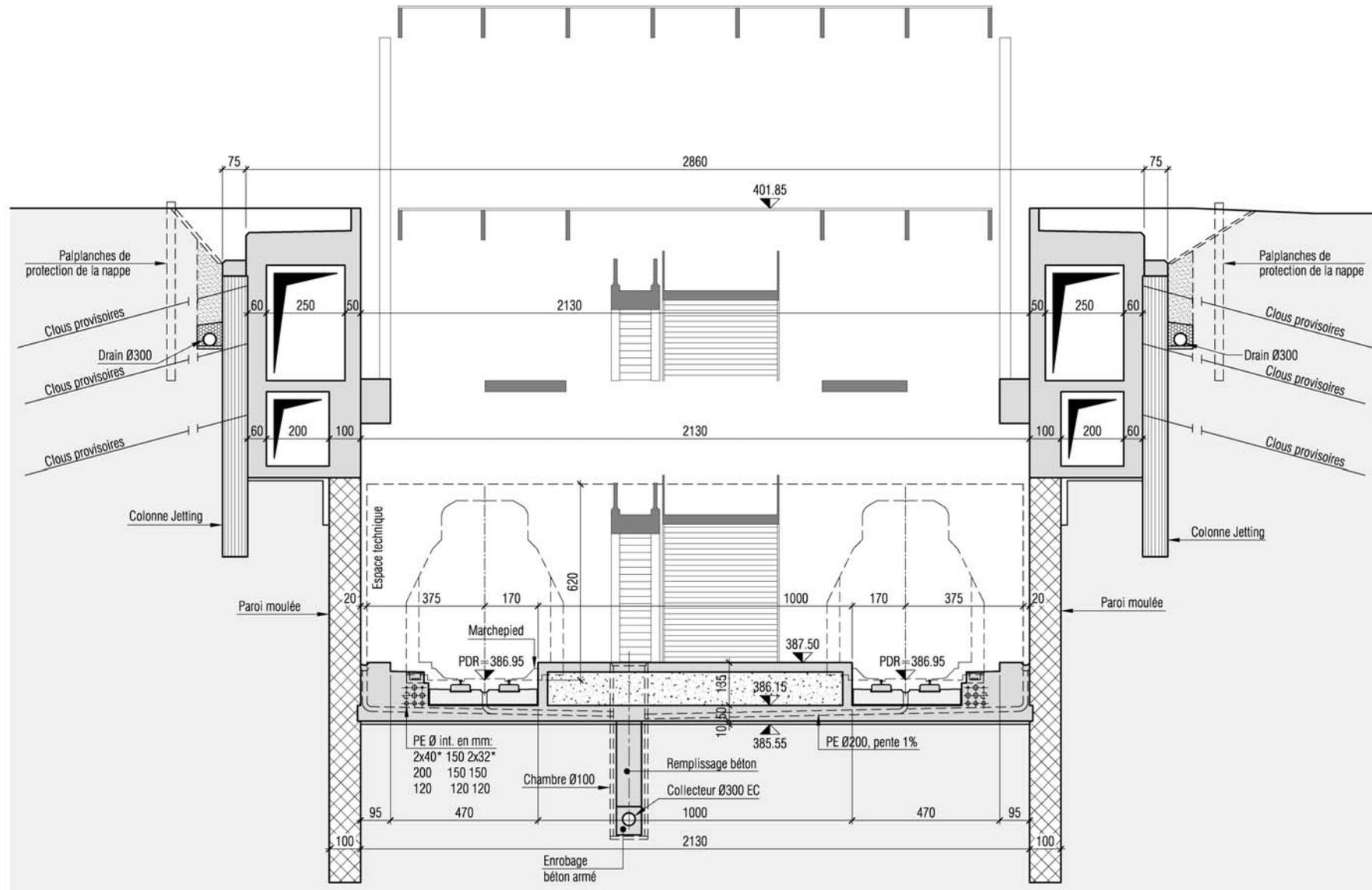
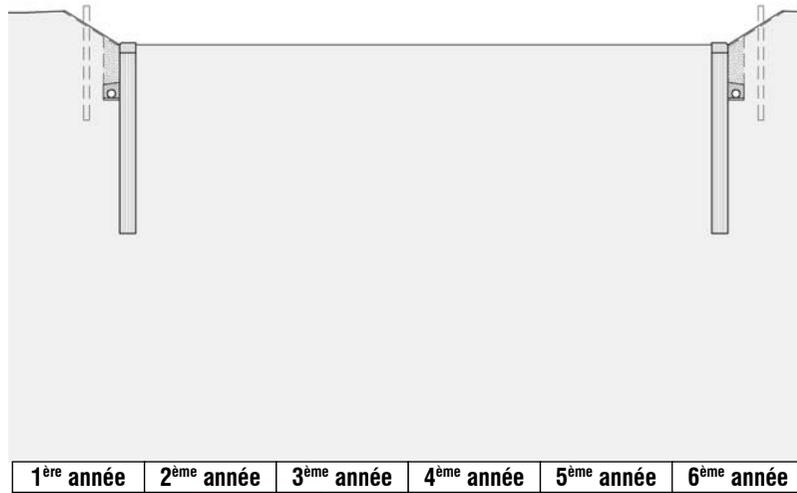
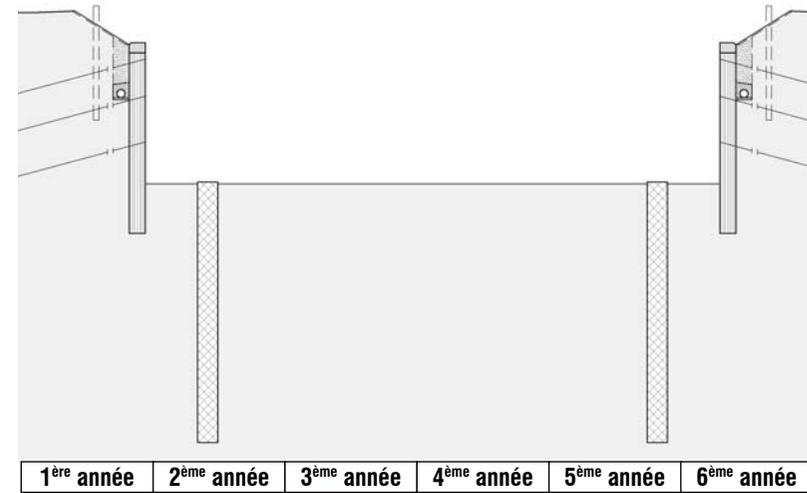


Figure 4 : Profil type de la gare des Eaux-Vives dans les émergences

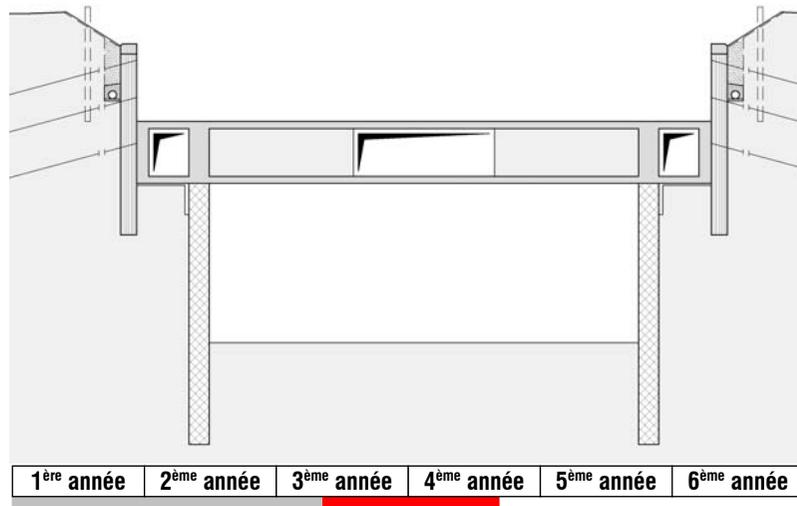
PHASE 1 : exécution des colonnes jetting



PHASE 2 : pré terrassement et exécution des parois moulées



PHASE 3 : exécution des poutres caisson et excavation de la gare



PHASE 4 : exécution du gros œuvre de la gare

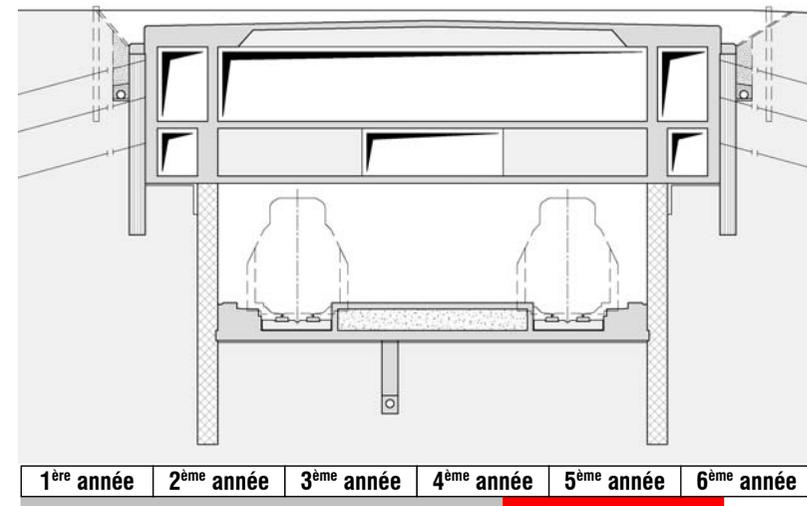


Figure 5 : Phasage du projet CEVA

1.2 DESCRIPTION DU PROJET SOVAGEV

La valorisation du site des terrains de la gare des Eaux-Vives s'inscrit dans le cadre plus large des projets:

- de Plan Directeur de Quartier (PDQ), de Plan(s) Localisé(s) de Quartier (PLQ) et de la modification de limites de zones (MLZ) conduit par l'Etat de Genève et la Ville de Genève,
- du CEVA dont la station enterrée "Eaux-Vives" correspond au cœur du projet d'aménagement.

Le périmètre actuel d'intervention de la SOVAGEV se trouve en partie en zone ferroviaire et en partie en zone 3 de développement. La vaste esplanade offerte en ces

zones permet d'accueillir un important programme de logements, un équipement culturel d'importance régional ainsi qu'un demi-groupe scolaire. De même, des surfaces d'activités sont également réservées et des commerces sont prévus dans certains rez-de-chaussée d'immeubles et à l'étage Mezzanine de la gare CEVA. Cette vaste esplanade est décomposée en 4 secteurs comme illustrés à la Figure 6 extraite du document MO-01 du 5 mars 2007.

- secteur A : équipement culturel,
- secteur C : demi-groupe scolaire, y compris réfectoire et crèche ainsi qu'un préau de 1'200 m² qui sera à disposition de l'école,
- secteur B et D destiné à des logements et des activités de bureaux et de commerces.



Figure 6 : Illustration d'un des scénarios adoptés par SOVAGEV

2 ASPECTS GEOTECHNIQUES

Consultant : GEOTECHNIQUE APPLIQUÉE DERIAZ SA

9, chemin des Vignes
CH-1213 Petit-Lancy

Tél. +41 22 792 03 00
Fax +41 22 792 44 04
E-mail gadz@gadz.ch

2.1 GEOLOGIE - STRATIGRAPHIE

Le secteur sous étude comprend la gare actuelle, l'avenue de Chamonix et l'avenue de la gare des Eaux-Vives. Il s'agit d'un replat artificiel situé à la cote 401.5 m/mer environ et s'inscrivant dans une pente de 5% descendant en direction du Nord-Ouest de Grange-Canal vers le quartier des Eaux-Vives. Ce replat est orienté parallèlement aux courbes de niveaux et par conséquent du Sud-ouest au Nord-est. Les voies et le tracé de CEVA suivent cette même orientation.

Ce replat est situé sur une langue terminale des puissantes assises graveleuses de l'Alluvion Ancienne (9a), siège de l'aquifère du Genevois protégé, réalimenté et utilisé pour l'alimentation en eau potable de la population. Pour l'essentiel du secteur, le toit de l'Alluvion Ancienne se situe environ 10 m sous le terrain naturel, vers 390 m/mer. Toutefois, il plonge assez fortement vers l'extrémité nord-ouest du secteur et se situe ensuite 20 m sous la surface vers la cote 380 m/mer environ.

L'Alluvion Ancienne repose sur le substratum rocheux vers 330 m/mer environ, en bordure sud du sillon molassique du Petit-Lac.

En surface, on rencontre une importante couche de remblais atteignant plusieurs mètres d'épaisseur et constitués le plus souvent de sables, limons et graviers. Ces remblais vraisemblablement mis en place lors de la construction de la gare actuelle sont de compacité moyenne.

Pour la zone sous étude, les couches pincées entre l'Alluvion Ancienne et les remblais, montrent d'importantes variations latérales de faciès, bien qu'elles soient généralement constituées d'une couche de limon argileux du retrait würmien très peu perméable et consolidé par dessiccation (6d1) recouvrant une couche de moraine

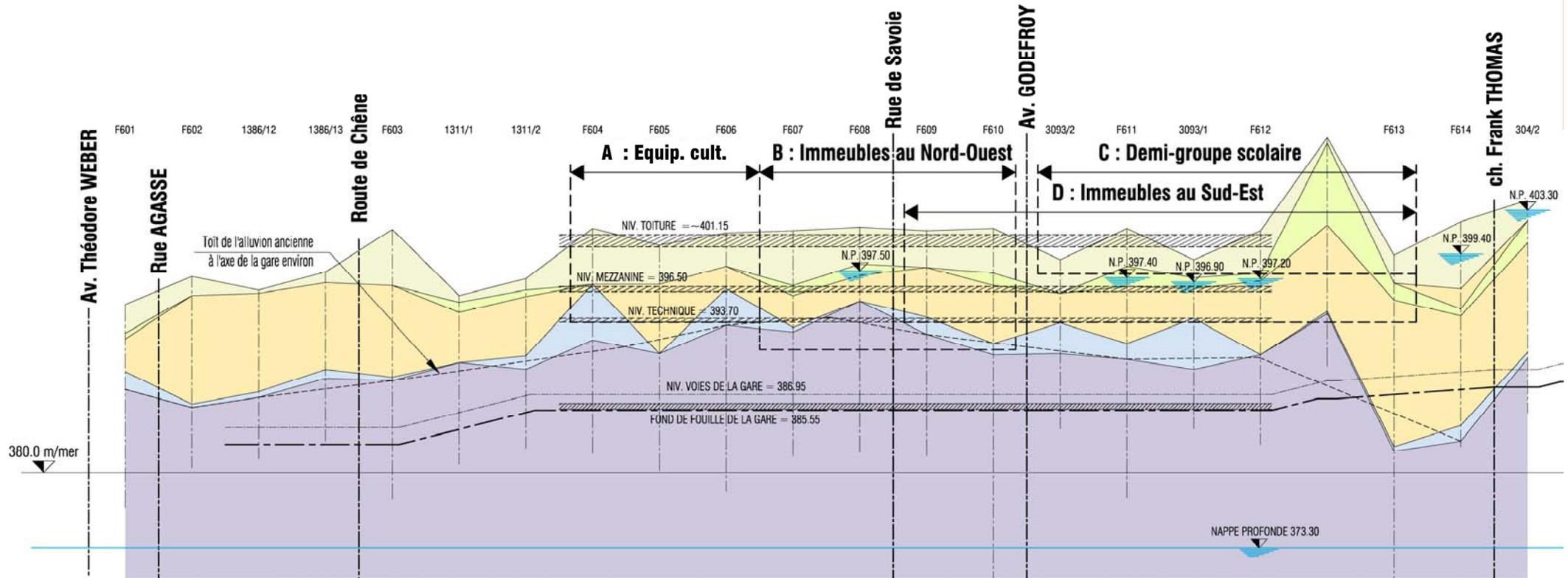
limoneuse à limono-argileuse généralement mince et correspondant fréquemment à une couche de transition (7c1) à l'Alluvion Ancienne.

Une importante zone de limon de retrait würmien (6c2) existe au Sud-est du secteur, alors qu'une extension de sables et de graviers de retrait se rencontre du côté opposé. Limons (6c), sables (6b) et graviers (6a), recourent ainsi fréquemment les limons argileux (6d) qui sont parfois plus argileux (6e) ou remplacés par de la moraine plus ou moins pauvre en cailloux (7d, 7e).

Quand elles sont épaisses (plongement du toit de l'Alluvion Ancienne), la consistance des couches limono-argileuses de retrait ou de moraine würmienne tend à décroître avec la profondeur. La consistance de ces couches est également plus faible quand elles sont alimentées en eau par des circulations dans des couches perméables.

Une récapitulation des sondages du secteur, réinterprétés sur la base de notre expérience pour ceux réalisés par le groupe ONLINE (F601 à F614) dans le cadre du projet CEVA de gare des Eaux-Vives est imagée sur la Figure 7.

Relevons qu'au vu du nombre très limité d'essais d'identification réalisés dans les forages du groupe ONLINE, la réinterprétation des sondages n'est pas sans équivoque.



Légende :

<table border="0"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</td> <td>Remblais</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6a/6b</td> <td>Formations supraglacières de retrait würmien - perméable - phase sablo-graveleuse</td> </tr> </table>	2	Remblais	6a/6b	Formations supraglacières de retrait würmien - perméable - phase sablo-graveleuse	<table border="0"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6c/6d</td> <td>Formations supraglacières de retrait würmien - relativement étanche - phase limono-argileuse</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7c/7d</td> <td>Moraine würmienne - relativement étanche - phase limono-argileuse</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9a</td> <td>Alluvion ancienne - perméable</td> </tr> </table>	6c/6d	Formations supraglacières de retrait würmien - relativement étanche - phase limono-argileuse	7c/7d	Moraine würmienne - relativement étanche - phase limono-argileuse	9a	Alluvion ancienne - perméable
2	Remblais										
6a/6b	Formations supraglacières de retrait würmien - perméable - phase sablo-graveleuse										
6c/6d	Formations supraglacières de retrait würmien - relativement étanche - phase limono-argileuse										
7c/7d	Moraine würmienne - relativement étanche - phase limono-argileuse										
9a	Alluvion ancienne - perméable										

Figure 7 : Profil géologique en long sur le secteur de la gare des Eaux-Vives (échelle déformée 1 : 5)

2.2 HYDROLOGIE

2.2.1 Ecoulements superficiels

Des écoulements, globalement orientés selon la topographie et liés à la pluviométrie, prennent place au bas des couches perméables à semi-perméables de surface, graveleuses (6a), sableuses (6b), éventuellement limoneuses (6c) ou constituées de remblais. Dans les zones déprimées du toit de l'imperméable (généralement constitué de limon argileux de retrait, 6d) ils forment une nappe superficielle, alors qu'ailleurs ils sont laminaires ou inexistantes.

Ces différentes configurations se rencontrent à l'avenue de la gare des Eaux-Vives : pas d'eau superficielle observée au Sud-ouest (vers la route de Chêne), écoulement laminaire au centre, au Nord-est (vers chemin Frank Thomas), nappe superficielle de type temporaire appelée " Eaux-Vives Chêne-Bougeries " et alimentée par les pluies tombant sur le plateau de Chêne-Bougeries et Grange-Canal et s'écoulant en direction des Eaux-Vives et du lac.

Des écoulements d'eau sont par ailleurs possibles à tous niveaux à la faveur d'horizons plus grossiers recoupant les couches très peu perméables.

Rappelons que l'eau donne un caractère fluent intempêtif aux sables et limons.

En surface, les niveaux relevés dans les sondages apparaissent dans le Tableau 1.

Les niveaux relevés sont susceptibles de fortement varier. On pourrait admettre, par rapport aux niveaux mesurés, une remontée possible de l'ordre de 50 cm. On se référera également aux données du suivi piézométrique du groupe ONLINE, évoqué dans son rapport géotechnique, mais dont les données ne nous sont pas connues. Pour les différents ouvrages prévus (CEVA, SOVAGEV), il conviendra de prévoir un captage des eaux superficielles à l'amont et une restitution à l'aval pour lutter contre l'effet de barrage d'ouvrages de grandes dimensions. Les débits sont peu importants et quelques traversées devraient suffire. Le concept pour lutter contre l'effet de barrage devra être étudié avec soin en coordonnant les projets. Pour des ouvrages ponctuels ou ne comprenant qu'un seul sous-sol, aucune mesure particulière n'est à prévoir pour lutter contre l'effet de barrage.

Forage	TN m/mer	Toit du peu perméable m/mer	Niveaux d'eau mesurés m/mer	Date	Puissance de la nappe m
1386/12	396.20	395.90	pas d'eau	1972	-
1386/13	397.80	396.90	pas d'eau	1972	-
F603	401.60	396.60	pas d'eau	21.09.04 au 20.10.04	-
1311/1	395.70	394.20	pas d'eau	1971	-
1311/2	397.20	395.60	pas d'eau	1971	-
F608	401.80	397.50	397.70 à 397.90	21.09.04 au 20.10.04	0.20 à 0.40
3093/2	398.90	395.90	396.70	17.08.87 et 23.11.87	0.80
F611	401.70	396.50	397.20 à 397.40	21.09.04 au 20.10.04	0.70 à 0.90
3093/1	398.90	396.30	396.90	17.08.87 et 23.11.87	0.60
F612	401.50	397.00	397.10 à 397.20	21.09.04 au 20.10.04	0.10 à 0.20
F614*	402.30	396.30	398.60 à 399.40	21.09.04 au 20.10.04	2.30 à 3.10

*piézomètres dans des remblais semi-perméables.

Tableau 1 : Relevés des niveaux de la nappe superficielle

2.2.2 Aquifère du Genevois

Comme évoqué au chapitre précédent, les graviers de l'Alluvion Ancienne sont le siège, en profondeur, de la nappe principale Rive Gauche protégée, réalimentée et utilisée pour l'alimentation en eau potable de la population. En fonction des niveaux de réalimentation, son niveau oscille entre 373 et 374 m/mer. Un niveau de la nappe de 373.3 m/mer a été relevé en septembre 2004 au droit des forages F610 et F614. Le puits de captage le plus proche se situe dans le parc La Grange. La nappe principale n'est pas directement concernée par le projet CEVA, les fiches des blindages s'arrêtent en effet environ 5 à 10 m au-dessus de son niveau. Toutefois l'ouvrage pénètre dans les graviers, siège de la nappe, et dans ce cadre les risques de pollution devront être évalués en considérant un secteur " Au " de protection des eaux

et non plus " B " correspondant à la situation initiale avant percement de la couche très peu perméable. Les mêmes réflexions s'appliquent aux projets de SOVAGEV.

2.2.3 Interaction entre nappes superficielles et nappe profonde

Nappes superficielles et nappe profonde ne sont pas en relation et sont séparées par une couche imperméable généralement d'une dizaine de mètres d'épaisseur mais s'amincissant dans la zone centrale de l'avenue de la Gare à une épaisseur de quelques mètres. Dans cette zone les écoulements de surface sont toutefois peu importants (de type laminaire) et représentent des débits faibles. Il n'y a ainsi pas de risque significatif d'infiltration des eaux de surface vers la nappe profonde.

En cours de chantier, les mesures usuellement mises en œuvre évitent également les circulations verticales.

2.2.4 Séismologie

Le sous-sol de la parcelle est composé de terrains limono-argileux (retrait würmien) reposant à moins de 30 m de profondeur sur l'Alluvion Ancienne très compacte. Sur cette base, les sols de fondation peuvent être rangés dans en classe E au sens de la norme SIA 261 – Tableau 25. Pour les ouvrages traversant les couches superficielles et venant se fonder directement dans l'Alluvion Ancienne, la classe B s'applique.

2.3 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS GENERALES

2.3.1 Séquence et organisation des chantiers

Le projet immobilier et le projet ferroviaire sont de nature sensiblement différente, le premier comprend plusieurs bâtiments d'affectations différentes n'ayant pas à être réalisés en même temps, le deuxième devra obligatoirement s'inscrire dans le planning général de CEVA.

Par ailleurs les bâtiments de SOVAGEV viendront s'appuyer sur le projet de la gare, si la gare existe, alors que si l'on construit d'abord les bâtiments, une série de mesures particulières devront être prises lors de la construction de la gare pour éviter tout désordre aux bâtiments.

Sur ces bases, il semble qu'il n'y ait pas d'autre choix que de construire d'abord la gare et de réaliser ensuite le projet immobilier. Les réflexions constructives qui suivent sont basées sur ce postulat.

2.3.2 Fondations

L'Alluvion Ancienne constitue un excellent sol de fondation de par sa grande capacité portante et sa très faible compressibilité. Elle se rencontre en outre à relativement faible profondeur et constitue une assise de fondation privilégiée, en particulier en ce qui concerne les fortes charges ponctuelles. Ces dernières pourront être descendues à l'aide de fondations profondes (pieux, barrettes, tranchées sèches) en son sein. La résistance externe nécessaire (R_a) de ces fondations profondes sera généralement déjà obtenue avec des fiches constructives. C'est ainsi la résistance interne (R_i) de la structure qui devient rapidement déterminante.

On veillera à rester dans les graviers de l'Alluvion Ancienne hors nappe.

Le radier de la future gare des Eaux-Vives reposera entre 383 (au Sud-ouest) et 385 m/mer (au Sud-est) environ sur les terrains très compacts de l'Alluvion Ancienne, éventuellement la moraine de transition à l'Alluvion Ancienne à l'extrémité Sud-est. Les fiches des blindages pénétreront en principe toujours dans l'Alluvion ancienne. Dans ce cadre, des surcharges verticales apportées à la structure de CEVA par SOVAGEV pourront être absorbées sans difficulté par le terrain, tant du point de vue de la sécurité structurale que de l'aptitude au service, ceci sans augmentations significatives des fiches des parois-moulées. Si radier et parois-moulées de la gare sont correctement liés, la capacité portante de l'ensemble devient énorme. On se retrouve donc dans une configuration où c'est la résistance interne de la structure (parois moulées, piliers, voiles, etc.) qui est déterminante et c'est cette dernière qui doit être vérifiée en priorité.

Dans les formations de surfaces, plus ou moins imperméables, on prévoira d'une manière générale une fondation sur radier général à inertie variable, les conditions de fondations pouvant être assez variables. Des fondations sur semelles sont également possibles mais il conviendra d'en vérifier la capacité portante au cas par cas. On évitera de se fonder sur les remblais, sauf ouvrage léger de peu d'importance.

Radier et dallage seront drainés. Les limons argileux de retrait sont sensibles à l'eau et les fonds seront protégés à l'avancement contre l'altération.

2.3.3 Terrassements

Pour les constructions de SOVAGEV, il serait préférable de ne pas traverser complètement les couches imperméables, ceci pour rester en secteur " B " de protection des eaux et éviter les contraintes du secteur " Au ". Ce point devrait être toujours vérifié si l'on limite le nombre de sous-sols à un maximum de 2. Dans ce cas, les terrassements intéresseraient ainsi une tranche de terrain de 6 à 8 m d'épaisseur, constituée pour moitié de remblais et pour moitié de retrait limono-argileux.

Précisons qu'un nombre de sous-sols plus élevé est possible toutefois il conviendra alors de respecter les exigences posées par un secteur " Au " de protection des eaux. Ces exigences sont regroupées dans une documentation " l'environnement pratique " de l'OFFEP.

Au vu du contexte urbain et des contraintes d'emprise, les terrassements s'effectueront généralement à l'abri d'un blindage correctement fiché et butonné. Les conditions d'eau devront être soigneusement vérifiées, ceci pour choisir le type de blindage (étanche ou non) et définir les mesures de préservation des nappes superficielles. Rappelons que ces conditions sont assez différentes selon le secteur concerné.

2.3.4 Excavation des remblais

Sur la base de notre expérience et conformément aux directives en vigueur, les remblais doivent être évacués, en règle générale, dans une décharge contrôlée pour matériaux inertes (DCMI), car ils présentent souvent des teneurs en polluants dépassant les limites légales pour les matériaux non pollués (hydrocarbures, métaux lourds et autres substances chimiques) ou contiennent des déchets (ferraille, gravats, etc.).

Seule une analyse détaillée de leur composition permettra de définir le mode d'élimination adéquat en fonction de leur degré de pollution. Une évacuation vers une décharge pour matériaux non pollués n'est possible que sur la base d'analyses prouvant leur innocuité.

L'évacuation des remblais peut entraîner des surcoûts importants par rapport à une décharge pour matériaux terreux. Ceci est à prévoir suffisamment à l'avance lors de l'établissement du projet.

A cet égard, une étude spécifique, basée sur l'analyse d'échantillons prélevés dans les matériaux en place suffisamment tôt avant le début des travaux et suffisamment nombreux pour tenir compte de l'hétérogénéité des remblais, est fortement recommandée.

2.3.5 Protection de l'aquifère du Genevois

Des ouvrages de fondations profondes (pieux, barrettes) pénétrant dans l'Alluvion Ancienne, ont été réalisés à de nombreuses reprises en territoire genevois. L'expérience montre que l'éventuelle laitance de ciment du béton ne pénètre pas plus de quelques centimètres dans les graviers. Ainsi dans le cas de pieux réalisés à l'abri d'un tubage, il n'y a pas de mesures de précautions particulières à prendre, même si l'on pénètre dans les graviers hors nappe de l'Alluvion Ancienne. Pour des excavations faites sous boue de bentonite, la formation d'un cake évite la perte de la boue et l'infiltration de celle-ci dans le sol, sauf cas exceptionnel (par exemple zone de vides ou zone de boulets sans sable et sans fines avec une perméabilité de l'ordre de $k=1$ m/s).

Ainsi s'il convient de prendre toutes les mesures de précautions requises pour protéger la nappe profonde lors des terrassements et du drainage des eaux, il n'y a par contre guère d'exigence particulière en ce qui concerne les fondations profondes.

2.3.6 Nappe superficielle, effet de barrage

L'effet de barrage aux écoulements superficiels devra être principalement traité par les auteurs du projet CEVA. La nappe superficielle se situe en général à une profondeur supérieure à 3 m et l'effet de barrage ne devra être traité que pour les bâtiments de plus d'un sous-sol et dans la mesure où une nappe caractérisée existe. Dans les autres secteurs et dans la mesure où l'on évite de créer des barres de sous-sols trop importantes l'eau contournera l'obstacle.

2.4 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS PAR OUVRAGE

2.4.1 Parois moulées de la gare des Eaux-Vives (CEVA)

Pour les fiches des parois moulées prévues (5 m, 1 m de large), on peut estimer la portance verticale de calcul totale des parois (charge majorée) à $N_d = 7'000$ kN/m, ceci sans tenir compte de l'effet du radier. Cette portance est valable pour des parois fichées dans l'Alluvion Ancienne. Il semble judicieux de s'appuyer sur ces parois. Il convient toutefois de vérifier la résistance interne de la structure de la gare. Dans la partie Nord-est de la gare, on s'assurera que les fiches des parois moulées se situent bien dans l'Alluvion Ancienne.

2.4.2 Secteur A : Équipement culturel

On reportera prioritairement les charges en profondeur, soit à l'aide de pieux, soit en s'appuyant sur les parois moulées de la gare.

2.4.3 Secteurs B et D : Immeubles

D'un point de vue de la protection des eaux, le choix d'un seul sous-sol est optimum. Dans ce contexte il n'y a pas d'effet de barrage et pas de percement de la couche imperméable. Deux sous-sols ne traversent pas l'imperméable mais il convient de traiter l'effet de barrage. A partir de trois sous-sols, il faut tenir compte d'un secteur "Au" de protection des eaux. D'un point de vue structurel, des fondations superficielles dans les remblais sont peu recommandées et ce n'est qu'à partir de deux sous-sols qu'on ne devrait plus être dans les remblais. Dans cette configuration une fondation sur radier général drainé peut être retenue. Ici aussi il peut être préférable de reporter les charges en profondeur.

2.4.4 Secteur C : Demi-groupe scolaire

Pour ce groupe, il semble également judicieux de reporter prioritairement les charges en profondeur, soit à l'aide de pieux, soit en s'appuyant sur les parois moulées de la gare. Dans ce dernier cas il faut s'assurer que les parois moulées soient bien fichées dans l'Alluvion Ancienne.

2.4.5 Renforcement de la structure de la gare des Eaux-Vives en relation avec le projet SOVAGEV

D'un point de vue de l'interaction sol-structure, les pointages réalisés, montrent que le projet SOVAGEV ne nécessite pas de modification notable du projet de la gare des Eaux-Vives. En effet les efforts seront bien un peu majorés mais a priori sans nécessiter de changement de section des structures. Il convient de tenir compte du projet immobilier dans le dimensionnement de la gare et les éléments de projet nécessaires devront être fournis à temps par SOVAGEV aux projecteurs de CEVA.

2.5 CONCLUSIONS ASPECTS GEOTECHNIQUES

Dans le secteur de la gare des Eaux-Vives, on rencontre les formations compactes et hors nappe de l'Alluvion Ancienne vers 10 m de profondeur. La plaine artificielle de la gare, située vers 401.5 m/mer, comporte en surface une importante couche de remblais limono-sablo-graveleux qui recouvre généralement des limons argileux peu perméables du retrait würmien. Toutefois entre remblais et limons argileux et à la faveur de dépressions du toit de ces derniers, on rencontre des couches sablo-graveleuses de retrait au sein desquelles des circulations d'eau prennent place à partir de 3 à 4 m de profondeur. Elles sont assimilables localement à une nappe superficielle de type temporaire (secteur Nord-est, nappe "Eaux-Vives Chêne-Bougeries") généralement de faible transmissivité.

En profondeur vers 373.30 m/mer on rencontre l'aquifère du Genevois, Rive Gauche, protégé, réalimenté et utilisé pour l'alimentation en eau potable de la population. Le puits de captage le plus proche se situe dans le parc La Grange. Cette nappe est protégée par les couches peu perméables du retrait et on se situe de ce fait en secteur "B" de protection des eaux. Dans le cas où les terrassements traverseraient l'entier de la couche peu perméable, il conviendrait alors de considérer un secteur "Au" de protection des eaux.

Le radier de la tranchée couverte du projet CEVA est fondé pour l'essentiel sur les graviers de l'Alluvion Ancienne, sous les couches peu perméables.

Sur la base des points développés dans les chapitres précédents, on peut formuler pour les projets SOVAGEV les recommandations suivantes :

Recommandations générales pour le projet immobilier :

1. On réalisera le projet immobilier après celui de CEVA.
2. On fondera prioritairement les ouvrages dans les graviers de l'Alluvion Ancienne à l'aide de fondations profondes (pieux, barrettes, parois-moulées du CEVA). Ces fondations profondes ne nécessitent pas de mesures particulières de protection des eaux des nappes superficielles ou profonde, les mesures constructives usuelles suffisent.
3. En alternative aux fondations profondes, une fondation sur radier général peut être envisagée. On évitera toutefois de se fonder dans les remblais (sauf pour des ouvrages léger et peu important) et il convient dans ce cadre de prévoir au moins 2 sous-sols.
4. On évitera de percer la couche peu perméable recouvrant les graviers par des terrassements en pleine masse. On limitera ainsi le gabarit à deux sous-sols. Pour un nombre de sous-sols supérieur, un secteur " Au " de protection des eaux s'applique.
5. On étudiera au cas par cas les mesures qu'il convient de prendre pour lutter contre l'effet de barrage aux écoulements superficiels.
6. On tiendra compte de la présence de remblais vraisemblablement pollués dans la planification financière.

Recommandations pour le projet CEVA :

7. On vérifiera que les fiches des parois moulées se situent partout dans l'Alluvion Ancienne, ceci pour assurer les conditions de portance verticale. Selon la carte structurale de l'Alluvion Ancienne ce devrait être partout le cas sans prolongation de fiches. Le cas échéant les fiches seront prolongées.
8. On tiendra compte du projet SOVAGEV dans le dimensionnement de CEVA. Dans ce cadre SOVAGEV fournira les éléments nécessaires au projeteur de CEVA suffisamment tôt.
9. On évitera de créer un effet de barrage aux écoulements superficiels, il convient de prendre les mesures constructives nécessaires pour assurer les écoulements.

10. En ce qui concerne l'interaction sol-structure, il n'y a priori aucun surdimensionnement notoire pour CEVA du fait du projet SOVAGEV.

Recommandations d'étude complémentaires :

11. Pour chaque bâtiment on vérifia au stade du projet et à l'aide de sondages et d'analyses appropriées :
 - a. Pour les terrassements, la nature des remblais d'un point de vue de l'OTD.
 - b. Pour l'effet de barrage et les blindages, la présence ou non d'une nappe superficielle.
 - c. Pour les blindages et les fondations, la stratigraphie effective à considérer (au vu des fortes variations latérales).
- b. Les sondages seront équipés de piézomètres et un suivi de l'évolution des niveaux d'eau sur une période d'environ une année sera réalisé.

Christophe DERIAZ
Ingénieur EPFZ

GEOTECHNIQUE APPLIQUEE
DERIAZ SA

3 ETUDES DES STRUCTURES PORTEUSES

3.1 IDENTIFICATION DES CONTRAINTES AFFECTANT LE PROJET DE LA GARE (CEVA)

3.1.1 Nouvelle hauteur du vide d'étage du 1^{er} sous-sol de la nouvelle gare

Lors d'une dernière optimisation du projet CEVA, la hauteur libre du 1^{er} sous-sol a été réduite à 3.55 m. Cette nouvelle hauteur nous semble faible pour permettre une exploitation commerciale de ce niveau.

Afin de garantir son affectation commerciale, il serait recommandé de rehausser la dalle toiture de 50 cm ce qui permettrait de retrouver une hauteur libre optimale pour cet étage. Cette mesure nécessiterait une nouvelle étude de l'aménagement en surface de la gare pour absorber la variation de niveau des aménagements extérieurs.

En estimant un prix au mètre cube brut construit à 200.-, le nouveau volume serait augmenté de 4'000 m³, ce qui générerait un surcoût d'environ 800'000.-

3.1.2 Descente de charges du bâtiment culturel sur la paroi moulée de la nouvelle gare

Au droit du secteur A, le nouvel équipement culturel est implanté à cheval sur la nouvelle gare. Pour permettre l'assise de ce futur bâtiment, il semble judicieux de prévoir la possibilité de descendre des charges au droit de la paroi moulée du CEVA. Une estimation de la portance verticale des parois moulées a donc été effectuée.

Pour les fiches des parois moulées prévues (5 m, 1 m de large), la portance verticale de calcul totale des parois (charge majorée) peut être estimée à $N_d = 7'000$ kN/m, ceci sans tenir compte de l'effet du radier. Cette portance est valable pour des parois fichées dans l'Alluvion Ancienne. Dans la partie Nord-est de la gare, on s'assurera que les fiches des parois moulées se situent bien dans l'Alluvion Ancienne.

Dans cette éventualité, il serait opportun de centrer les porteurs du 1^{er} sous-sol sur la paroi moulée inférieure.

Il conviendra toutefois de vérifier la résistance interne de la structure de la gare pour que cette dernière puisse supporter des charges ponctuelles de l'ordre de 10'000 kN

avec un espacement de 5.40 m à l'axe des parois moulées. Cette dernière configuration représenterait un des scénarios plausibles quant à la distribution des porteurs du bâtiment culturel sur la nouvelle gare.

3.1.3 Connexions entre le 1^{er} sous-sol de la nouvelle gare avec le projet SOVAGEV

Une perméabilité entre les sous-sols du projet SOVAGEV et la nouvelle gare étant également souhaitée, une structure ponctuelle au 1^{er} sous-sol au droit des parois moulées serait mieux adapté que le mur actuel. Ces colonnes devraient être renforcées pour supporter l'éventuelle superstructure du bâtiment culturel dans le secteur A. Ce renforcement peut être estimé à 2'000.- par porteurs. Le futur bâtiment présentant une longueur d'environ 80 m, les porteurs ponctuels pourraient être implantés avec un espacement de 5.40 m (multiple du module de base architectural des émergences). Le nombre de colonnes renforcées seraient donc de 30 pièces et représenterait un surcoût de 60'000.-.

Ailleurs, si l'espacement de ces colonnes reste dans des proportions d'environ 5.40 m, le surcoût serait négligeable. Si le choix d'une trame plus espacée est souhaité, les surcoûts devront être réévalués.

Ce même principe peut s'appliquer aux murs extérieurs. Ces murs latéraux devront être gardés continus dans un premier temps afin de garantir l'étanchéité du 1^{er} sous-sol. Dans la perspective d'ouvertures ultérieures de cet écran, des redans pourraient être prévus selon une trame identique aux porteurs ponctuels intermédiaires. Ces redans concentreraient l'armature nécessaire garantissant la résistance de la structure de la gare tout en permettant la création de passages entre ces renforts. Dans ce cas, un léger surcoût des coffrages serait à considérer. Il s'élèverait à environ 200.- par mètre de mur ce qui renchérirait l'exécution de ces écrans au droit des bâtiments SOVAGEV de la manière suivantes :

bâtiment A : 30'000.-
bâtiment B : 20'000.-
bâtiment C : 10'000.-

3.1.4 Exploitation de l'étage technique de la nouvelle gare

Pour permettre l'exploitation de l'étage technique de la gare en parking, une connexion entre ce volume et les sous-sols des futurs bâtiments SOVAGEV est nécessaire. Ces

passages interrompent nécessairement les caissons latéraux servant de gaine de ventilation de la nouvelle gare. Cette gaine devant être obligatoirement continue sur la totalité de sa longueur, il est possible de créer ces passages uniquement aux extrémités de la gaine, soit aux extrémités de la gare (Figure 8).

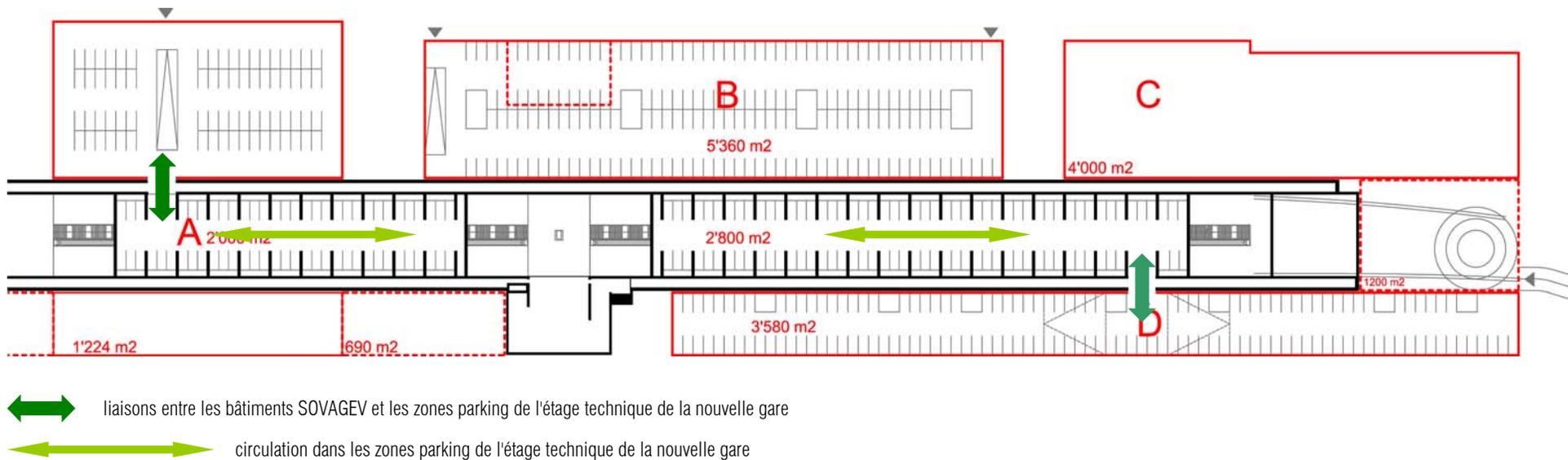


Figure 8 : Vue en plan du 2^{ème} sous-sol avec accès parking

Le percement des deux murs latéraux des caissons pourra se faire uniquement si les voiles continus sont conservés au 1^{er} sous-sol au droit de ces futures ouvertures afin de garantir un appui à la dalle sur 2^{ème} sous-sol.

De plus, une étude concernant la sécurité au feu de cet étage sera nécessaire. En effet, il n'est actuellement prévu aucune voie de fuite pour le 2^{ème} sous-sol permettant une exploitation conforme aux directives AEAI.

Un système de ventilation sera également nécessaire pour l'affectation de ce niveau en parking. Ce système de ventilation devra être totalement indépendant de celui de la gare. L'implantation de gaines longitudinales sera probablement inévitable ce qui affaiblira les voiles transversaux travaillant en drapeaux. Ces derniers pourraient être renforcés en les prolongeant tout en garantissant une ouverture centrale de 7.00 m permettant l'exploitation du 2^{ème} sous-sol en parking. Cet allongement des voiles de 60 cm présenterait un surcoût de 1'000.- par voile, soit un surcoût de 60'000.-

3.2 IDENTIFICATION DES CONTRAINTES LIEES A LA REALISATION DES PROJETS SOVAGEV

3.2.1 Simultanéité des travaux avec ceux de la nouvelle gare

Le projet immobilier SOVAGEV et le projet ferroviaire CEVA présentent des caractéristiques techniques, organisationnelles et logistiques de natures sensiblement différentes. Le premier comprend plusieurs bâtiments d'affectations différentes pouvant être réalisés de manière indépendante et discontinue dans le temps alors que le deuxième projet nécessite obligatoirement une exécution continue et inscrite dans le planning général du CEVA.

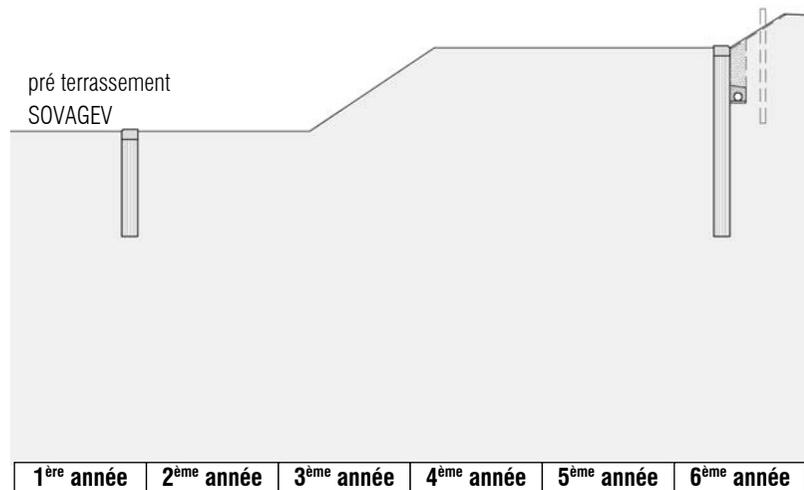
Les contraintes liées aux étapes de construction du projet CEVA par rapport au marinage des matériaux d'excavation des ouvrages adjacents (tunnel de Champel et tranchée couverte Eaux-Vives – Frontière), la place disponible pour l'installation de chantier et les mesures nécessaires pour garantir une certaine fluidité du trafic du quartier (déviation de routes, nombre de camions nécessaires pour l'évacuation des matériaux et l'acheminement de matériel, etc.) nous conduisent à préconiser, au delà des éventuelles implications techniques dues à une réalisation simultanée des deux projets, une exécution différée avec logiquement en priorité celui du CEVA.

Néanmoins, une coordination des projets lors de la deuxième phase d'exécution de la nouvelle gare (porteurs du 1^{er} sous-sol et dalle toiture) permettrait de dégager des économies. En effet, une pré-excavation des projets SOVAGEV lors de la première étape du projet CEVA permettrait l'exécution d'un rideau de jetting moins important (Figure 9).

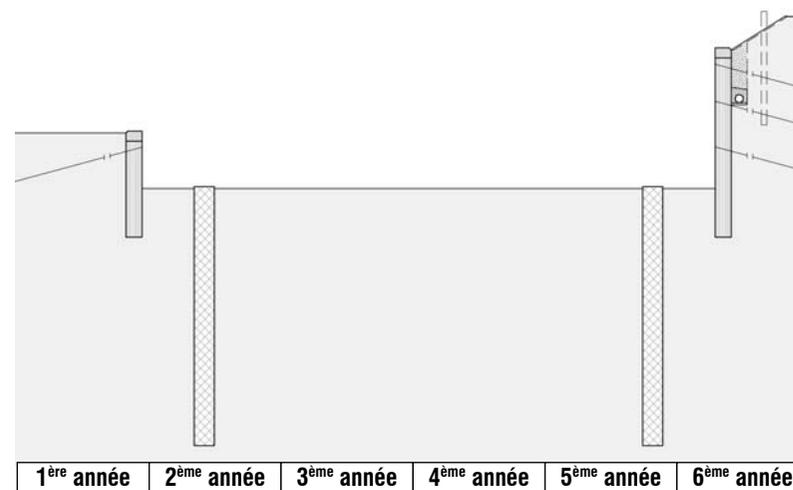
La réduction du rideau de jetting peut être évaluée à 1'000.- par mètre de jetting, ce qui génère des économies possibles par bâtiment de :

bâtiment A :	150'000.-
bâtiment B :	150'000.-
bâtiment C :	120'000.-
bâtiment D :	220'000.-

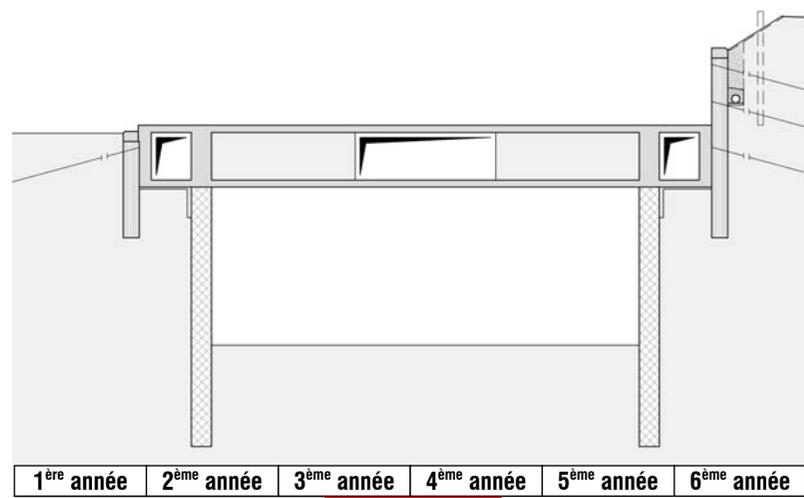
PHASE 1 : exécution des colonnes jetting



PHASE 2 : pré terrassement et exécution des parois moulées



PHASE 3 : exécution des poutres caisson et excavation de la gare



PHASE 4 : exécution du gros œuvre de la gare et des bâtiments SOVAGEV

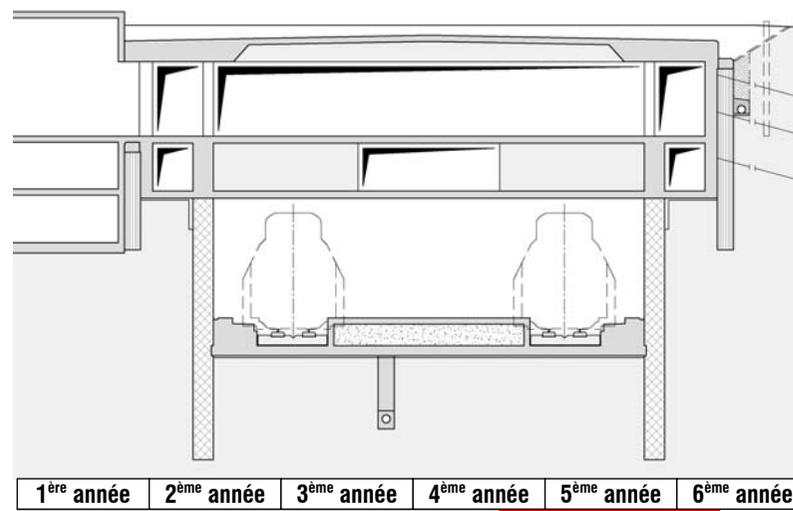


Figure 9 : Phasage optimum des deux projets

3.2.2 Excavations proches de la nouvelle gare

Une analyse du comportement des parois moulées vis-à-vis de la réalisation du projet SOVAGEV par rapport à celui du CEVA a été effectuée.

Afin de pouvoir avoir une approche globale du problème de l'interaction sol-structure sur les parois moulées, la situation la plus critique après réalisation a été analysée. Cette situation correspond à la coupe type à travers l'équipement culturel (Figure 11) où après réalisation du projet SOVAGEV, une poussée asymétrique due à la différence de niveau d'excavation sollicite les parois moulées de la gare des Eaux-Vives. Cette simulation a été réalisée sur le logiciel de calcul par éléments finis sol-structure PLAXIS afin de pouvoir apprécier l'état limite de type 2 (capacité portante de la structure ou de l'une de ses parties ; défaillance par rupture, par déformation excessive, par désarticulation ou par perte de stabilité interne) au sens de la norme SIA 267. Les différents pointages réalisés montrent que le projet SOVAGEV ne nécessite pas de modification notable du projet de la gare des Eaux-Vives. Bien qu'une certaine augmentation des efforts dans les parois moulées soit à prévoir, cette dernière ne devrait à priori pas nécessiter de changement de section des structures et pourrait être reprise par l'armature normalement prévue (à vérifier selon le projet d'exécution du CEVA).

La phase critique correspond à la réalisation d'un immeuble de plusieurs sous-sols sans assurer la reprise des poussées asymétriques. Les différentes étapes de construction ont été analysées sur PLAXIS afin de pouvoir apprécier le comportement des parois moulées par rapport à la réalisation de chaque niveau de sous-sol. Au total, 4 niveaux de sous-sols ont été étudiés. Comme pour l'analyse précédente, une augmentation des efforts est observée. Cette dernière pourrait être reprise normalement jusqu'à deux voire trois sous-sols par l'armature prévue (à vérifier selon le projet d'exécution du CEVA). Par contre la réalisation d'un quatrième sous-sol nécessiterait soit un renforcement non négligeable de l'armature de flexion, soit un étayage de la fouille en phase d'exécution (Figure 12).

Bien que le projet SOVAGEV n'impliquerait pas de changement structurel, comme vu précédemment, il est cependant nécessaire de vérifier que les déformations induites par ce dernier sur le projet du CEVA n'entraînent pas de désordre, particulièrement au niveau des conditions d'appuis de la superstructure aux droits des émergences. De ce fait, il incombe à SOVAGEV de fournir les éléments nécessaires aux projeteurs de CEVA suffisamment tôt.

3.2.3 Déviation ou déplacement des réseaux

Concernant le réseau électrique actuel dans la zone de la gare des Eaux-Vives, une batterie de tubes électriques MT/BT traverse le site de la future gare. Ces câbles électriques seront définitivement déplacés et traverseront le site de la gare au niveau de l'esplanade formant un triangle entre l'avenue de Chamonix, l'avenue de la gare des Eaux-Vives et la route de Chêne. Cette adaptation ne devrait être pas perturbée le projet SOVAGEV.

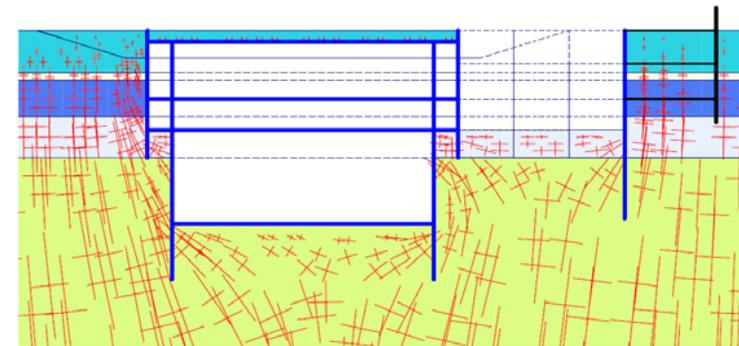


Figure 10 : Modélisation aux éléments finis (PLAXIS)

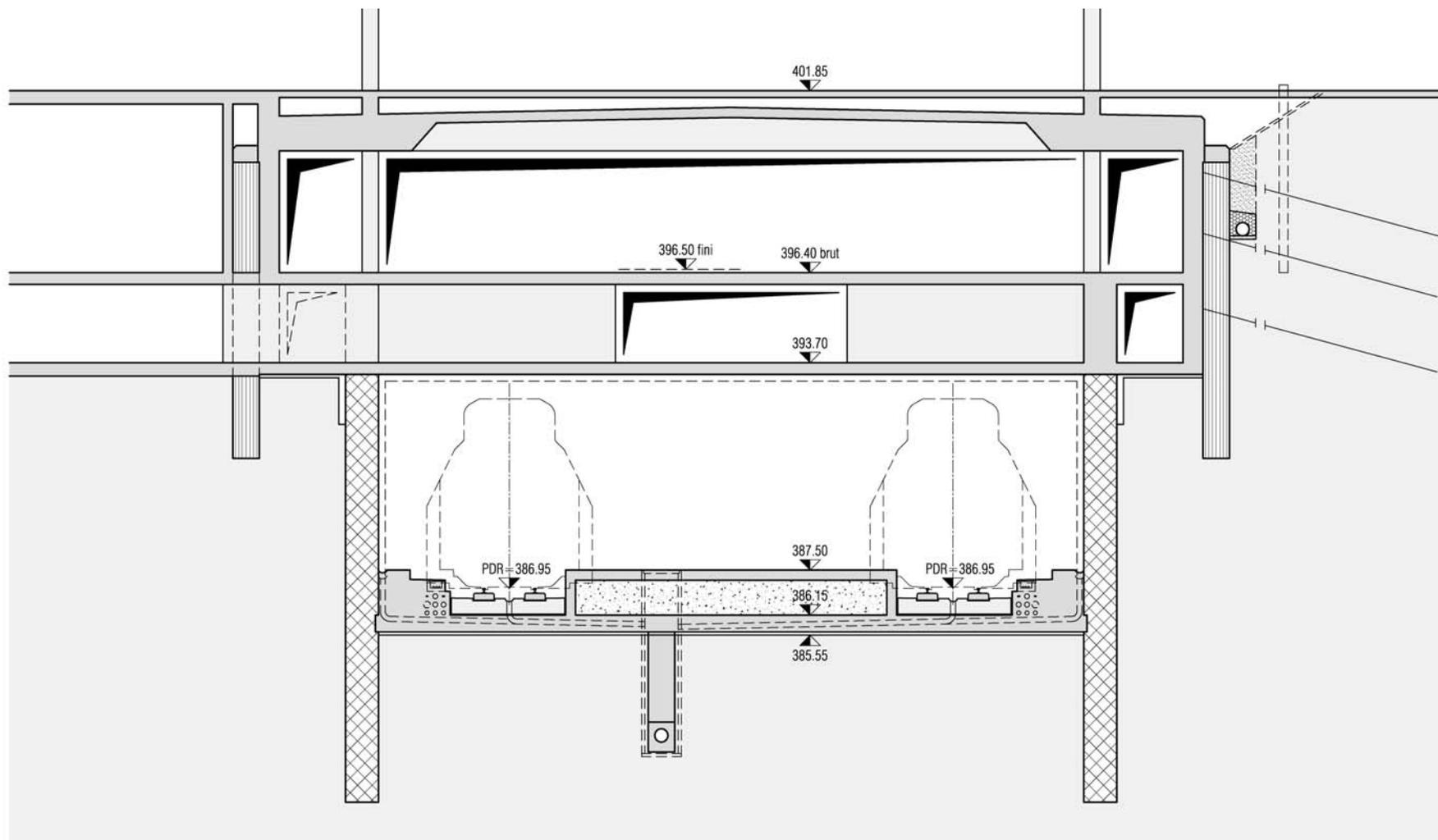


Figure 11 : Coupe type à travers l'équipement culturel

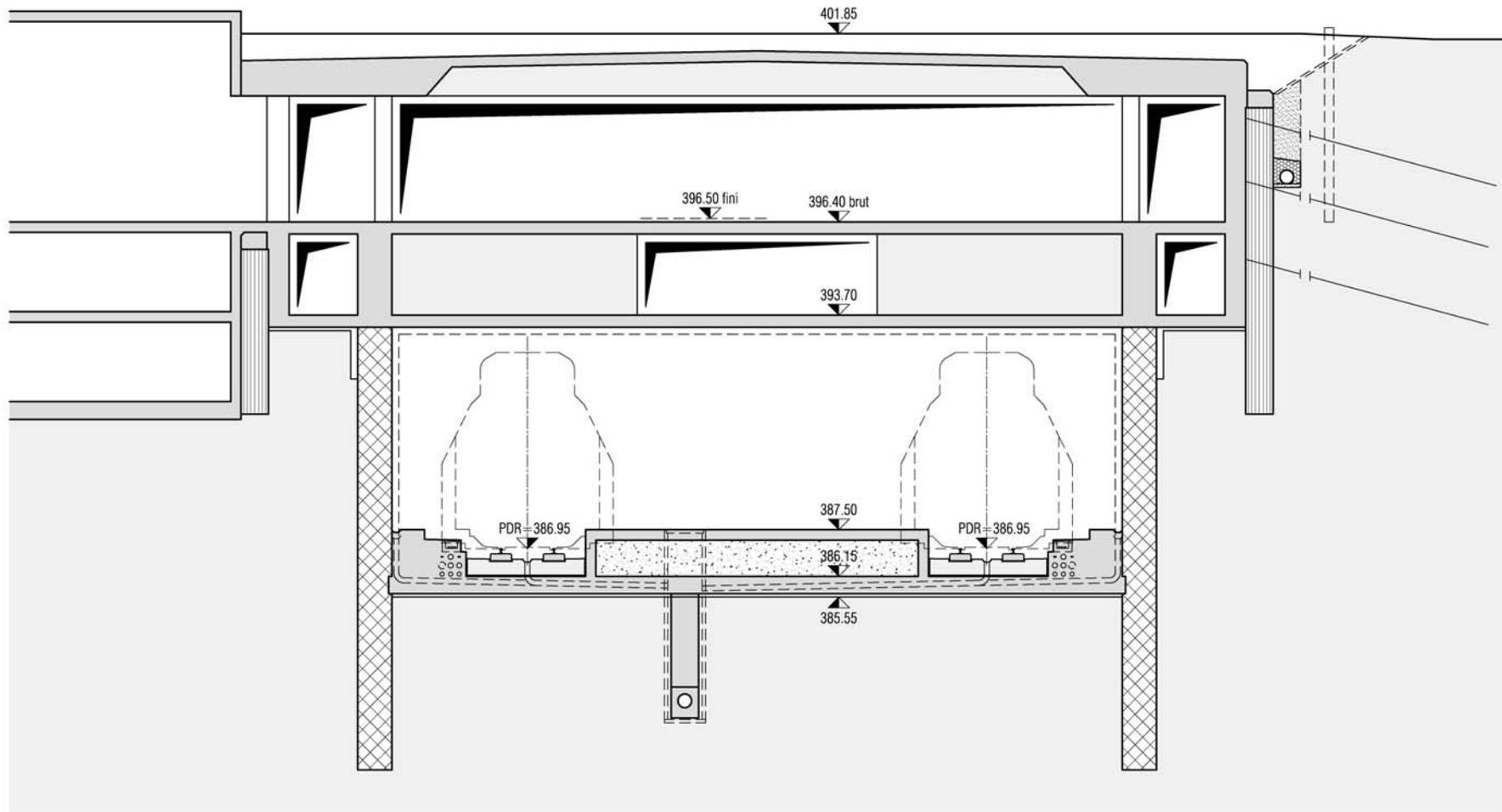


Figure 12 : Coupe type sur projet SOVAGEV à 4 sous-sols

4 PREMIÈRE APPRÉCIATION DES NUISANCES VIBRATOIRES

Consultant : RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA

21 rue Jacques Grosselin
CH – 1227 Carouge

Tél. +41 22 301 02 53
Fax +41 22 301 02 70
E-mail resonance@resonance.ch

4.1 SITUATION INITIALE

La société simple de valorisation foncière, SOVAGEV, veut optimiser l'urbanisation du secteur de la gare des Eaux-Vives à l'occasion de la construction de la ligne CEVA. L'objectif est d'obtenir une plus-value optimale et durable, par un projet à forte densification, réalisable en étapes et selon les besoins du marché.

Plusieurs bâtiments, abritant des logements, bureaux et commerces, mais également un théâtre (équipement culturel) ainsi qu'une école, seront construits accolés à la future gare souterraine CEVA des Eaux-Vives.

Des oscillations vibratoires seront engendrées par le passage des trains et se propageront à travers les structures de la gare et des nouveaux bâtiments. Ces oscillations seront en principe perçues en tant que "vibrations". De plus, les planchers et murs oscillants engendreront un mouvement vibratoire de l'air, dit son ou bruit "solidien", du fait qu'aux fréquences supérieures à environ 25 Hz il est perçu en tant que son par l'être humain. C'est pourquoi des mesures de protection contre les nuisances vibratoires, à savoir les vibrations et le bruit solidien, seront nécessaires.

4.2 OBJECTIF

Le présent rapport a comme objectif une première évaluation de la situation concernant les nuisances vibratoires. Il résume le contexte légal, identifie les valeurs limites à respecter pour les différentes affectations, présente les résultats d'un premier pronostic générique et donne un premier concept de base, avec estimation grossière des surcoûts, pour la diminution des nuisances vibratoires à un niveau de confort "convenable".

Il est rappelé que la situation du futur bâtiment culturel, nécessitant des mesures de protection plus poussées, est décrite dans le rapport de Résonance, NT 333.01-01, du 10 mai 2005. Par conséquent, ce bâtiment n'est mentionné ici que dans la mesure où il y a interaction avec la protection des autres bâtiments.

4.3 QUELLE PROTECTION EST-ELLE NÉCESSAIRE ?

4.3.1 Le contexte légal

Les aspects des nuisances vibratoires sont régis, en premier lieu, par la "Loi sur la protection de l'environnement" (LPE) du 7 octobre 1983. Les articles clef de cette loi en matière de nuisances vibratoires sont :

- Art. 11 : Principe

¹ "Les pollutions atmosphériques, le bruit, les vibrations et les rayons sont limités par des mesures prises à la source (limitation des émissions)."

² "Indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que le permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable".

- Art. 12 : Limitations d'émissions

² "Les limitations figurent dans des ordonnances ou, pour les cas que celles-ci n'ont pas visés, dans des décisions fondées directement sur la présente loi".

- Art. 13 : Valeurs limites d'immissions

¹ "Le Conseil fédéral édicte par voie d'ordonnance des valeurs limites d'immissions applicables à l'évaluation des atteintes nuisibles ou incommodes".

- Art. 15 : Valeurs limites d'immissions relatives au bruit et aux vibrations

"Les valeurs limites d'immissions s'appliquant au bruit et aux vibrations sont fixées de manière que, selon l'état de la science et de l'expérience, les immissions inférieures à ces valeurs ne gênent pas de manière sensible la population dans son bien-être".

A la fin des années 90, il n'existait pas encore d'ordonnance relative aux nuisances vibratoires. Par conséquent, l'OFEFP (l'OFEV de nos jours) a fixé des seuils limites dans la "Directive OFEFP pour l'évaluation des vibrations et du bruit solidien des installations de transport sur rail" (EVBSR) du 20 décembre 1999. Entre temps, un projet d'ordonnance a été élaboré en concertation avec tous les offices fédéraux concernés, et il était prévu, un moment donné, de la mettre en vigueur au courant de l'année 2007. Or, lors de l'enquête officielle auprès des offices fédéraux, une forte opposition s'est levée contre ce projet, avec l'argument que cette ordonnance provoquerait des coûts démesurés. Par conséquent, il n'est actuellement plus clair quand et sous quelle forme cette ordonnance sera mise en vigueur.

Malgré l'opposition mentionnée, il peut être constaté que l'ampleur des mesures de protection nécessaires selon le projet actuel de l'ordonnance sera très proche de celle de l'actuelle EVBSR tant qu'il s'agit de nouvelles constructions ferroviaires.

L'EVBSR demande que des valeurs limites par rapport aux vibrations et au bruit solidien soient respectées partout où la présence humaine est de durée importante.

Pour ce qui est des vibrations, l'EVBSR se réfère à la norme allemande DIN 4150-2 de Juin 1999. Les grandeurs déterminantes, pour lesquelles des valeurs limites doivent être respectées, sont :

- KB_{Fmax} : valeur effective maximale des vibrations lors d'un passage de train (RMS "fast", soit avec un temps d'intégration caractéristique de 125 ms),
- KB_{Ftr} : valeur d'appréciation tenant compte de la valeur maximale et aussi du nombre de passages et de leur répartition (jour/nuit).

Pour plus de détails sur les définitions de ces valeurs, le lecteur est prié de se reporter à la norme DIN 4150-2.

Pour le bruit solidien, c'est le niveau acoustique équivalent, pondéré A et exprimé en dB(A), qui doit respecter des valeurs limites :

- L_{eq} – Jour : valeur énergétiquement équivalente du niveau acoustique sur toute la durée de la période "jour", soit de 06 h à 22 h,
- L_{eq} – Nuit : valeur énergétiquement équivalente du niveau acoustique sur l'heure la plus chargée de la période "nuit", soit de 22 h à 06 h.

La directive EVBSR s'applique à :

- l'évaluation des vibrations pour les nouvelles installations et les installations modifiées pour lesquelles on peut s'attendre à une hausse de plus de 40% par rapport à l'exposition existante,
- l'évaluation du bruit solidien des nouvelles installations ainsi que des installations modifiées, quelle que soit l'ampleur de cette modification.

Les valeurs limites de l'EVBSR ont théoriquement été fixées de telle façon que les nuisances inférieures à ces valeurs ne gênent pas "de manière sensible" la population dans son bien-être. De jour, les activités normales des personnes ne devraient pas être gênées "de manière sensible", tandis que de nuit, le sommeil ne devrait pas être perturbé, toujours "de manière sensible". Le respect des valeurs limites, cependant, ne signifie pas que les vibrations ou le bruit solidien ne soient pas perçus. Et en particulier, les exigences accrues d'activités particulières, comme celles d'un théâtre ou d'une salle de concert, ne sont pas prises en compte par l'EVBSR.

En dehors de la législation environnementale, il semble que les avocats des riverains puissent s'appuyer sur des articles du Code des Obligations concernant les obligations entre voisins et faire valoir, dans certains cas, des moins-values même en cas de respect de la LPE. C'est aux juristes de donner plus d'informations par rapport à cet aspect.

Il est important de noter que les personnes se trouvant sur le site de celui qui provoque les nuisances vibratoires (par exemple les employés des CFF sur un site appartenant aux CFF) ne sont nullement protégées par la LPE. Ces personnes sont protégées par d'autres lois, par exemple par la loi du travail.

Une question ouverte est de savoir si la LPE, et donc l'EVBSR, s'applique aux surfaces de vente appartenant aux CFF – par exemple dans la galerie marchande de la future gare des Eaux-vives – mais louées à des magasins étrangers aux CFF. Selon l'avis du juriste ayant accompagné l'élaboration du projet actuel de l'ordonnance mentionné ci-dessus, la LPE devrait également s'appliquer dans ce cas de figure. Le cas échéant,

cet aspect pourrait avoir des conséquences financières non-négligeables pour les promoteurs du projet immobilier autour de la gare des Eaux-vives.

4.3.2 Assurance d'un niveau de confort convenable

Tout d'abord, force est de constater que le respect de l'EVBSR ne signifie (de loin) pas que les vibrations ne soient pas perceptibles, et surtout que les passages de trains ne soient pas audibles.

Il y a deux raisons pour lesquelles le respect des valeurs limites de l'EVBSR ne suffira pas pour garantir un niveau de confort convenable ni dans les habitations et bureaux, ni dans l'école, et encore moins dans le théâtre :

- L'EVBSR assure uniquement que les personnes "ne soient pas gênées de manière sensible dans leur bien-être", ce qui n'est pas équivalent à la garantie d'un niveau de confort convenable.
- Étant donné que c'est la valeur énergétiquement équivalente du niveau acoustique pendant une certaine période de temps qui doit respecter la valeur limite, le niveau acoustique toléré lors du passage individuel d'un train est d'autant plus élevé que le nombre de passages est faible pendant cette même période de temps. Mais c'est plutôt le niveau acoustique lors de ces passages individuels qui est déterminant pour la gêne de nuit ou celle dans une salle de théâtre, mais également dans une salle de classe. Or, dans le cas de CEVA, le nombre de passages par heure est relativement faible. Par conséquent, des niveaux maximaux de 45 à 50 dB(A) seront possibles lors des passages des trains malgré le respect de l'EVBSR.

Par conséquent, nous recommandons vivement de prévoir une meilleure protection contre les nuisances vibratoires, en particulier contre le bruit solidien, que celle nécessaire pour le seul respect de l'EVBSR. Nous sommes intimement convaincus que cette recommandation, au moins qualitativement, ferait l'unanimité parmi les experts suisses en la matière. En effet, la valeur locative des différents locaux dépendra sensiblement du niveau des nuisances vibratoires persistantes.

Afin d'assurer un niveau de confort "convenable" (ni particulièrement élevé, ni minimal), nous conseillons d'envisager une réduction du niveau des nuisances vibratoires aux valeurs indicatives suivantes, et de garantir que les valeurs limites données entre parenthèses ne soient pas dépassées:

Vibrations

Les recommandations suivantes ne sont que légèrement plus strictes que les conditions précisées par la norme DIN 4150-2, reprises par l'EVBSR.

Pour les habitations ainsi que pour l'école, il est recommandé de respecter les conditions suivantes :

- de jour : $KB_{FTr} < A_r = 0.07$ (0.10) (ou $KB_{Fmax} < A_o = 0.10$)
- de nuit : $KB_{Fmax\ 90\%} < A_o = 0.15$ (0.25) (sans objet pour l'école)

La condition de nuit est remplie si 90 % des valeurs maximales des vibrations, à savoir les KB_{FTr} , respectent la condition indiquée.

Pour les bureaux et commerces, il est suffisant de respecter des valeurs de jour un peu moins contraignantes, valables également en cas d'utilisation des bureaux ou commerces de nuit :

- $KB_{FTr} < A_r = 0.10$ (0.15)

Bruit solidien

Pour le bruit solidien, nous préconisons des valeurs limites d'un type différent et nettement plus sévères que celles de l'EVBSR. Ces valeurs correspondent aux recommandations du bureau d'ingénieurs Rutishauser GmbH de Zurich, probablement le spécialiste n° 1 en la matière en Suisse. Elles ont été déduites en analogie avec les prescriptions pour le niveau maximal du bruit de courte durée de la nouvelle norme SIA 181.

Pour les habitations ainsi que pour l'école, les conditions suivantes devraient être respectées:

- de jour : $L_{max} < 35$ dB(A) (40 dBA)
- de nuit : $L_{max} < 30$ dB(A) (35 dBA) (sans objet pour l'école)

L_{max} signifie la moyenne des bruits maximaux lors des passages des trains, mesurée avec la constante temporelle "FAST" (125 ms).

Pour les bureaux et commerces, il est suffisant de respecter des valeurs de jour un peu moins contraignantes, valables également en cas d'utilisation des bureaux ou commerces de nuit :

- $L_{max} < 40$ dB(A) (45 dBA)

Les valeurs L_{max} mesurées lors du passage d'un train sont environ 5 dB(A) plus élevées que la moyenne sur la durée du passage.

4.4 PRONOSTICS GENERIQUES

Tant que les bâtiments ne sont pas définis dans le détail, aucun pronostic ciblé n'est possible. Par conséquent, des pronostics génériques ont été réalisés, couvrant toutes les fréquences propres de dalles probables, allant de 12.5 Hz à 63 Hz. Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Les bâtiments en question sont des constructions massives (dalles, murs et poteaux massifs), avec des porteurs pratiquement toujours superposés les uns sur les autres; leur implantation correspond aux coupes types mises à disposition par le MO.
- Les logements se trouvent tous aux étages (pas au rez-de-chaussée) ; des salles de classe peuvent être situées au rez.

De plus, il est supposé, en conformité avec les idées actuelles de la future exploitation de la ligne CEVA, que des rames légères uniquement, du type "FLIRT" ou similaire, seront utilisées. Dans le cas d'une exploitation ultérieure avec du matériel roulant à deux étages, les niveaux acoustiques de passage pronostiqués devraient être majorés jusqu'à 5 dB(A). Cette majoration devrait même atteindre 8 dB(A) en cas de trafic marchandise, jusqu'à présent non prévu sur la ligne de CEVA.

Pour ce qui est des vibrations proprement dites, ce sont les valeurs $KB_{Fmax 90\%}$ qui sont les plus critiques dans les habitations. Des valeurs allant de 0.20 à 0.35 ont été obtenues, avec une tendance à des valeurs croissantes avec les fréquences propres des dalles croissantes. Des valeurs légèrement supérieures seraient attendues pour l'école au rez.

Quant au bruit solidien, les niveaux acoustiques équivalents L_{eq} , moyennés sur la journée respectivement l'heure la plus chargée de la nuit, se situent entre 25 et 29 dB(A) le jour et 20 et 23 dB(A) la nuit, avec un écart-type de l'ordre de 5 dB(A). A

l'école, au rez, des valeurs de 1 à 2 dB(A) plus élevées seraient attendues. L'EVBSR serait donc respectée à une très forte probabilité sans aucune mesure de protection particulière (à part le découplage des parois verticales), les seuils à respecter se situant à 40 respectivement 30 dB(A). En revanche, des valeurs moyennes de 44 dB(A) à 47 dB(A) sont attendues pour le L_{max} , toujours avec un écart-type de l'ordre de 5 dB(A). Par conséquent, les valeurs indicatives recommandées pour L_{max} , à savoir 35 dB(A) le jour et 30 dB(A) la nuit, seront dépassées de l'ordre de 15 dB(A), voire 20 dB(A) si l'on tient compte d'un pronostic correspondant à la moyenne plus un écart-type.

Il convient d'en déduire que sans mesures de protection, les valeurs indicatives recommandées pour le bruit solidien seront dépassées de façon plus importante que celles pour les vibrations en tant que telles. D'un autre côté, il est normalement plus difficile de réduire les vibrations que le bruit solidien.

4.5 MESURES DE PROTECTION

4.5.1 Principes de base

Tout d'abord, il convient de constater

- que des mesures de protection existent qui permettront d'assurer un confort "convenable" et même un confort "élevé", mais, bien entendu, ces mesures ont un certain coût,
- que des mesures prises à la source, donc au droit de la voie, sont plus économiques, et, en règle générale, plus efficaces que des mesures prises soit sur la trajectoire des ondes vibratoires, soit au droit des bâtiments "récepteurs".
- qu'il ne sera pratiquement plus possible de se rattraper, une fois les voies et les bâtiments construits, s'il devait s'avérer que des mesures de protection trop modestes et donc insuffisantes ont été mises en places.

Ces trois constats clef doivent être au centre de toutes les réflexions menées par rapport aux mesures de protection contre les nuisances vibratoires.

La mesure de protection la plus efficace est de fixer les voies, dans le cas d'une voie sans ballast, sur une dalle en béton armé dite "flottante", reposant sur un tapis ou des appuis individuels en élastomère, sans contact dur avec l'entourage. En raison des lois physiques fondamentales, une réduction importante de l'émission de vibrations à

la source – ainsi qu'au récepteur – nécessite obligatoirement une masse flottante importante. En règle générale, plus la masse est élevée, plus la réduction est prononcée. C'est pourquoi un appui des traverses même extrêmement souple, seul, ne parvient pas à réduire les nuisances vibratoires de plus de 5 ou 6 dB(A).

Selon les masses en jeu, on différencie normalement les mesures suivantes :

- la dalle flottante dite "légère", avec une réduction du bruit solidien dans les bâtiments riverains de typiquement 10 à 12 dB(A),
- la dalle flottante dite "moyenne", avec une réduction du bruit solidien dans les bâtiments riverains de l'ordre de 15 dB(A), ± 3 dB(A),
- la dalle flottante dite "lourde", avec une réduction du bruit solidien dans les bâtiments riverains de l'ordre de 20 dB(A), ± 3 dB(A).

L'efficacité des mesures décrites dans un cas concret dépend de beaucoup de paramètres, et tout particulièrement des fréquences propres des dalles du bâtiment récepteur. C'est pourquoi il est impossible, au stade actuel du projet, de donner plus de précisions sur l'efficacité de ces mesures.

Bien entendu, les dalles flottantes sont toujours conçues sur mesure, et toute solution intermédiaire entre les cas types est possible. En règle générale, les dalles légères et moyennes sont bétonnées directement sur un tapis surfacique en élastomère. La différence principale entre ces deux types de dalles est surtout une épaisseur plus importante de l'élastomère pour la dalle dite moyenne afin d'obtenir une plus grande souplesse (on ne peut pas simplement utiliser un matériau plus souple pour des raisons statiques ; sinon, l'élastomère serait trop comprimé et perdrait de sa souplesse). Le prix de l'élastomère étant relativement important, ceci est la raison principale pour le coût plus élevé de la dalle moyenne par rapport à la dalle légère.

Pour les dalles dites lourdes, il est plus économe de les poser sur des appuis linéaires ou ponctuels, ce qui nécessite la mise en place d'un coffrage perdu pour le bétonnage de la dalle.

La hauteur de construction, entre la surface supérieure du radier sur lequel l'élastomère est posé et le plan de roulement est de l'ordre de

- ~ 1.05 m pour la dalle flottante légère.
- ~ 1.15 m pour la dalle flottante moyenne,
- ~ 1.55 m pour la dalle flottante lourde.

Ces valeurs, valables pour une voie de train à écartement normal, sont à comparer avec la hauteur correspondante de la voie ordinaire sans ballast qui mesure 0.65 m. Il est cependant à noter que le développement actuel va dans la direction de hauteurs de construction légèrement réduites pour les dalles flottantes, sans perte d'efficacité. Néanmoins, il est conseillé, dans un premier temps, de tenir compte des hauteurs indiquées ci-dessus.

À Zurich, des dalles flottantes lourdes sont en place depuis 1989 et ont fait leurs preuves. Le RER zurichois traverse littéralement les sous-sols du bâtiment "Habis Royal" et de l'hôtel "Central Plaza". Pourtant, les nuisances vibratoires dans ces bâtiments ne sont guère perceptibles. Il a donc été possible d'assurer, par des dalles flottantes lourdes, un niveau de confort élevé de façon durable. De nombreux exemples dans d'autres villes comme au "Lennédreieck" à Berlin, pour ne citer qu'un seul exemple, confirment l'expérience zurichoise.

L'équivalent d'une dalle flottante légère pour une voie ballastée est une nappe posée sous le ballast. Cependant, dès qu'une nappe sous ballast ne suffit plus, il est nécessaire de construire une sorte d'auge flottante, posée sur un élastomère et remplie de ballast. Un tel système, relativement lourd à mettre en place, est l'équivalent de la dalle flottante lourde de la voie sans ballast. Un tel exemple est également en place à Zurich depuis 1989 sous la "Rämistrasse".

4.5.2 Ampleur et coût des mesures de protection nécessaires

Les pronostics génériques présentés au chapitre 4.4 permettent de conclure qu'une réduction de nuit jusqu'à 16 dB(A) sera nécessaire pour les habitations, et de jour jusqu'à 13 dB(A) ($L_{\max} = 46 + \sim 2$ dB(A)) pour l'école afin de respecter les valeurs indicatives recommandées. Dans ce cas, le pronostic moyen plus un écart-type respecterait juste les valeurs limites recommandées, valeurs majorées justement de

cet écart-type, à savoir 5 dB(A), par rapport aux valeurs indicatives (voir chapitre 4.3.2).

Il en ressort qu'une dalle flottante moyenne sera nécessaire pour assurer un confort convenable pour les logements et l'école (une dalle flottante lourde étant de toute façon nécessaire pour l'équipement culturel). Cependant, même une dalle flottante moyenne ne sera pas suffisante si un jour des rames à deux étages, voire des trains de marchandises, devaient circuler sur la ligne CEVA. Pour couvrir cette éventualité ou, alternativement, pour obtenir, avec le matériel roulant actuellement prévu, un niveau de confort élevé, il serait éventuellement judicieux d'envisager la mise en place d'une dalle flottante lourde partout.

Pour une protection efficace, il est nécessaire de réaliser une dalle flottante sur toute la longueur (projetée sur l'axe de la voie) du bâtiment en question, plus sur une certaine distance de part et d'autre, mesurant environ 60 m pour une dalle flottante moyenne, et environ 80 m pour une dalle flottante lourde.

Pour le cas de figure d'une protection de tous les bâtiments par une dalle flottante moyenne, sauf pour le bâtiment culturel, protégée par une dalle lourde, les longueurs suivantes seraient nécessaires (côté transition à la dalle flottante moyenne, 40 m de dalle lourde au-delà de la longueur du secteur A seraient probablement suffisants):

- environ 330 m de dalle flottante moyenne,
- environ 200 m de dalle flottante lourde.

Par mètre de double voie, le coût additionnel d'une dalle flottante par rapport au coût de la construction d'une voie ordinaire sans ballast est d'environ

- CHF 2'400.- pour la dalle flottante légère,
- CHF 4'800.- pour la dalle flottante moyenne,
- CHF 7'000.- pour la dalle flottante lourde.

Ces coûts ne contiennent pas encore le coût supplémentaire d'un éventuel surcreusement du tunnel.

Par conséquent, pour la protection "convenable" de tout le complexe de bâtiments actuellement prévu, y inclus la dalle flottante lourde au droit du bâtiment culturel, un budget d'environ 3 millions de franc suisses serait nécessaire – plus, pour le

secteur A, un certain budget additionnel pour des mesures de protection complémentaires (voir rapport NT 333.01-01 du 10 mai 2005).

4.5.3 Que peut-on attendre des CFF ?

Tout d'abord, l'EVBSR, seule réglementation à devoir être respectée, se limite bien évidemment à la protection des lieux de présence humaine existants. Par conséquent, l'étude d'impact n'a pas tenu compte des futurs bâtiments faisant l'objet du présent rapport. En effet, aucune mesure de protection n'est nécessaire pour la protection des bâtiments existants aux abords de la future gare des Eaux-Vives.

Cependant, une galerie marchande est prévue directement au-dessus de l'arrêt des trains. Bien que les CFF ne soient pas obligés de respecter l'EVBSR sur leur propre terrain, ils auront un intérêt de pouvoir louer les espaces commerciaux de cette galerie, et de ce fait, ils seront probablement tenus de respecter l'EVBSR (voir chapitre 4.3.1). Par conséquent, les CFF devraient en principe construire une dalle flottante légère, ce qui n'est, à notre connaissance, pas encore prévu à ce jour. Une dalle flottante légère – ou une nappe sous ballast si une voie ballastée devait être réalisée – permettrait de respecter l'EVBSR dans la galerie marchande.

4.5.4 Un concept alternatif

Si les CFF n'étaient pas prêts à construire des dalles flottantes moyennes et lourdes, ce qui nous paraît pourtant peu probable dans le contexte actuel, il serait alors inévitable de poser les bâtiments en question soit sur des tapis en élastomère, soit sur des ressorts métalliques.

Pour la pose d'un bâtiment sur un tapis en élastomère, il faudrait compter, selon la situation, avec un surcoût de l'ordre de CHF 30. – à 60. – par tonne de bâtiment, ou de CHF 400. – à CHF 800. – par m² pour un bâtiment à plusieurs étages. Pour le coût de la limite inférieure, il serait possible d'obtenir une protection à peu près équivalente à celle d'une dalle flottante légère, et pour la limite supérieure, environ celle d'une dalle flottante moyenne.

La pose des bâtiments en question sur des ressorts métalliques permettrait une protection qui s'approcherait de celle d'une dalle flottante lourde. Avec cette solution, il faudrait compter avec un surcoût de l'ordre de CHF 100. – par tonne posée sur les ressorts.

Le coût global des mesures de protection équivalentes pour les bâtiments prévus serait donc deux à trois fois plus élevé par rapport au coût des dalles flottantes. Par conséquent, la réduction des nuisances vibratoires uniquement au droit des bâtiments est fortement déconseillée.

Une autre solution encore, plutôt théorique, serait de prévoir, des deux côtés de la structure porteuse de la gare, des tranchées étroites, mais profondes, qui resteraient "ouvertes" de façon permanente, par exemple à l'aide d'un remplissage avec des coussins à gaz. Cependant, ce type de mesures est assez délicat à mettre en œuvre et semble souvent ne pas atteindre l'efficacité escomptée.

4.6 CONCLUSIONS APPRECIATION DES NUISANCES VIBRATOIRES

Le seul concept raisonnable pour une protection vibratoire efficace des bâtiments à construire, accolés à la gare des Eaux-Vives, est celui de la pose des voies CFF sur des dalles flottantes. Mais au-delà de cette mesure principale, il importe de construire les bâtiments de sorte qu'ils ne soient pas trop sensibles aux vibrations. Il est donc vivement conseillé qu'un spécialiste en dynamique des structures accompagne l'élaboration des différents projets de bâtiments.

Afin de pouvoir optimiser les mesures de protection d'un point de vue technique et financier, une concertation entre les CFF d'une part et tous les maîtres d'ouvrage d'autre part s'impose

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'Etat de Genève, la Ville de Genève et CFF Immobilier ont créé une société simple de valorisation foncière, SOVAGEV, pour mettre en valeur le potentiel immobilier dans le secteur de la gare des Eaux-Vives.

Cette étude a pour but d'analyser l'interaction entre le projet CEVA et les projets de construction qui pourraient se développer dans le secteur de la future gare selon les scénarios adoptés par la SOVAGEV. Les résultats des différentes analyses se traduisent par un ensemble de recommandations permettant une conception de la nouvelle gare qui garantisse un développement optimal du projet SOVAGEV.

Les futurs bâtiments du projet SOVAGEV s'appuyant partiellement sur la structure de la nouvelle gare ou jouxtant la future construction souterraine tout en étant fondé à des profondeurs moindres, il est évident que la nouvelle gare du CEVA devra être réalisée avant les constructions SOVAGEV.

En termes de planification, une exécution simultanée de tous les projets n'est pas souhaitable pour des raisons organisationnelles de chantier. Par contre, il serait intéressant d'anticiper certaines phases des constructions SOVAGEV dans le cadre de l'exécution du projet CEVA permettant ainsi de dégager des économies. Ces économies sont essentiellement liées à l'optimisation du blindage en colonnes jetting de la première phase d'exécution des travaux CEVA. Certaines décisions de principe quant au terrassement des bâtiments SOVAGEV devront donc être prises en phase initiale des travaux du CEVA.

De simples adaptations de la structure porteuse de la nouvelle gare (remplacement des murs par des piliers) permettront une meilleure perméabilité entre les projets CEVA et SOVAGEV ce qui garantira de bonnes conditions de liaison entre les différentes constructions en particulier en relation avec l'espace commercial de la gare. Néanmoins, une coordination sera nécessaire entre les deux projets dès le début des études d'exécution de la nouvelle gare afin d'optimiser ces liaisons.

Concernant l'exécution des fouilles des bâtiments SOVAGEV, nos modélisations ont montré que les structures de la gare ne subissent aucune influence, tant que la profondeur d'excavation ne dépasse pas les deux niveaux de sous-sol (niveau environ 396 msm). Au-delà, les efforts de flexion dans les parois moulées augmentent et une vérification de l'armature de ces dernières sera nécessaire si aucun étayage n'est prévu dans la fouille SOVAGEV. En cas d'excavation à une profondeur en dessous du niveau technique de la gare, des études plus détaillées devront être menées.

On évitera de fonder les bâtiments SOVAGEV dans la couche de remblais ce qui suggère que les futures constructions aient au minimum deux sous-sols.

La présence de l'Alluvions Ancienne à une faible profondeur permettra la reprise de fortes charges concentrées sans difficulté particulière au moyen de fondations profondes. Ces dernières ne nécessiteront pas de mesures de protection particulière des eaux de nappes superficielles ou profondes.

On évitera de percer la couche peu perméable lors de terrassement en pleine masse afin de garantir la protection de l'aquifère du genevois. Dans le cas contraire, on respectera les contraintes du secteur " Au " de protection des eaux.

Les éventuels effets barrage de la nappe superficielle pourront être traités au cas par cas et on tiendra compte de la présence vraisemblable de pollution dans la couche de remblais.

Concernant la protection des bâtiments du projet SOVAGEV contre les vibrations émises par le matériel ferroviaire, le seul concept efficace est celui de la pose des voies CFF sur des dalles flottantes. Cette mesure ne soustraira pas la nécessité de projeter des constructions qui ne soient pas trop sensibles aux vibrations. Dans un but d'optimisation des mesures de protection d'un point de vue technique et financier, une concertation entre les CFF et les différents maîtres d'ouvrage sera indispensable.

En ce qui concerne le respect des valeurs limite en matière de nuisances vibratoires, nous recommandons vivement de prévoir une meilleure protection contre les nuisances vibratoires, en particulier contre le bruit solidien, que celle nécessaire pour le seul respect de l'EVBSR. Nous sommes intimement convaincus que cette recommandation, au moins qualitativement, ferait l'unanimité parmi les experts suisses en la matière. En effet, la valeur locative des différents locaux dépendra sensiblement du niveau des nuisances vibratoires persistantes.

D'une façon générale, aucune contrainte majeure n'est apparue lors de notre étude entre les projets CEVA et SOVAGEV. Certaines mesures constructives devraient être adoptées en phase de projet du CEVA afin de préserver le potentiel foncier et la bonne intégration des constructions SOVAGEV. Ceci est particulièrement valable pour ce qui concerne la protection contre les nuisances sonores. Le tableau suivant donne un aperçu d'ensemble des interactions entre les projets, les mesures préconisées et leurs coûts.

G. Guscetti

N. Perregaux

5.1 TABLEAU RÉCAPITULATIF DES INTERACTIONS ET RECOMMANDATIONS

En l'état actuel du projet, nos recommandations sont les suivantes. Les éventuelles optimisations du projet CEVA pourront modifier ces recommandations.

Les coûts et économies sont estimés sur la base de ratios usuellement utilisées dans la construction et de quantitatifs globaux. Leur précision est de plus ou moins 20%.

	Interactions	Recommandations	Coûts
1.	Niveau commerces CEVA : nouvelle hauteur du vide d'étage du 1^{er} sous-sol de la gare de 3.55 m	<ul style="list-style-type: none"> • hauteur faible pour des activités commerciales • proposition de rehaussement de la dalle toiture de 0.50 m afin de retrouver un vide d'étage suffisant • le projet d'aménagements extérieurs serait à revoir pour intégrer les différences de niveaux 	⇒ 4'000 m ³ supplémentaires à 200.-/m ³ = 800'000.-
2.	Descente de charges du bâtiment culturel sur les parois moulées de la gare	<ul style="list-style-type: none"> • les dimensions actuelles de la paroi moulée permettent une reprise de charge d'environ 5'000 kN/m • étudier l'opportunité de centrer le mur du 1^{er} sous-sol sur la paroi moulée • proposition de dimensionnement de la structure de la gare pouvant reprendre des charges concentrées aux axes des parois moulées de 10'000 kN 	⇒ renfort des porteurs du 1er sous-sol sous bâtiment A 2'000.-/porteur tous les 5.40 m= 60'000.-
3.	Connexions entre le 1^{er} sous-sol de la gare et les futurs bâtiments du SOVAGEV	<ul style="list-style-type: none"> • proposition de remplacement du mur intermédiaire par une rangée de colonnes espacées de 5.40 m, trame utilisée dans les émergences • proposition de création de redans espacés de 5.40 m sur les murs extérieurs dans lesquels serait concentrée l'armature, délimitant ainsi les zones à ouvrir ultérieurement 	⇒ surcoûts pour les colonnes insignifiants ⇒ surcoûts pour les murs périphériques 200.-/m : bâtiment A : 30'000.- bâtiment B : 20'000.- bâtiment C : 10'000.-

	Interactions	Recommandations	Coûts								
4.	Exploitation du parking au 2^{ème} sous-sol de la gare, capacité 160 places	<ul style="list-style-type: none"> l'accès véhicules pourrait se faire uniquement aux extrémités de la gare, soit par les bâtiments A et D selon plan CEVA (interaction avec les gaines de ventilation latérales de la gare) le percement des deux murs des caissons latéraux pour les accès véhicules pourra se faire si les murs du 1^{er} sous-sol sont conservés au droit de ces ouvertures sécurité : une étude sur les voies de fuites devra être menée un système de ventilation du parking devra être incorporé ce qui générera des percements dans les voiles transversaux. L'affaiblissement provoqué par ces percements éventuels pourrait être compensé par un allongement de ces voiles. Une ouverture centrale de 7.00 m suffirait à l'exploitation (actuellement 8.00 m) 	<p>⇒ surcoûts insignifiants</p> <p>⇒ les surcoûts dépendront des solutions retenues</p> <p>⇒ l'allongement des voiles peut être estimé à 60'000.-</p>								
5.	Exécution des bâtiments SOVAGEV	<ul style="list-style-type: none"> une exécution simultanée avec la phase 1 de la gare (construction du niveau voies CFF et parking) n'est pas recommandée. Elle exigerait une coordination complexe et contraignante due aux volumes importants des travaux de construction de la gare et de marirage des tunnels adjacents. par contre, une coordination entre les excavations de la gare et des futurs bâtiments SOVAGEV permettrait une économie sur le rideau de jetting. Cette optimisation devra être coordonnée en phase initiale des travaux CEVA. l'exécution de bâtiments fondés à une profondeur d'environ 6.00 m peut se faire de part et d'autre de la gare sans mesures particulières, et ce de manière symétrique ou non. l'exécution de bâtiments fondés plus profondément pourra nécessiter un étayage de la fouille du futur bâtiment. Un renforcement de l'infrastructure de la gare (augmentation de l'armature des parois moulées) pourrait être également envisagé en lieu et place de l'étayage mais cette solution est moins judicieuse. 	<p>⇒ l'économie du rideau de jetting peut être évaluée à 1'000.-/m, soit :</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>bâtiment A :</td> <td style="text-align: right;">- 150'000.-</td> </tr> <tr> <td>bâtiment B :</td> <td style="text-align: right;">- 150'000.-</td> </tr> <tr> <td>bâtiment C :</td> <td style="text-align: right;">- 120'000.-</td> </tr> <tr> <td>bâtiment D :</td> <td style="text-align: right;">- 220'000.-</td> </tr> </table> <p>⇒ les surcoûts ne sont pas chiffrables à ce stade de l'étude</p>	bâtiment A :	- 150'000.-	bâtiment B :	- 150'000.-	bâtiment C :	- 120'000.-	bâtiment D :	- 220'000.-
bâtiment A :	- 150'000.-										
bâtiment B :	- 150'000.-										
bâtiment C :	- 120'000.-										
bâtiment D :	- 220'000.-										

Interactions	Recommandations	Coûts
<p>Exécution des bâtiments SOVAGEV (suite)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l'écoulement de la nappe superficielle doit être garanti. L'exécution des bâtiments C et D provoquera un effet barrage qu'il faudra compenser par un système de drainage qui collectera l'eau en amont des sous-sols pour la restituer en aval selon le même principe adopté par le CEVA. • le niveau de fondation devra être choisi de manière à éviter la couche supérieure de remblai à l'exception d'assises pour ouvrages légers de peu d'importance. • de manière générale, un radier à inertie variable pourra être prévu dans les formations supraglacières de surface. • l'alluvion ancienne constitue un excellent sol de fondation de par sa grande capacité portante et sa faible compressibilité. Elle se trouve en outre à faible profondeur et constitue une assise de fondation privilégiée, en particulier pour la reprise de fortes charges concentrées. • un niveau de fondation correspondant à environ deux niveaux de sous-sols permettrait de garantir la continuité du bouchon étanche naturel protégeant ainsi la nappe profonde. • en cas d'exécution de trois niveaux de sous-sol et plus, des mesures particulières devront être prises afin d'éviter la pollution de la nappe profonde par des eaux de surfaces. • au vu des risques de pollution du sol de la couche de remblais, les terres excavées devront probablement être évacués en décharge contrôlée. Des études préalables sont fortement conseillées afin de déterminer le degré de pollution et les coûts induits. 	<p>⇒ surcoûts insignifiants</p> <p>⇒ surcoûts éventuels indépendants de la présence du projet CEVA</p> <p>⇒ surcoûts éventuels indépendants de la présence du projet CEVA</p> <p>⇒ surcoûts éventuels indépendants de la présence du projet CEVA</p>

	Interactions	Recommandations	Coûts
6.	Emission de vibrations et de bruits solidiens par le matériel ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> • le respect du contexte légal actuel ne garanti pas un niveau de confort convenable, nous recommandons une meilleure protection contre les nuisances vibratoires, en particulier contre le bruit solidien • les mesures prises à la source, donc au droit de la voie, sont les plus économiques et efficaces • il ne sera pratiquement plus possible de se rattraper, une fois les voies et les bâtiments construits • la mesure de protection la plus efficace est de fixer les voies sur une dalle en béton armé dite "flottante", posée sur un élastomère. Pour une exploitation du CEVA au moyen de rames légères uniquement, les mesures de protection seraient : <ul style="list-style-type: none"> - au droit des habitations et de l'école, une réduction de 13 dB(A) de jour est nécessaire ce qui justifie la construction d'une dalle flottante " moyenne " dont la hauteur de construction totale est d'environ 1.15 m sur une longueur de 330 m. - au droit du bâtiment culturel, une réduction importante est nécessaire ce qui justifie la construction d'une dalle flottante " lourde " dont la hauteur de construction totale est d'environ 1.55 m sur une longueur de 200 m. • si des rames à deux étages ou des trains marchandises sont utilisés, une dalle flottante lourde sur la totalité de la longueur de la gare ainsi qu'une prolongation de part et d'autre de 80m sera probablement nécessaire. • des mesures complémentaires liées au bâtiment culturel seront probablement nécessaires, l'étendue et le coût restent à déterminer sur la base du projet. 	<p>⇒ le surcoût engendré par l'abaissement du radier de la gare (70 cm) et l'ajout d'une dalle flottante moyenne sur 330 m est de 6'300.-/m= 2'100'000.-</p> <p>⇒ le surcoût engendré par l'abaissement du radier de la gare (1.10 m) et l'ajout d'une dalle flottante lourde sur 200 m est de 9'300.-/m= 1'900'000.-</p> <p>⇒ surcoût total pour une meilleure protection contre les nuisances vibratoires : 4'000'000.-</p> <p>⇒ le surcoût supplémentaire engendré par l'abaissement du radier de la gare et l'ajout d'une dalle flottante lourde sur 330 m est de 3'000.-/m= 1'000'000.-</p> <p>⇒ les surcoûts ne sont pas chiffrables à ce stade de l'étude</p>

5.2 TABLEAU SYNTHETIQUE DES INTERACTIONS ET RECOMMANDATIONS

	Interactions	Recommandations	Coûts
1.	Niveau commerces CEVA : nouvelle hauteur du vide d'étage du 1 ^{er} sous-sol de la gare de 3.55 m	<ul style="list-style-type: none"> proposition de rehaussement de la dalle toiture de 0.50 m afin de retrouver un vide d'étage suffisant 	⇒ surcoût total de 800'000.-
2.	Descente de charges du bâtiment culturel sur les parois moulées de la gare	<ul style="list-style-type: none"> proposition de dimensionnement de la structure de la gare pouvant reprendre des charges concentrées aux axes des parois moulées de 10'000 kN 	⇒ surcoût total de 60'000.-
3.	Connexions entre le 1 ^{er} sous-sol de la gare et les futurs bâtiments du SOVAGEV	<ul style="list-style-type: none"> proposition de création de redans espacés de 5.40 m sur les murs extérieurs dans lesquels serait concentrée l'armature, délimitant ainsi les zones à ouvrir ultérieurement 	⇒ surcoût total de : 60'000.- bâtiment A : 30'000.- bâtiment B : 20'000.- bâtiment C : 10'000.-
4.	Exploitation du parking au 2 ^{ème} sous-sol de la gare, capacité 160 places	<ul style="list-style-type: none"> un système de ventilation du parking devra être incorporé ce qui générera des percements dans les voiles transversaux. L'affaiblissement provoqué par ces percements éventuels pourrait être compensé par un allongement de ces voiles. Une ouverture centrale de 7.00 m suffirait à l'exploitation (actuellement 8.00 m) 	⇒ surcoût total de : 60'000.-
5.	Exécution des bâtiments SOVAGEV	<ul style="list-style-type: none"> une coordination entre les excavations de la gare et des futurs bâtiments SOVAGEV permettrait une économie sur le rideau de jetting. Cette optimisation devra être coordonnée en phase initiale des travaux CEVA. 	⇒ économie max. possible de : -640'000.- bâtiment A : - 150'000.- bâtiment B : - 150'000.- bâtiment C : - 120'000.- bâtiment D : - 220'000.-
6.	Emission de vibrations et de bruits solidiens par le matériel ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> dans le cas d'une exploitation du CEVA au moyen de rames légères uniquement, les mesures proposées sont : <ul style="list-style-type: none"> au droit des habitations et de l'école, construction d'une dalle flottante " moyenne " sur une longueur de 330 m. au droit du bâtiment culturel, construction d'une dalle flottante " lourde " sur une longueur de 200 m. si des rames à deux étages ou des trains marchandises sont utilisés, une dalle flottante lourde sur la totalité de la longueur de la gare sera probablement nécessaire. 	⇒ surcoût total de 4'000'000.- ⇒ surcoût partiel 2'100'000.- ⇒ surcoût partiel 1'900'000.- ⇒ surcoût supplémentaire de 1'000'000.-

6 REFERENCES

- [1] SIA 260 " *Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2003.
- [2] SIA 261 " *Actions sur les structures porteuses* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2003.
- [3] SIA 262 " *Construction en béton* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2003.
- [4] SIA 263 " *Construction en acier* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2003.
- [5] SIA 267 " *Géotechnique* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2003.
- [7] SIA EN 1538 :2000 " *Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Parois moulées* ", Société suisse des ingénieurs et des architectes, édition 2000.
- [8] Groupement ONLINE, bureau pilote Perreten & Milleret SA, bureaux d'étude : Amsler & Bombeli SA, Emch + Berger AG Bern, SGI Ingénierie SA.
- [9] MO-01 Conditions et cahier des charges de l'appel d'offres (présent document).
- [10] MO-02 Offre ingénieur-conseil (canevas du Maître d'ouvrage).
- [11] MO-03 Extrait du rapport d'évaluation environnementale du projet de PDQ.
- [12] MO-04 Répertoire PDQ – Plans provisoires du 18.12.2006.
- [13] MO-05 Répertoire PAP – Dossiers et Plans Projet CEVA du 30.04.2006.
- [14] MO-06 Rapport technique Investigation préalable_CEVA_050301.
- [15] MO-07 Rapport Resonance SA_Nuisances vibratoires_050510.
- [16] MO-08 Modèle de contrat.
- [17] MO-09 Conditions générales du contrat.
- [18] L'environnement pratique " *Instruction pratiques pour la protection des eaux souterraines* ", Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, Berne, 2004.
- [19] "SOVAGEV – PROBLEMES STRUCTURELS – ASPECTS GEOTECHNIQUES", Géotechnique appliquée Dériaz SA (GADZ), rapport 5595/1, Genève le 05.04.2007
- [20] " *Première appréciation des nuisances vibratoires* ", RESONANCE Ingénieurs-Conseils SA, Genève le 16.05.2007