



Direction des constructions, ingénierie, technique et sécurité

Auditoires de médecine, gros œuvre, géologie et géotechnique

Lausanne – César-Roux 19

Présentation de projet





Sommaire

1	ÉDITORIAL DE LA DIRECTION DES CONSTRUCTIONS, INGÉNIERIE, TECHNIQUE ET SÉCURITÉ	4
2	UNE CAVERNE MINÉRALE AU CŒUR DE LA CITÉ	8
2.1	La géologie et la géotechnique d'un projet audacieux	12
3	LE CHOIX DU TOUT EN BÉTON	18

1

Éditorial de la Direction des constructions, ingénierie, technique et sécurité

Catherine Borghini Polier
Directrice des constructions,
ingénierie, technique et sécurité du CHUV

Quand l'architecte met en scène l'ingénieur

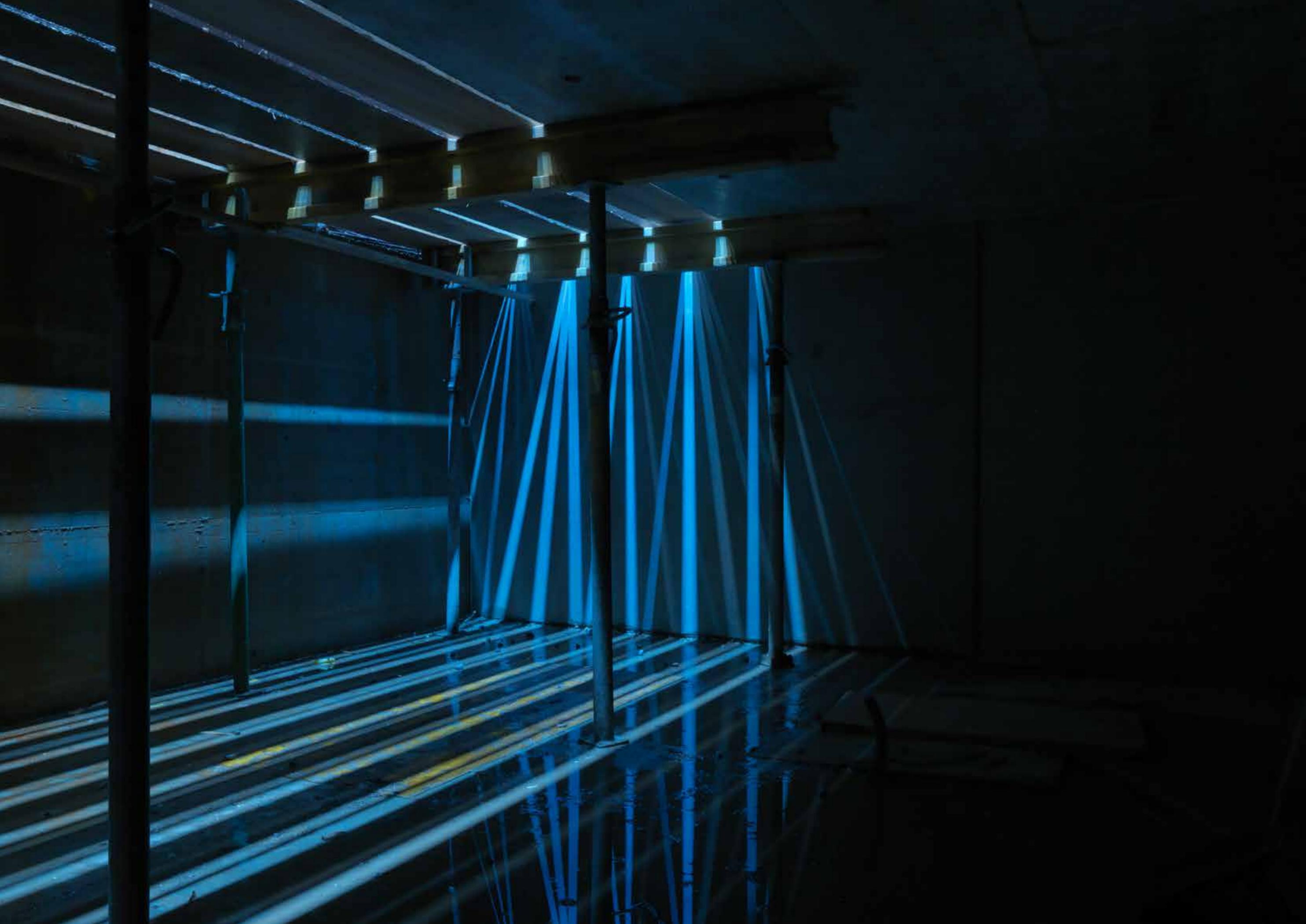
Audace et innovation. Ce sont les premiers mots qui viennent à l'esprit pour décrire les techniques auxquelles ingénieurs civils, géologues, acousticiens et architectes ont eu recours pour relever le défi de créer une caverne minérale au cœur de la molasse lausannoise, dans l'arrière-cour d'un bâtiment historique.

Menée conjointement avec le Service immeubles, patrimoine et logistique de l'Etat de Vaud, la réalisation du gros œuvre des futurs auditorios de médecine creusés sous la cour de la Haute école de santé Vaud, ancienne policlinique médicale universitaire sise à l'avenue César-Roux, n'est pas sans faire songer à l'œuvre de pionniers comme Robert Maillart et Rudolf Steiner; le premier figure parmi les précurseurs à travailler le béton comme un support à l'expression architecturale, tandis que le second l'a sublimé pour en faire un matériau organique utilisé à l'élaboration de sculpturales formes monumentales.

Mais ce qui différencie cette réalisation, c'est le concept proposé par les architectes de placer l'ingénierie sur le devant de la scène; cette dernière reste bien souvent dissimulée sous les superbes atours que propose l'architecture. Or la conception des auditorios de médecine les réconcilie sous la forme la plus harmonieuse qui soit. Une grotte façonnée artificiellement dans une roche molassique, dont l'acoustique doit répondre aux exigences d'un auditoire ultramoderne.

L'ouvrage a été conçu dans un esprit de pureté semblable aux projets dessinés par Robert Maillart; cet ingénieur, qui développait des ponts très légers avec son arc « caissonné », a réussi à limiter les quantités de béton grâce à l'analyse graphique des lignes de force qu'il préférait à l'approche purement mathématique. Ainsi en a-t-il été pour les aspects géotechniques de l'ouvrage. Les spécialistes n'ont eu cesse de s'adapter à l'environnement pour intervenir le plus doucement possible – gunitage pour stabiliser les parois lors de l'excavation et drainage naturel en fond de creuse grâce aux fissures de la molasse.

Approche tout aussi originale une fois sous terre, après la pose des murs périphériques: les propriétés du béton ont été mises en valeur dans une perspective architecturale à l'instar des méthodes développées par Rudolf Steiner dans son « Goetheanum ». Formes et textures des plafonds ont été modelées pour offrir une vision de vagues, tandis que les parois font alterner différentes surfaces de béton structuré ou lisse. L'ouvrage s'avère une très belle démonstration d'ingénierie architecturée grâce à l'intense et solidaire collaboration de tous les partenaires; quant aux futurs utilisateurs, ils ne seront certainement pas insensibles au caractère féérique de ces auditorios, dont les finitions rappelleront elles aussi la minéralité des lieux.





Une caverne minérale au cœur de la Cité

Joelle Isler

Responsable de la communication
à la Direction des constructions, ingénierie,
technique et sécurité du CHUV

Un grutier perché dans une cabine à 90 mètres au-dessus du site sur lequel il opère, un environnement de molasse fracturée et instable, une enceinte de chantier complètement close, fermée par trois façades et une falaise. C'est un projet spectaculaire qui a pris corps dans l'arrière-cour d'un bâtiment historique de la rue César-Roux à Lausanne, dont le gros œuvre s'est déroulé entre les mois de novembre 2014 et mai 2016. Le volume excavé dans la roche a atteint 5215 mètres cubes pour créer un espace sous-terrain dans lequel les architectes puissent insérer leur ouvrage : deux auditorios superposés de 250 places chacun.

Destinés aux étudiants de la Faculté de biologie et médecine de l'Université de Lausanne et creusés dans la cour intérieure de l'ancienne policlinique médicale (Haute école de santé Vaud depuis 2014), ces auditorios sont conçus à l'image d'une grotte en béton brut apparent. Seul le volume de l'escalier et du zénithal se devineront au pied de la falaise. Réaliser le terrassement a nécessité l'utilisation d'une machine de chantier adaptée à l'étroitesse des lieux et entièrement démontable pour l'évacuer par les airs au terme de la fouille. Il était en effet impossible de l'extraire autrement que par grutage, une fois au fond de creuse, soit douze mètres au-dessus du niveau de la chaussée ; l'engin pesait trente tonnes.

C'est aussi par levage qu'ont dû être évacués les déblais – à raison de 80 à 100 mètres cubes par jour – lorsque la profondeur de la fouille a empêché le recours aux véhicules à benne basculante (*dumper*). Le grutier, qui a réalisé ces gestes, n'avait qu'une vue partielle sur le chantier, encore compliquée par la végétation durant l'été. C'est donc une caméra installée à bord d'un chariot sur la flèche qui lui permettait de voir la creuse et la rue César-Roux. La grue a été érigée au sommet de la falaise qui domine le site, fondée sur des micro-pieux pour répartir les charges, afin d'éviter d'affaiblir le terrain déjà instable ; elle se trouvait à proximité de l'installation de chantier juchée – faute de place disponible en contrebas – sur l'esplanade du Champ de l'Air au Bugnon 21, l'ancien hôpital cantonal qui abrite aujourd'hui l'administration du CHUV. Son mât culminait à près de 100 mètres au-dessus de la fouille, soit l'équivalent d'une tour de 30 étages.

Le plateau molassique a lui aussi constitué un défi pour les ingénieurs civils et géologues. La falaise est une ancienne carrière ; un mur de parement fabriqué à l'époque de la construction de la policlinique en 1900 empêchait des éléments friables de tomber dans la cour. Les ouvriers ont commencé par le démonter pierre par pierre et se sont retrouvés face à une roche de très mauvaise qualité, ce qui a induit de nombreux travaux d'ancrage, clouage, gunitage, avant d'entreprendre le terrassement. L'eau, quant à elle, a englouti tout espoir d'atteindre le fond de fouille sans nouvel obstacle.

Plusieurs poches d'eau ont en effet été crevées lors de la réalisation des ancrages. Les fissures monumentales rencontrées au niveau du futur radier ont permis son évacuation naturelle et de nombreuses mesures de drainage sécuritaires ont été prises. Elles ont permis à l'eau de retrouver des cheminements naturels tout autour de la zone excavée et offrent désormais l'assurance que le futur bâtiment se trouve à l'abri des pressions. L'hétérogénéité des roches (des marnes tendres aux grès durs) a aussi mis les spécialistes à rude épreuve. A l'image d'un patient en soins intensifs, le chantier a été placé sous surveillance continue, grâce à différents systèmes de monitoring munis d'alarme.

Dans les zones de sous-cœuvre très délicates, en raison des risques de déformation des bâtiments, des extensomètres ont mesuré en permanence l'ouverture des fissures. A l'aplomb des immeubles séculaires qui bordent le chantier sur trois côtés, les ingénieurs escomptaient une molasse de bonne qualité qui aurait évité d'entreprendre des travaux de soutènement. Or ils se sont heurtés à une roche très fracturée. Sous l'aile nord, notamment, de nombreux renforcements ont dû être apportés. Et sous l'aile sud, il a fallu parfois déplacer des blocs pour les ré-ancrer avant de continuer à creuser. Ces opérations délicates ont été réalisées dans des conditions météorologiques changeantes, où les matériaux rappelaient tantôt la glaise tantôt le sable, au gré des averses de pluie ou de la sécheresse estivale.

Une vingtaine de rouleaux multicouches ont été déployés le long des trente mètres de falaise et des façades pour amortir et « emprisonner » les bruits causés par les activités de terrassement. Cette mesure, qui a permis que les parois ne se transforment pas en haut-parleur rigide, a été mise en œuvre avec l'aide d'alpinistes et d'ouvriers spécialisés en travaux acrobatiques, capables d'arrimer ces « rideaux » à l'à-pic de l'ancienne carrière de molasse. Le matériau devait de surcroît résister au vent et à l'eau ; il a rempli sa mission sous la forme de deux feuilles de géotextile séparées par une structure drainante, un plastique thermoformé, offrant une combinaison suffisante à absorber les sons.

De cette roche si difficile à travailler et de toute l'ingéniosité développée pour la maîtriser ne resteront que peu de traces visibles : la molasse apparaîtra uniquement dans la cage d'escalier et les reliefs de la falaise pourront ressortir discrètement ici et là grâce au béton projeté contre la paroi naturelle. D'où l'importance pour la collectivité de documenter les grandes aventures urbaines.

AVRIL 2015



2.1 LA GÉOLOGIE ET LA GÉOTECHNIQUE D'UN PROJET AUDACIEUX

Alain Oulevey

Ingénieur civil EPFL SIA,
directeur et administrateur
de De Cérenville Géotechnique

Emmanuel Marclay

Géologue UNIL
directeur et administrateur
de Norbert SA Géologues-conseils

Excaver le sous-sol. Quoi de plus naturel pour le géologue et le géotechnicien dans un projet d'auditoires enterrés? Oui, mais...

Si les reconnaissances par forages, effectuées en 2013, avaient fixé le modèle géologique et géotechnique général, elles n'avaient évidemment pas révélé toutes les particularités rencontrées ultérieurement lors des travaux.

Les **fractures du rocher**. Quasi verticales et très nombreuses (dans les grès en particulier), elles présentaient des ouvertures pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres, découpant des compartiments rocheux pouvant être déstabilisés lors des excavations, par appel au vide.

Les **circulations d'eau**. Le réseau de fractures dans le massif laissait circuler les eaux souterraines qu'il n'a pas été rare de voir sourdre ou jaillir massivement du rocher lors des forages.

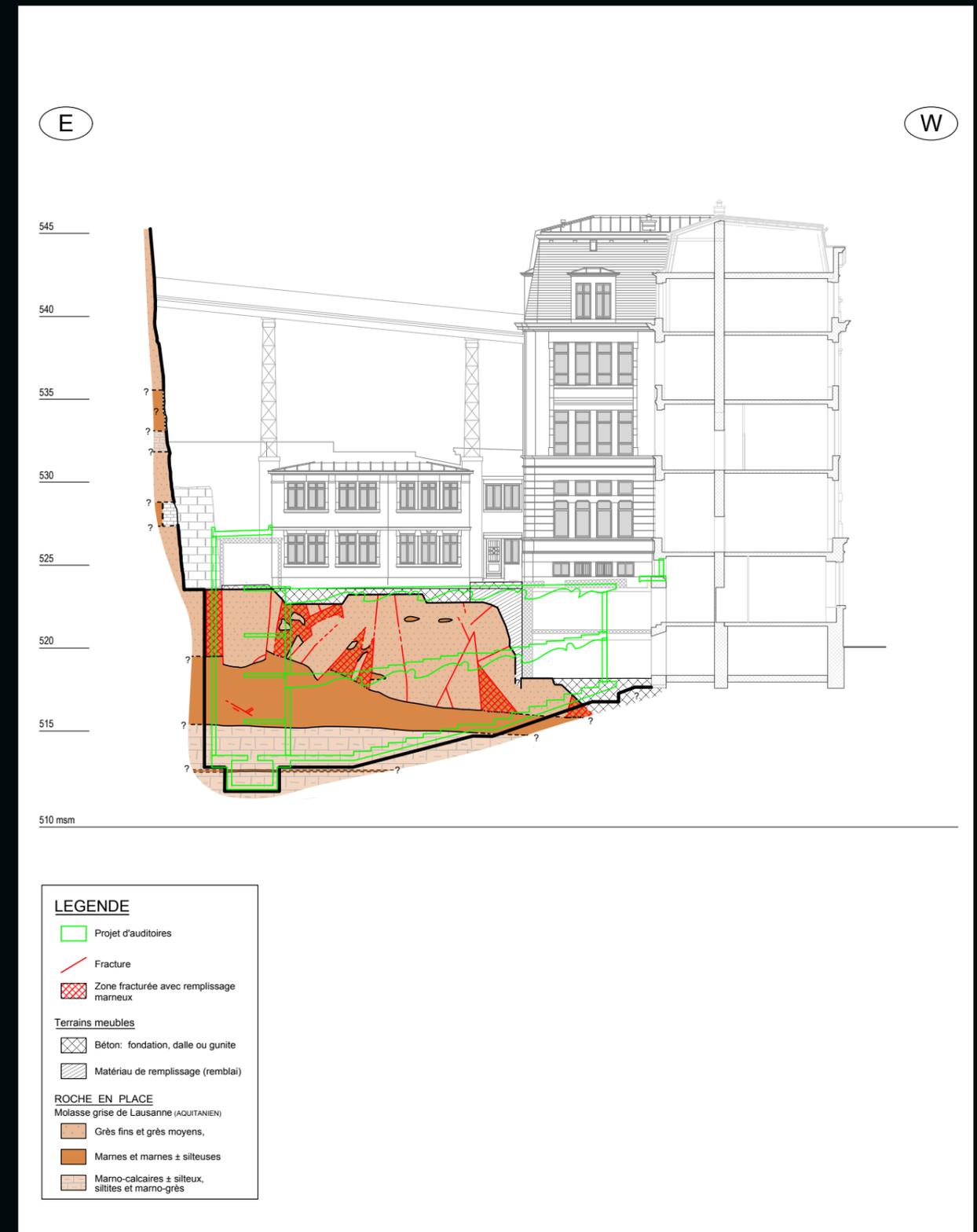
Les **hétérogénéités de résistance de la Molasse**. Le sous-sol de notre ville est composé par la Molasse grise de Lausanne (nom de cette formation géologique) qui présente des caractéristiques géomécaniques très diverses. A l'endroit du projet, les types de roche ont été groupés en trois classes. Les grès tout d'abord, durs, constitués de sables cimentés; les marnes, formées d'argiles et de calcaire, tendres, et enfin les marno-calcaires/siltites (et marno-grès), de composition intermédiaire, mais très durs, et donc particulièrement difficiles à excaver.

La **décompression du massif rocheux**. Formée il y a 20 millions d'années, la Molasse grise de Lausanne a subi des compressions tectoniques importantes durant la genèse des Alpes, ainsi qu'une compaction due au poids de la glace lors de la dernière période glaciaire (800 à 1'000 m d'épaisseur au-dessus de Lausanne). Cela est particulièrement défavorable dans le cas des marnes. Lors des excavations, ces contraintes ont pu se libérer progressivement, à l'image d'un ressort que se détend, générant ainsi des mouvements au niveau de la fouille de l'ordre de plusieurs centimètres.

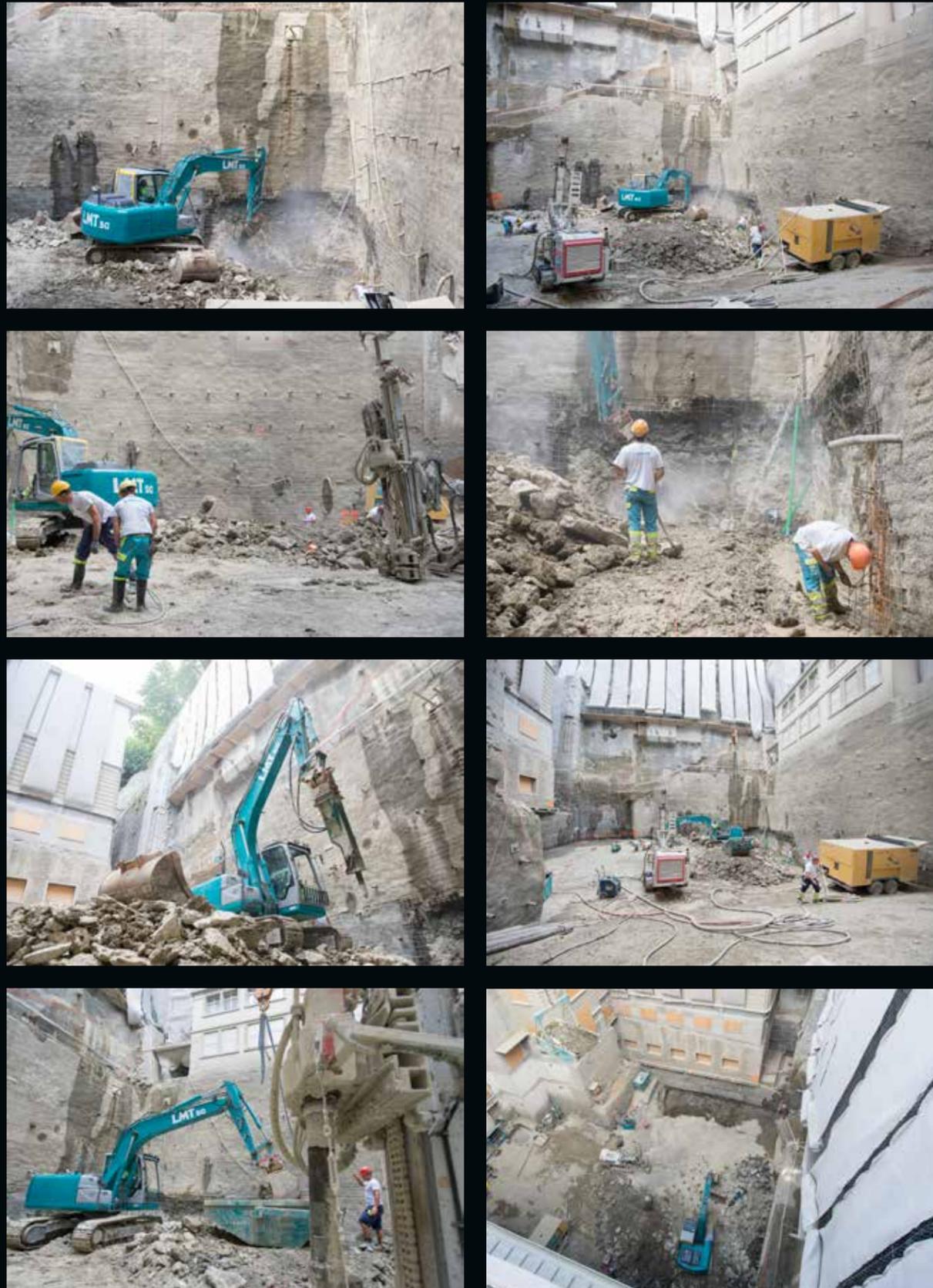
La complexité géologique du site, l'excavation de deux niveaux de sous-sol au pied d'une falaise, dans l'arrière-cour d'un bâtiment classé au patrimoine et fraîchement rénové, ainsi que les adaptations de projet nécessaires pendant le déroulement du chantier proprement dit sont autant de défis qui se sont posés aux concepteurs de cette fouille audacieuse.

La réalisation d'une excavation en Molasse n'est en effet pas si simple qu'elle peut paraître. Cette roche fragile n'est ni homogène, ni continue, l'expérience et l'anticipation des projeteurs étant dès lors les maîtres-mots.

Le massif rocheux, au sein duquel les auditoires devaient être réalisés, était en équilibre avant le début des travaux. Mais les contours de ce nouveau bâtiment ne correspondaient bien sûr pas au tissu des discontinuités de la Molasse. Les excavations ont créé une asymétrie d'assise de la falaise et des fondations des bâtiments existants. La nature ayant horreur d'un vide qu'elle tente de remplir, il fallait donc réaliser un renforcement assurant le maintien de l'équilibre initial.



JUIN 2015



Nombre de clous, ancrages, et autres mesures de confortation ont ainsi été mis en place avant le début des travaux, puis par petites étapes, au fur et à mesure des excavations. Ceci de manière à éviter que des blocs ne se détachent des parois de la fouille et pour s'assurer que les fondations des ouvrages existants ne se déforment et causent d'irré-médiabiles dommages aux bâtiments qu'elles supportent.

Tout au long des excavations, le géologue et le géotechnicien ont été à l'écoute de l'histoire et du comportement du massif rocheux afin d'adapter, à l'avancement, la disposition, le nombre et la longueur des clous renforçant les parois de la fouille. Tout un symbole pour des auditorios qui permettront d'assurer la formation d'infirmières et de médecins.

Au final, ce sont plus de 5'000 m³ de rocher qui ont été excavés et évacués par petites quantités, au dumper puis, lorsque la fouille devenait trop profonde, à la grue. Au total près de 900 m² de surface rocheuse ont été renforcés par 265 clous ou tirants d'ancrages, dont la longueur de forage cumulée atteint près de 2 km.

Parfois très dure et ralentissant l'excavation, parfois très fracturée et nécessitant un confortement plus important, parfois sensible à l'humidité et s'altérant rapidement dès sa mise à nu, la Molasse aura véritablement dicté la progression des travaux et façonné l'aspect final de la fouille. Un aspect brut et chahuté qui incarne à lui seul les difficultés rencontrées et la ténacité nécessaire à les surmonter.

SEPTEMBRE 2015

JANVIER 2016





3

Le choix du tout en béton

Claude Penseyres
MP Ingénieurs-conseils SA
Directeur et administrateur

Une fois terminés les travaux spéciaux et complexes d'excavation, il s'agit de réaliser le gros œuvre des deux auditoriums dans un environnement toujours aussi particulier : accessibilité très limitée, peu de place à disposition, environnement construit et délicat. Les problèmes de logistique ont été pris en compte dans les modes de réalisation.

Le concept architectural retenu prévoit l'utilisation du béton pour répondre aux exigences de l'esthétique, de l'acoustique et... de la statique. Un sacré mélange de contraintes, qui a nécessité de nombreuses réflexions et analyses entre les différents mandataires impliqués.

La place à disposition l'impose : les deux auditoriums de 250 places chacun seront superposés et les locaux annexes nécessaires aux accès, à la circulation, au foyer et aux installations techniques viendront trouver place sur les côtés. Le premier défi est relevé par les architectes : intégrer tous ces éléments dans cet espace restreint et particulier en respectant les normes.

C'est à ce moment qu'intervient l'ingénieur acousticien pour surmonter le défi suivant : concevoir une caverne en béton qui puisse répondre aux exigences acoustiques d'un auditorium moderne. C'est grâce à la forme des dalles, faite d'une succession de vagues savamment dessinées, et celle des murs en béton, faite de décrochements et biais en plan et en élévation, que les effets d'absorption phonique recherchés seront obtenus. En complément de la forme, le travail du spécialiste s'est porté sur le choix de différentes textures de surface : béton structuré, béton sablé, béton lisse.

C'est à partir des formes architecturales élaborées en tenant compte des contraintes acoustiques que l'ingénieur civil a travaillé pour rechercher les solutions statiques permettant la mise en œuvre de ces options audacieuses. Afin d'assurer l'étanchéité et l'isolation périphérique, tout en s'adaptant au périmètre donné par les travaux spéciaux de sous-œuvre et en tenant compte du contexte particulier de livraison et de mise en œuvre, le choix s'est porté sur l'utilisation de « Prémurs » en béton préfabriqué qui intègrent l'isolation thermique et permettent les formes complexes exigées. Cela a permis une mise en œuvre rapide et sécuritaire des murs périphériques. La hauteur des « vagues acoustiques » a été mise à profit pour intégrer un sommier invisible, mais bien nécessaire, pour assurer la portance des deux dalles de grande portée sur les auditoriums. L'utilisation de la précontrainte a été nécessaire pour assurer la résistance de ces dalles si particulières. Enfin, des dalles préfabriquées, intégrant des cavités réalisées par des boîtes de conserves métalliques, assureront l'absorption phonique au-dessus du foyer.

Il est à relever que c'est surtout en équipe, chacun écoutant les besoins et contraintes des autres, que les architectes, l'ingénieur en acoustique et les ingénieurs civils ont collaboré pour trouver la solution finalement retenue. Un magnifique défi, intéressant et motivant.







Création

SAM CHUV 18811

Photographie

Lionel Henriod
Photographes SAM CHUV

Impression

Centre d'impression et de reprographie – CHUV, mai 2016



Coordination rédactionnelle

Joelle Isler, responsable de la communication à la Direction
des constructions, ingénierie, technique et sécurité (CIT-S), CHUV

COMMISSION DE PROJET

Borghini Polier Catherine

Directrice des Constructions, ingénierie, technique et sécurité (CIT-S) du CHUV, coprésidente

Dehant Edith

Cheffe de section SIPal, coprésidente

Thizy Céline

Cheffe de projet SIPal, coprésidente

Azzi Lise

Cheffe de projet CIT-S, CHUV

Aviles Anastasia

Responsable planification et logistique, DGES

Bonvin Raphaël

Responsable Unité pédagogique, Faculté de biologie et médecine, UNIL

Sauteur Nicolas

Adjoint technique au service UNIBAT, UNIL

Clerc Mireille

Directrice, Haute école de santé Vaud (HESAV)

Antonetti Daniel

Responsable financier et infrastructure, HESAV

INVITÉS ET AUTRES PARTICIPANTS

Penseyres Claude

Ingénieur civil, MP ingénieurs-conseils

Galletti Olivier

Galletti & Matter architectes

Simon Christelle

Galletti & Matter architectes

INGENIERIE

Stéphane Blanc

Coordinateur technique CIT-S

MANDATAIRES

Galletti & Matter

Architectes, Lausanne

MP Ingénieurs-conseils SA

Ingénieurs civils, Crissier

De Cérenville géotechnique SA

Ingénieurs-conseils, Ecublens

Norbert SA Géologues-conseils

Géologues, Lausanne

Renaud & Burnand SA

Géomètres, Lausanne

Groupe technique H2

Ingénieur électricien, Ecublens

Enerconseil SA

Ingénieur CV, Vevey

Tecsan

Ingénieur sanitaire, Ollon

D'Silence acoustique SA

Ingénieur acousticien, Lausanne