

D'une anomalie de sondage au confortement d'une galerie antique en zones à risques géotechniques de Lyon.

From a drilling anomaly to the reinforcement of an ancient tunnel in areas of geotechnical risk in Lyon.

Catherine Pothier ^{1,*}, Nicole Bouillod ², Claire Clement ³, Louis Vinet ⁴, Benoît Chalbos ⁵

1 Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information

INSA Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, LIRIS, UMR5205, 69621 Villeurbanne, France

2 Experte Géotechnicienne, Sans laboratoire, Lyon, France

3 Direction Sécurité et Prévention de la Ville de Lyon, Service Balmes, Lyon, France

4 Expert Géologue, Sans laboratoire, Lyon, France

4 Deluermoz, Lyon Département Travaux Spéciaux, Lyon, France

** catherine.pothier@insa-lyon.fr*

RESUME : En 2017, la Ville de Lyon a initié le réaménagement du parc Sutter dans le cadre de sa politique d'amélioration des espaces verts. Ce parc est situé sur les pentes de la Croix-Rousse, en zone à risque géotechnique élevé. En effet, les balmes lyonnaises (zone pentue des collines) sont à fort risque de fontis et de glissement de terrain... Lors de la phase d'étude, un des sondages pressiométriques mené a montré une anomalie de la compacité du sol vers 8 mètres. Un puits blindé de reconnaissance a permis de découvrir une galerie creusée en pleine terre dans les argiles jaunes du miocène, avec une amorce de fontis. Il s'agit d'une ancienne galerie de drainage pour l'alimentation en eau à l'époque antique, d'environ 1,6 mètre de haut et 1 mètre de large. Pour la sécurité du public, il est nécessaire de réaliser la reconnaissance et le confortement de la galerie. Depuis la découverte de la galerie, six années se sont écoulées, et actuellement 130 mètres linéaires du réseau ont été consolidés par blindage et bétonnage dans un contexte de travaux en milieu exigé et humide. Cet article est axé sur deux thématiques complémentaires. Il présente d'une part la description des couches géologiques rencontrées à l'avancement lors du confortement ainsi que les venues d'eau qui peuvent être source de fontis ou d'effondrements des pieds-droits. D'autre part, il présente les techniques de consolidation spécifiques employées pour limiter les risques géotechniques et permettre un confortement en sécurité. Cet article montre qu'en zone à risque géotechnique, toute anomalie de sondage doit impérativement être étudiée pour éviter un accident.

ABSTRACT: In 2017, the City of Lyon initiated the redevelopment of Sutter Park as part of its policy to improve green spaces. This park is located on the slopes of the Croix-Rousse, in a high-risk geotechnical zone. Indeed, the Lyon balmes (the steep areas of the hills) are prone to high risks of sinkholes and landslides. During the study phase, one of the pressuremeter tests conducted revealed a soil compactness anomaly at a depth of about 8 meters. A reinforced reconnaissance shaft led to the discovery of a gallery excavated directly into the yellow Miocene clays, showing the beginnings of a sinkhole. It is an ancient drainage gallery for water supply dating back to Roman times, measuring approximately 1.6 meters high and 1 meter wide. To ensure public safety, it was necessary to survey and reinforce the gallery. Since its discovery six years ago, 130 linear meters of the network have been consolidated using shoring and shotcrete, within the constraints of a cramped and humid working environment. This article focuses on two complementary themes. First, it describes the geological layers encountered during the reinforcement process, as well as the water inflows that can cause sinkholes or the collapse of sidewalls. Second, it presents the specific consolidation techniques employed to mitigate geotechnical risks and ensure safe reinforcement operations. This article demonstrates that in high-risk geotechnical zones, any drilling anomaly must be imperatively investigated to prevent accidents.

Mots-clés : fontis ; risques géotechniques ; galerie ; confortement ; balmes lyonnaises

1 INTRODUCTION

La ville de Lyon, établie à la confluence du Rhône et de la Saône, se caractérise par une vulnérabilité

géotechnique singulière liée à ses deux collines, la Croix-Rousse et Fourvière. Ces secteurs sont classés en zone à risque géotechnique au Plan Local d'Urbanisme (PLU) depuis plusieurs décennies. La

topographie escarpée, une lithologie complexe et la présence de nappes captives, conjuguées à des siècles d'interventions anthropiques — notamment le creusement de réseaux de drainage — font de ces versants (balmes) le siège d'instabilités récurrentes.

Les glissements de terrain historiques de Fourvière (1930), d'Herbouville (1977) et du chemin de Montauban (1999), ainsi que l'occurrence régulière de fontis (Pothier, 2022), ont imposé la création d'une instance administrative et technique unique en France : la Commission des Balmes. Cette dernière exerce un contrôle décisionnel sur tout projet d'aménagement en zone de risque. C'est dans ce contexte que la commission du 16 février 2017 a examiné la réhabilitation du parc Sutter (Lyon 4e), situé sur le flanc de la colline de la Croix-Rousse. Le projet consiste à redonner une cohérence au parc, à agir sur le traitement végétal, à conforter sa fonction ludique et à aménager le parcours préférentiel des piétons.

Bien que le projet de réhabilitation ait initialement présenté une apparente simplicité technique, l'expertise critique menée par les membres de la Commission des Balmes a mis en exergue des incertitudes géotechniques, conduisant à l'identification d'un fontis lié à un réseau de galeries sous-jacentes nécessitant une mise en sécurité. Le présent article s'attache, dans une première partie, à caractériser le cadre géologique et hydrogéologique du site ainsi que l'aléa spécifique lié aux instabilités de type fontis. Il expose ensuite le projet d'aménagement ainsi que les investigations géotechniques in situ réalisées pour l'instruction du dossier. Enfin, l'article retrace l'historique de la découverte d'une zone décomprimée en profondeur et d'un ouvrage souterrain, pour détailler les solutions de confortement structurel mises en œuvre ainsi que les dispositifs de surveillance et d'auscultation déployés pour garantir la pérennité du site et de ses avoisinants.

2 ENVIRONNEMENT DU PROJET

2.1 Contexte géologique de la Croix-Rousse

La géologie de la colline de la Croix-Rousse s'inscrit dans un contexte géodynamique complexe, situé entre le socle hercynien du Massif central et le bassin d'avant-pays alpin. La Croix-Rousse présente une structure en « mille-feuille » comme l'illustre la figure 1 (Chapart, 2020). Enfoncé sous la colline, le socle est constitué de roches métamorphiques (gneiss, micaschistes) et granitiques (anatexites à biotite). Il s'enfoncé par paliers vers l'est (de la Saône vers le Rhône).

Reposant sur le socle, les sables molassiques du Miocène (Tertiaire), de formation marine, constituent la première couche sédimentaire de la série tertiaire. Ils sont surmontés d'une série de dépôts argileux du Miocène (argiles silteuses jaunes, argiles graveleuses bariolées vertes et marron) déposés lors de la régression marine, alors que le milieu devenait progressivement deltaïque. Ensuite, au Pliocène, se déposent d'autres couches argileuses (argiles silteuses jaunes et argiles grises) en milieu lacustre, ainsi que des cailloutis fluviaux (Plio-villafranchiens).

Enfin, cet ensemble de formations argileuses est recouvert par les formations glaciaires et périglaciaires du Quaternaire (David, 1966 ; Mandier, 1987), notamment les moraines caillouteuses et argileuses. Ces dépôts morainiques résultent de l'extension maximale des glaciers alpins. Par endroits, au sommet du plateau, on observe un placage de limons éoliens fins (lœss). Des colluvions morainiques et limoneuses tapissent les versants, ainsi que des matériaux anthropiques (remblais)

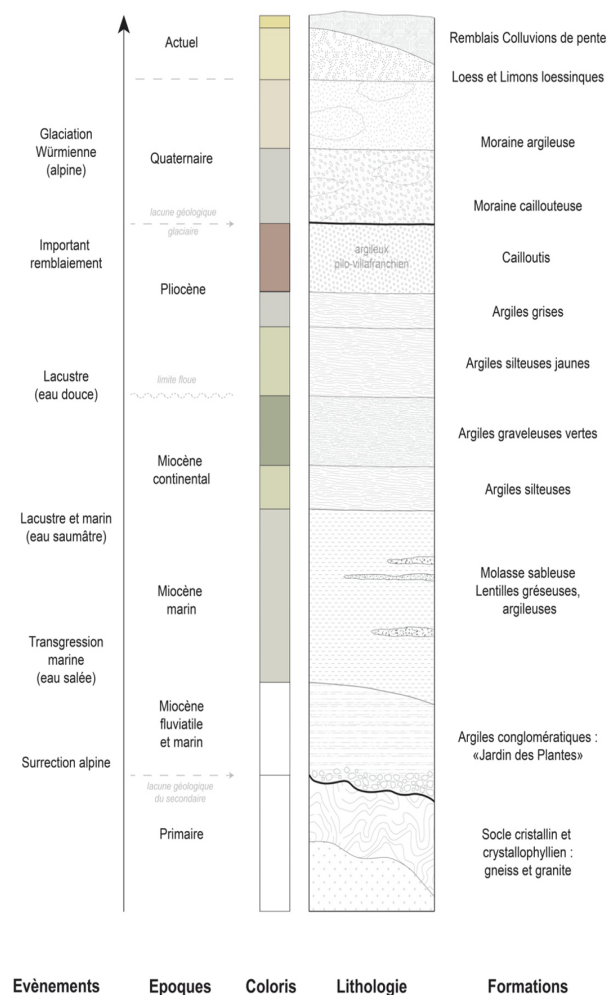


Figure 1. Log stratigraphique de la colline de la Croix-Rousse

2.2 Hydrogéologie de la Croix-Rousse

L'interaction entre la structure géologique et la dynamique hydrogéologique est le moteur principal des instabilités géotechniques des balmes lyonnaises. La superposition de niveaux poreux (moraines caillouteuses, sables molassiques) présentant une forte conductivité hydraulique sur des niveaux imperméables (argiles du Pliocène, argiles miocènes ou socle peu fracturé) crée des nappes captives. Ces aquifères multicouches génèrent des pressions interstitielles variables et des écoulements de versant (Vinet, 1991).

Depuis l'époque romaine, l'Homme a creusé ces couches pour capter l'eau dans des galeries de drainage de longueur variable, allant de quelques mètres à des réseaux complexes de plusieurs centaines de mètres. Dans la plupart des cas, la localisation de ces ouvrages a été oubliée avec le développement du réseau public de distribution d'eau à la fin du XIXe siècle.

Au XXe siècle, la nécessité de drainer les collines lyonnaises a entraîné la création d'importantes galeries drainantes, dont la galerie « Bonafous nouvelle » sous la colline de la Croix-Rousse (longue de plusieurs centaines de mètres en 1964), ainsi que la restauration et le confortement des galeries anciennes afin de prévenir le risque de fontis occasionné par les effondrements des toits de ces galeries. En effet, lorsque ces ouvrages ne sont plus entretenus, ils deviennent les vecteurs d'une circulation d'eau non contrôlée, pouvant accélérer la décompression des terrains environnant

2.3 L'aléa « fontis »

En géotechnique, un fontis résulte d'un déséquilibre de la voûte d'une cavité (naturelle ou artificielle). Le processus débute par une phase d'amorçage due à la rupture du toit de la cavité par altération hydromécanique. S'ensuit une désagrégation progressive des matériaux, au cours de laquelle la « cloche d'effondrement » remonte vers la surface. La vitesse de cette remontée dépend de la granulométrie et de la teneur en eau des terrains traversés. Enfin, le phénomène devient visible en surface sous forme d'un entonnoir brutal lorsque l'épaisseur de sol résiduelle n'est plus suffisante pour assurer l'autoportance (figure 2).

Sur les balmes lyonnaises, ce phénomène est recensé en moyenne deux à quatre fois par an. Face aux risques liés à l'apparition de fontis, la Ville de Lyon s'est dotée de plusieurs arrêtés municipaux (1984, 1994 et 2009). Ces arrêtés imposent, entre autres, la prise en compte de la « condition de fontis » dans le dimensionnement des fondations des bâtiments construits dans la zone à risque géotechnique, en

raison de la présence probable de galeries non détectées. Cette condition impose que les fondations de l'ouvrage puissent reprendre les efforts consécutifs à l'apparition d'un fontis de 2 mètres de diamètre sous ces dernières. De plus, tout fontis doit être traité et toute découverte de galerie doit impérativement être signalée.

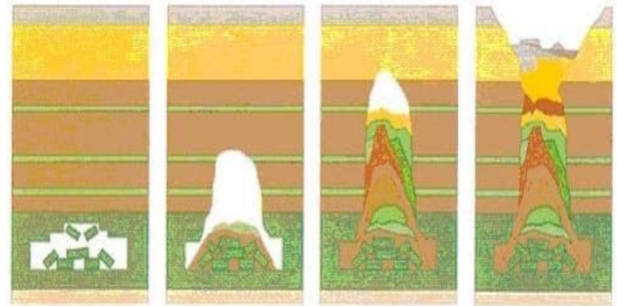


Figure 2. Les différentes étapes de formation d'un fontis (Vachat 1982 repris par Caudron 2007)

3 PRÉSENTATION DU PROJET DE RÉAMÉNAGEMENT DU PARC SUTTER

3.1 Présentation du projet

Le parc Sutter est situé dans le 4e arrondissement de Lyon (69), sur les pentes de la Croix-Rousse. Il s'agit d'un parc présentant une pente assez accusée vers le sud-ouest, occupé par des espaces verts, des aires de jeux et des cheminements piétons. Un projet de réaménagement (figure 3) prévoit la réalisation de plusieurs ouvrages, notamment :

- Un mur de soutènement de 1,05 m de hauteur situé sous le futur toboggan (au centre);
- La création de quatre murs en gabions à l'est du toboggan, permettant de casser la pente (à l'Est).



Figure 3. Projet de réaménagement du parc Sutter

Un reprofilage du site est nécessaire, avec des terrassements atteignant 2,5 m de hauteur. Une étude géotechnique de conception, phase projet (G2 PRO), a

été effectuée conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013. Elle fait suite à la mission de conception phase avant-projet (G2 AVP) réalisée en septembre 2016 et au diagnostic géotechnique (G5) de décembre 2016.

Dans ce cadre, différents sondages ont été réalisés. Lors de l'analyse du dossier, les experts de la Commission des Balmes ont relevé que le carottage effectué au droit du sondage pressiométrique SP2 (à droite de l'aire de jeux), met en évidence (figure 4) une zone décomprimée. Celle-ci est décrite comme une passe de limons argilo-sableux très décomprimée, dont le toit se situe entre 5,5 et 6,4 m/TA (terrain actuel) et la base entre 7,5 et 10,3 m/TA. Aucun bloc, pierre ou vestige de béton n'ayant été rencontré au droit du carottage à la profondeur de l'anomalie, aucun lien direct ne peut être établi avec un potentiel réseau de galeries. Toutefois, suite à ces analyses, l'hypothèse d'un départ de cloche de fontis a été évoquée par les experts, entraînant la prescription de sondages complémentaires.

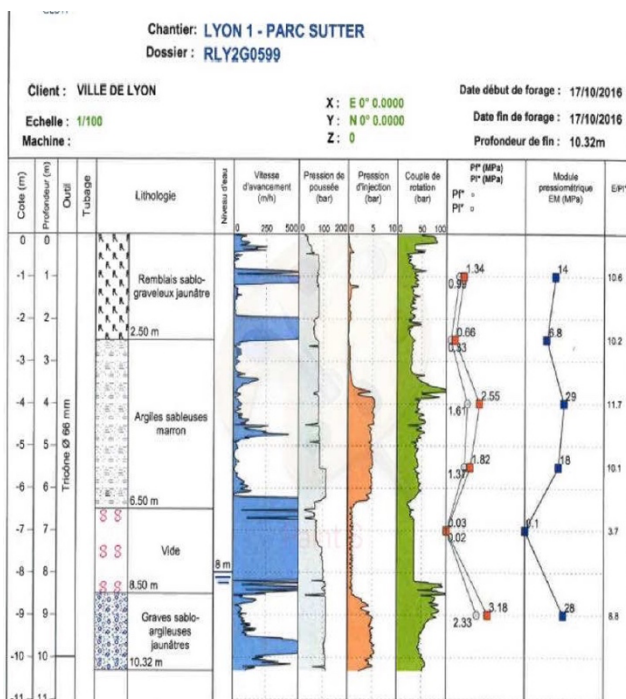


Figure 4. Sondage SP2

3.2 Sondages complémentaires

La nouvelle campagne, composée de neuf sondages a été réalisée dans la zone de l'aire de jeu. Les résultats mettent en évidence une couche de remblais d'environ 1,6 m reposant sur une formation d'argile sableuse marron. Cette dernière pourrait correspondre à des formations morainiques d'épaisseurs variables, dont la base se situe à une profondeur de 2 à 4,5 m. Sous ces formations quaternaires apparaît une couche de graves sablo-argileuses s'apparentant à des argiles silteuses

jaunes. Au droit de deux sondages, on retrouve un profil de diagraphie identique avec des vitesses d'avancement très élevées, comprises entre 700 et 800 m/h, bien que restant inférieures aux valeurs mesurées à vide (1000 m/h). On y rencontre une formation d'argile décomprimée dont le toit se situe entre 5,5 et 6,4 m/TA et la base entre 7,5 et 10,3 m/TA. Au droit du carottage (au milieu de l'aire de jeu), cette formation est de nature essentiellement argileuse (teintes brunes, beiges et vertes) et de consistance très molle. Il convient de noter la présence de passages décimétriques plus sableux et d'autres plus graveleux. L'examen visuel des carottes du sondage révèle des terrains graveleux puis sableux grossiers dans les deux premiers mètres, suivis de terrains argilo-silteux comportant quelques passées à galets. Entre 6 et 8 m, dans la zone du vide suspecté, les matériaux sont silto-argileux jaunes avec de discrets bariolages d'oxydation. Une désorganisation du matériau suite au carottage témoigne d'une faible cohésion associée à une nature plutôt limoneuse (figure 5).

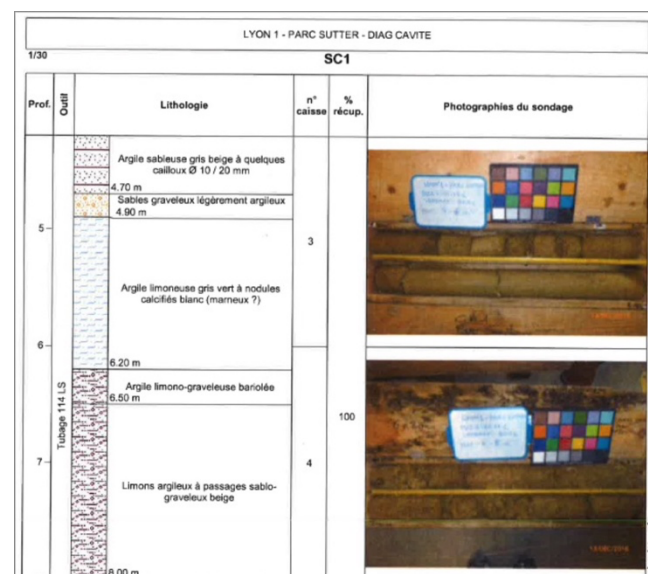


Figure 5. Photos du sondage carotté

À 6,20 m, une particularité est observée : un passage de couleur marron contenant des fragments noirs et une trace demi-centimétrique rouge brique, témoignant d'un épisode potentiellement anthropisé. De part et d'autre de cette anomalie, le matériau géologique est de même nature. Les derniers mètres sont plus nettement argileux, avec des passées de galets et l'intersection d'un bloc de gneiss foncé partiellement altéré (un autre élément anguleux ayant été retrouvé un mètre au-dessus). Il est important de préciser que ce type de blocs peut avoir été utilisé comme dalot dans d'anciennes galeries. Cet horizon argileux, avec son niveau caillouteux au sommet, pourrait favoriser des circulations d'eau. Le sondage

initial SP2 pourrait en indiquer une à cette profondeur, bien qu'un doute subsiste quant à l'origine de l'eau (nappe naturelle ou eau de forage) dans le relevé de SP2.

3.3 Analyse

En conclusion, l'horizon correspondant à l'anomalie initialement signalée est une couche de silts argileux jaunâtres, facilement délétables, qui présente localement une hétérogénéité s'apparentant à un paléosol (ancien sol). Plusieurs hypothèses restent envisagées :

- Un remplissage de galerie par des sédiments fins ;
- Un dépôt fin dans un contexte colluvionnaire ;
- Une écaille issue d'un glissement de terrain ancien.

L'altitude de cette anomalie, qui oscille autour de 225 m NGF, est à rapprocher de celle d'un réseau de galeries situé à l'est du parc et dont l'orientation se dirige vers le site. Afin de lever toute incertitude, la décision a été prise de réaliser un puits de reconnaissance de 2 m x 2 m à proximité du sondage SP2, jusqu'à une profondeur de 7,2 m. Dans l'attente de ces investigations, un arrêté de police municipale a été pris afin de limiter la circulation dans le parc par mesure de sécurité.

4 DECOUVERTE ET CONFORTEMENT DE LA GALERIE

4.1 Réalisation d'un puits

Les travaux du puits ont débuté le 7 septembre 2017, réalisés par l'entreprise Deluermoz. Le chantier a fait l'objet d'un suivi régulier par les membres de la Commission des Balmes : la nature des matériaux excavés a été examinée afin de confronter les observations directes aux analyses issues des sondages carottés. Le vendredi 8 septembre, le fond de fouille a révélé un horizon de remblais argileux, puis sablo-graveleux à partir de 1,20 m de profondeur. Le lundi 11 septembre, le fond de fouille a atteint 2,20 m : au nord, le terrain est constitué de sables graveleux tandis qu'au sud, il apparaît très compact. Le lendemain, à 3,40 m de profondeur, le secteur nord présentait un horizon sablo-graveleux, finement limoneux et humide, alors que le secteur sud montrait un sable limono-graveleux très compact. Des cavités de 1,20 m de long pour 40 à 50 cm de large ont été découvertes dans l'angle nord-est, entre 2,00 m et 2,40 m de profondeur ; une autre cavité mineure a également été décelée derrière le blindage nord. Le mercredi, le fond de fouille a atteint 4,20 m, laissant apparaître des colluvions de nature morainique. Le jeudi, à 5,50 m, le terrain argileux compact et les colluvions persistaient.

La découverte d'un crâne humain a alors renforcé la suspicion d'une ancienne galerie dans l'angle nord-est. Le lundi 18 septembre, le puits a atteint 7,10 m, profondeur limite initialement requise. L'horizon de fond est alors composé d'argile meuble et d'argile silteuse, avec une présence d'eau avérée.

Une galerie effondrée, orientée vers le nord, a été mise au jour. Le réseau semble se prolonger sur au moins 5 mètres, marqué par de fortes venues d'eau et la présence de racines visibles sur les parois. Les investigations se sont poursuivies sur quelques dizaines de centimètres supplémentaires. Une descente au fond du puits a permis de confirmer la présence du toit d'une galerie écroulée s'orientant vers le haut du parc (nord-est) (figure 6). Dans la direction opposée, une autre amorce de galerie a été identifiée ; bien que totalement foudroyée (écroulée), un dalot de type romain y a été repéré. À une profondeur finale de 7,60 m, le chantier a été interrompu et le puits sécurisé, dans l'attente de l'examen du dossier par la Commission des Balmes le jeudi 21 septembre.



Figure 6. Galerie écroulée

4.2 Travaux du puits et surveillance

Conformément aux préconisations de la Commission des Balmes, des investigations géotechniques ont été menées fin 2017 afin de déterminer la hauteur de la galerie, d'en repérer le radier et les extensions possibles (nord et sud), et de définir la nature du niveau géologique inférieur. En fonction des résultats, des investigations complémentaires ainsi qu'une reconnaissance exhaustive du réseau sous le parc — voire au-delà — pourraient s'avérer nécessaires. En conséquence, l'arrêté de fermeture du parc est prolongé. Lors de la réouverture du chantier le 31 octobre 2017, une remontée d'eau a été constatée dans le puits ; un pompage a été mis en œuvre pour permettre la reprise des opérations. Le mardi 7

novembre, le fond de fouille atteignait environ 9,60 m. Le blindage de l'antenne nord de la galerie a débuté, parallèlement à la découverte d'un dalot en gneiss. Des drains en PVC ont été installés pour faciliter l'exhaure. Au 15 novembre, l'antenne nord était confortée sur plusieurs mètres. Elle est creusée au sein d'une formation miocène composée d'argiles litées, présentant des alternances de niveaux argileux, finement sableux ou silteux. Si le litage horizontal d'origine est très net en zone stable, il apparaît perturbé au droit du puits : la formation y est disloquée par l'insertion d'une couche de colluvions graveleuses à matrice argilo-sableuse le long du versant (figure 7).



Figure 7. Vue de la galerie après dégagement

Par ses dimensions et son encaissant géologique, cette galerie rappelle le réseau Vaucanson, situé sur un autre flanc de la colline à une altitude similaire. Les observations ont montré que la section en pleine terre se prolonge sur plusieurs mètres malgré des zones de sol fortement décomprimées. Un virage s'amorce vers la gauche, à partir duquel une longueur d'environ dix mètres a été estimée au télémètre laser — mesure confirmée par la suite. Les travaux de reconnaissance se sont achevés fin novembre 2017 et le puits a été condamné par une dalle en béton. Une surveillance annuelle (niveau d'eau, état des piédroits et de la voûte) a été assurée de l'hiver 2017 à l'hiver 2022. Chaque année, l'ouverture du puits a permis de contrôler le niveau d'eau : celui-ci a atteint 70 cm en 2018, avant de se stabiliser entre 30 et 40 cm les années suivantes, suggérant que l'exutoire a été rétabli. En 2020, les argiles (en place ou décomprimées) présentaient une forte humidité superficielle. Des écoulements boueux ont été observés en partie basse

de la galerie ancienne, au niveau des arrivées d'eau, bien que la voûte demeure stable (figure 8). Cependant, lors de l'inspection de novembre 2022, les matériaux argileux en partie haute des piédroits et de la voûte commençaient à perdre de leur consistance et à se déliter sous l'effet de l'atmosphère saturée en humidité.



Figure 8. Front de taille aval

5 TRAVAUX DE CONFORTEMENT

5.1 Travaux en galerie

La reconnaissance active de ce réseau de galeries n'a pu démarrer qu'en 2023. La société Deluermoz en assure les travaux, sous la maîtrise d'ouvrage du Service des Balmes de la Ville de Lyon. Dans un premier temps, l'avancement (fonçage, pose de blindage avec cintres de type TH en trois pièces : voute et jambages ainsi que des tôles S2bis) se dirige vers l'amont, au nord (tronçon A) (figure 9). La galerie conserve son profil initial, entaillé dans des argiles jaunes stratifiées et comblé aux deux tiers par des sédiments issus de l'excavation et du lessivage. Un dalot, composé de deux pierres latérales coiffées d'une dalle plate, recueille le débit de la galerie. Cette galerie oblique vers la gauche et passe, en une dizaine de mètres, d'une orientation nord-sud à une direction sud-est/nord-ouest. Elle rencontre alors, quasi perpendiculairement, un conduit aux caractéristiques identiques dont les deux extrémités sont éboulées. Ce nouveau tronçon, baptisé B, présente une orientation sud-nord. Les traces de coups de pic au plafond témoignent d'un creusement manuel, suggérant une origine antique. Il a été décidé de suivre la branche nord malgré une venue d'eau persistante, atteignant son maximum au carrefour A-B-D avec un débit mesuré de 0,1 m³/h. La galerie D est taillée très

régulièrement dans des argiles compactes. Les strates de cette formation, globalement nommée « argiles jaunes », présentent des colorations allant du roux au jaunâtre selon la sédimentation. Ces matériaux sont très compacts, à la limite de l'induration. Par endroits, ces galeries laissent apparaître de nouveaux départs qui devront être traités ultérieurement.

La reconnaissance de la branche B s'est poursuivie jusqu'à une zone d'éboulis. Il apparaît que ce que l'on peut définir comme un fontis (obstruction, effondrement du toit et débouillage de matériaux boueux) résulte d'un exhaussement du niveau du radier d'environ 1,25 m. La galerie se poursuit donc avec les mêmes dimensions à une cote supérieure. Cette configuration a contraint l'entreprise à interrompre la reconnaissance, la progression en pente ascendante étant techniquement complexe. Un second puits a été creusé à l'été 2024 en amont de cette zone pour sécuriser la suite des travaux.

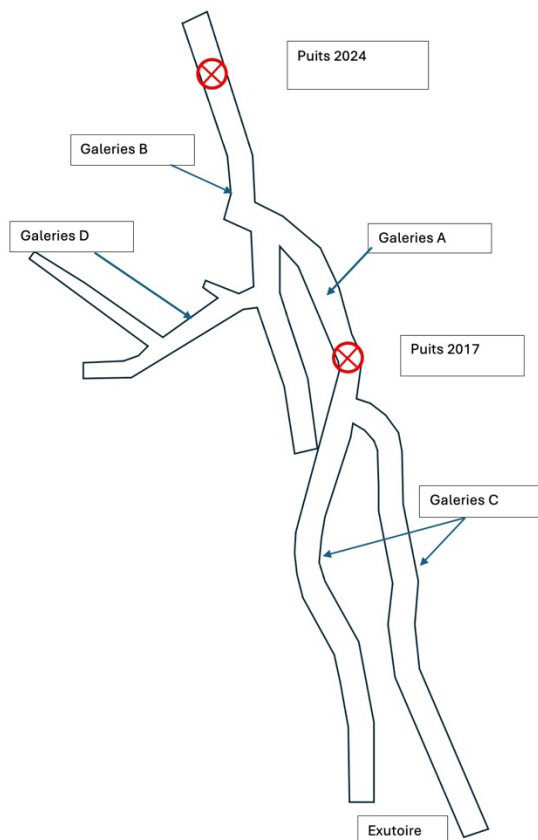


Figure 9. Schéma de la galerie

Une nouvelle galerie, la C, a été reconnue à partir de la partie dégradée du puits. Elle se dirige vers le sud avant d'obliquer vers le sud-sud-est, en direction d'une paroi clouée située en limite de copropriété (place Morel). Le contour de cette galerie est très irrégulier, traversant des matériaux changeants : argiles, limons caillouteux à blocs (moraines), ou sables graveleux «

boulants ». Un vide de près de 10 m de long sur 1,5 m de diamètre a été identifié entre 12 et 22 m de l'entrée de la galerie C. Cette vaste cloche a été provisoirement colmatée avec des blocs de polystyrène pour prévenir tout effondrement avant les injections définitives. Les matériaux y présentent une structure anarchique, incluant des blocs erratiques décimétriques et des moellons de gneiss noir. Cette branche s'interrompt avant d'atteindre la paroi clouée, à une profondeur estimée à moins d'un mètre sous le sol. La mauvaise qualité du sous-sol suggère que des fontis auraient pu se produire à court terme. De nombreux vestiges (pierres taillées, briques, tessons) évoquent des remaniements de terrain dans cette partie haute du versant. Une planche percée d'un orifice de 5 cm a permis de dater ce réseau entre le deuxième quart du I^{er} siècle et le début du III^e siècle de notre ère, confirmant l'époque gallo-romaine. Une seconde branche aux caractéristiques similaires, ayant subi d'importants effondrements, a également été découverte.

Ces travaux de confortement ont duré environ un an, réalisés manuellement par une équipe de quatre personnes. Les déblais ont été évacués par un treuil au-dessus du puits. Le coût du confortement des 135 ml de galerie et du creusement du second puits s'élève à 2,3 millions d'euros. Ce second puits a été finalisé en octobre 2024 ; son bétonnage est actuellement en cours.

5.2 Travaux de surveillance

Parallèlement à ces travaux, les experts de la commission ont attiré l'attention sur les risques de mouvements de terrain provoqués par la saturation en eau de la partie amont du parc Sutter. En conséquence, il a été décidé d'installer des instruments de mesure afin d'assurer une surveillance rigoureuse des sols. Un forage de 22 m de profondeur a été réalisé, descendant sous le niveau du radier de la galerie B, pour permettre la pose d'un inclino-tassomètre. Cet appareil fait l'objet de relevés réguliers selon une fréquence adaptée (initialement mensuelle). En complément, une surveillance topographique a été mise en place en amont du site. Elle comprend l'installation de témoins (repères de nivellement ou inclinomètres de paroi) sur le mur de clôture nord du parc ainsi que sur les façades des propriétés situées en surplomb, impasse Vauzelles. À ce jour, les relevés sont rassurants et ne mettent en évidence aucun mouvement significatif.

6 CONCLUSION

Si, initialement, une simple anomalie de sondage avait été détectée par la Commission des Balmes lors de

l'étude d'un projet d'aménagement de parc, les investigations menées pour lever l'hypothèse d'un potentiel fontis ont finalement permis de découvrir un réseau de galeries de plus de 135 ml. Ce réseau comporte encore de nombreux départs inexplorés et non confortés. Au fil de l'avancement des travaux, des départs de galeries latérales, restant à reconnaître et à conforter, ont été repérés. À ce stade, la galerie B demeure la priorité des interventions afin de sécuriser la partie haute du parc. Les travaux ont également mis au jour plusieurs amorces de fontis en profondeur, permettant ainsi leur traitement préventif.

Le réseau n'est pas encore intégralement reconnu à ce jour et pourrait s'étendre sur plusieurs dizaines, voire centaines de mètres supplémentaires. L'important chantier qui en résulte permet, à mesure de l'avancement, de sécuriser la zone tout en approfondissant les connaissances géologiques et archéologiques du sous-sol lyonnais. Ce retour d'expérience rappelle qu'en zone de balnes, aucune anomalie de sondage, aussi mineure soit-elle, ne doit être négligée

REMERCIEMENTS

Ce travail de synthèse a été en partie réalisé au sein du Labex IMU (ANR-10-LABX-0088) de l'Université de Lyon, dans le cadre du Plan France 2030 mis en place par l'État et géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caudron M. (2007). *Etude expérimentale et numérique de l'interaction sol-structure lors de l'occurrence d'un fontis*, thèse doctorat, INSA Lyon.
- Chappart C., Vinet L., Bouillod N., Pothier C. (2020). Les collines de la Ville de Lyon : notes géologiques, *10èmes journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur*, Lyon, France.
- David L. (1967). *Formations glaciaires et fluvioglaciaires de la région lyonnaise*. Imprimeur-éditeur Département des sciences de la Terre, faculté des Sciences de Lyon.
- Mandier P. (1987). le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire ; *Revue de Géographie Alpine* 75-1 pp. 87-89
- Mongereau, N. (2010). *Géologie de Lyon*. Editions Lyonnaises d'Art et d'Histoire, Lyon, France.
- Pothier C., Vinet L., Bouillod N., Bounpraseuth O., (2022) Les fontis de la Ville de Lyon entre 1960 et 2009 : typologie et causes, *11èmes journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur*, Juillet 2022, Lyon, France
- Vinet L. (1991). *Typologie et prévention des risques et accidents géotechniques en site urbain : les collines de la Ville de Lyon entre 1977 et 1990*, thèse de doctorat, INSA de Lyon