

LES COLLINES DE LA VILLE DE LYON : NOTE GEOLOGIQUE

THE HILLS OF LYON: GEOLOGICAL NOTE

Catherine POTHIER¹, Claire CHAPPART¹, Louis VINET², Nicole BOULLIOD²

¹ Univ Lyon, INSA-Lyon, CNRS, LIRIS, UMR5205, F-69621, Villeurbanne, France

² Direction Prévention et Sécurité de la Ville de Lyon -Ville de Lyon -Lyon-France

RÉSUMÉ – Partenaire de la Division Prévention et Sécurité de la Ville de Lyon pour la gestion des risques géotechniques et géologiques, l'INSA interprète et met en forme de nombreuses informations géologiques. Ce qui lui permet d'affiner la connaissance géologique du site de Lyon et de procéder au traitement informatique de cette base de données pour progresser vers la constitution d'un modèle géologique 3D de la ville.

ABSTRACT – As a partner of the Prevention and Safety Division of the City of Lyon for the management of geotechnical risks, INSA interprets and formats a large amount of geological information. This enables it to refine its geological knowledge of the Lyon site and to process this database to progress towards the creation of a 3D geological model of the city.

1. Introduction

La Ville de Lyon se préoccupe activement depuis 1930 des risques encourus par la population du fait des mouvements de terrain de nature diverse qui peuvent se produire sur son territoire. Il peut s'agir de glissement de terrains, de coulées boueuses, d'éboulements rocheux, d'effondrements de murs de soutènement, d'affaissements de sol ou de fontis liés à des cavités souterraines. Ces accidents se sont produits au cours de toute l'histoire de la ville mais nous n'en avons un relevé et des descriptions que depuis un siècle environ.

Parallèlement à cette prise en compte, la connaissance de la géologie du sous-sol lyonnais s'est constituée progressivement depuis le début du XIX^{ème} siècle jusqu'à nos jours. (David, 1966 ; Mandier, 1987) ont écrit les principales contributions d'analyse et de synthèse, portant sur les terrains glaciaires et fluvio-glaciaires. Ensuite (Vinet, 1991 ; Mongerau, 2010) en ont présenté respectivement des synthèses dans une thèse et dans un livre à destination d'un public averti. Le schéma général de la géologie lyonnaise semble bien acquis désormais, même s'il subsiste des inconnues ou des divergences d'interprétation liées à la difficulté de reconstituer avec précision la succession des événements géologiques, d'autant plus délicate à établir que ces événements relèvent d'une histoire proche, puisqu'il s'agit en grande partie de l'ère quaternaire.

C'est pourquoi lorsqu'à la faveur de sondages, d'excavations, de reconnaissances d'ampleurs diverses et de chantiers, des observations géologiques peuvent être relevées, il est important de les noter et de les ajouter à celles du passé pour compléter le tableau que nous construisons de l'histoire géologique du site de Lyon.

C'est à cette contribution que s'attache la présente note géologique en s'appuyant sur les données recueillies par la Commission des Balmes dans le cadre de son activité de prévention et de gestion du risque géotechnique. L'équipe de l'INSA de Lyon qui participe à cette action a aussi pour mission de valoriser ces données dans le cadre de la contribution à la géologie régionale.

2. Contexte géologique lyonnais

La complexité de la géologie, du climat et du réseau hydrographique ont façonné le relief de la ville de Lyon, créant ainsi les collines que nous connaissons. Celles-ci ont ensuite été progressivement urbanisées et remodelées. Les activités anthropiques ont alors permis d'aménager la ville sur les versants, aussi appelés balmes. L'histoire de Lyon remonte à l'antiquité puisqu'elle a été l'ancienne capitale des Gaules (1^{er} siècle av. J.-C.). Dès l'origine de la ville, des habitations ont été construites sur les collines et les balmes ainsi qu'un réseau de galeries souterraines qui servait à exploiter l'eau potable dans la ville. Cependant, la combinaison de toutes ces caractéristiques naturelles et anthropiques n'est pas favorable à la stabilité des terrains et des reliefs.

2.1. La géologie Lyonnaise

Situé entre le Massif Central et les Alpes, le site de Lyon doit sa configuration à l'existence d'un fossé d'effondrement qui affecte la région au début du tertiaire (Oligocène). Il se comble progressivement jusqu'au Pliocène dans un contexte continental, marin et, pour finir, continental. L'agglomération est installée, à l'ouest sur les derniers reliefs du massif central (socle cristallophyllien) et à l'est sur un empilement de sédiments marins et littoraux de la « mer de la Molasse » péri-alpine (argiles conglomeratiques, sables mollassiques du miocène), puis lacustres, deltaïques et continentaux (argile siliceuse jaune, argile graveleuse bariolée verte et marron puis argile limoneuse jaune). A la fin du Miocène, le Pliocène voit les dépôts des argiles grises type bressan puis le comblement détritique généralisé par des matériaux alpins (cailloutis argileux plio-villafranchien). Un réseau hydrographique s'installe alors, précurseur de l'actuel, pour façonner le relief lyonnais. Au Quaternaire, une calotte glaciaire recouvre le massif alpin. Plusieurs pulsations de cet inlandis atteignent la région lyonnaise jusqu'à l'ouest de la vallée du Rhône et au pied des reliefs centraliens, laissant au passage des sédiments qui figent la structure des reliefs précédents (moraines caillouteuses et argileuses à bloc, argiles). Au retrait glaciaire, des dépôts éoliens (loess et lehm) saupoudrent moraines et reliefs périphériques tandis que l'érosion fluviale façonne le relief actuel. C'est alors que la Saône creuse un méandre entre la colline de Croix-Rousse de celle de Fourvière et que le Rhône étale à l'Est ses alluvions. Des colluvions morainiques se répandent sur les versants. La fraction argileuse de ces différentes formations a fait l'objet d'une analyse minéralogique et d'une spécification géotechnique (Vinet et al., 2010).

Bien que très proches, les deux collines présentent quelques différences dans leur constitution géologique. Celle de Fourvière (altitude 300m NGF) possède une ossature cristallophyllienne plus discrète tandis que les matériaux pliocènes et la crête morainique sont plus développés. La colline de la Croix-Rousse (altitude 250 m NGF) forme un plateau morainique soutenu à l'ouest par des affleurements de socle et constitué à l'est par des matériaux miocènes qui se développent en profondeur sur la vallée du Rhône suivant la dynamique du fossé d'effondrement. La figure 1 présente en parallèle la géologie des deux collines.

2.2. Typologie des risques géotechniques

De par leurs natures géologiques, les sols des balmes lyonnaises sont exposés à des risques importants de déséquilibre. Par exemple, les formations détritiques argileuses et non consolidées peuvent occasionner effondrements et glissements de terrain. La présence d'eau circulant en grande quantité dans les argiles ou s'infiltrant dans les failles et diaclases du socle peut aussi être dangereuse (fluage, éboulement rocheux).

FOURVIERE

CROIX ROUSSE

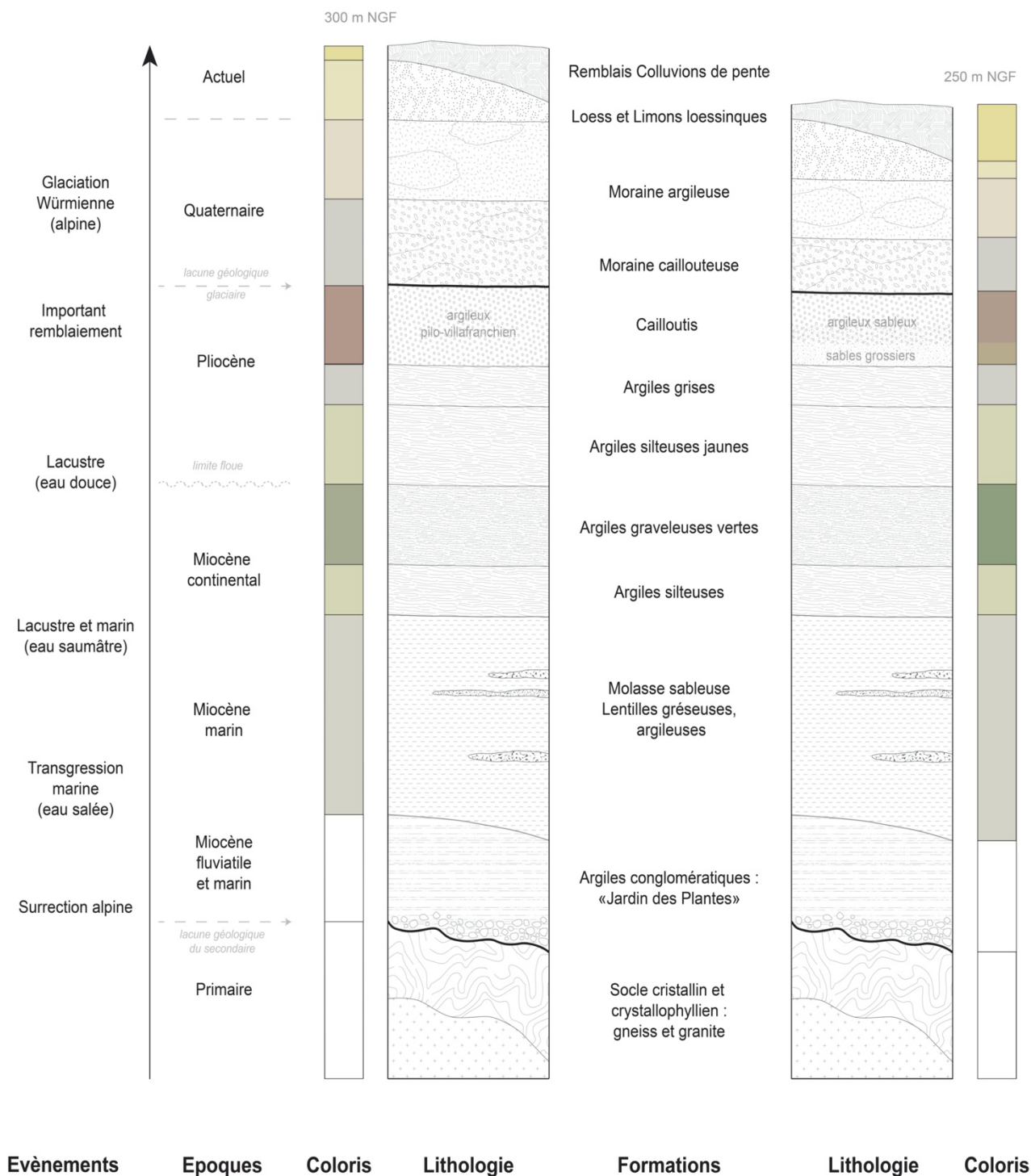


Figure 1. Coupe géologique des collines de Fourvière et Croix-Rousse.

De fortes précipitations inhabituelles peuvent amener les terrains à leur point de rupture en s'infiltrant et s'accumulant entre des couches plus ou moins perméables, provoquant ainsi de fortes pressions interstitielles (glissement et coulée boueuse). Enfin, tous les aménagements résultants de l'activité humaine (retouches topographiques, constructions d'ouvrage, percement de galeries...) entraînent également des risques d'accident. Les cavités artificielles formant de longs réseaux sous les collines peuvent menacer de s'écrouler si elles ne sont pas correctement entretenues (affaissement et fontis en surface). De même, les installations hydrauliques plus récentes, comme des canalisations d'eau peuvent rompre en vieillissant (coulées boueuses). Des ouvrages de soutènement, voire simplement de parement, mal dimensionnés et mal mis en œuvre au cours des siècles impactent aussi grandement l'équilibre des balmes (chute de mur et ruine de construction). La commune de Lyon s'est dotée d'une cartographie des risques géotechniques en 1982, complétée en 1994, sous l'égide de la commission des Balmes.

Ces aléas culminent pour le XX^{ème} siècle avec la catastrophe de Fourvière (1930) - 40 morts, Caluire (1932) - 42 morts et l'effondrement du cours d'Herbouville (1977) - 3 morts. Puis interviennent les coulées boueuses du chemin de Montauban (1979) et de l'observance (2013) (Pothier et al. 2016).

3. Apport des chantiers récents

3.1. Doublement du Tunnel de la Croix Rousse

Le doublement du tunnel pour des raisons de sécurité a entraîné des reconnaissances préalables et des observations en cours de percement (2011-2013) qui ont permis de préciser, pour le substratum, l'importance des intrusions granitiques au sein du massif gneissique, et de repérer des secteurs altérés sous la colline ainsi qu'une faille caractérisée à 1210-18 m depuis la tête Ouest. Les sections d'attaques côté Est ont montré l'érosion quaternaire des sédiments tertiaires (ravinement des sables molassiques par des chenaux caillouteux) qui est de nature à fragiliser cette zone en profondeur. On note néanmoins que lors du percement de cette tête de tunnel à l'excavatrice, le tassement mesuré à l'aplomb a été limité à 7 mm. Toujours à partir de l'Est, à 60m de l'entrée, le chantier entre dans le granite dont le toit s'élève progressivement, accompagné dans cette montée par les matériaux rubéfiés et fossilifères du Miocène littoral qui marquent la transgression finale de la mer de la Molasse sur le rivage centralien. On note également que le toit du socle plonge vers le Nord, trace d'une topographie pré miocène. A partir de 250m depuis l'entrée Est, la section d'attaque est plein diamètre dans le socle qui progresse vers sa cote maximale de 200m atteinte d'après sondages à 700m environ depuis l'Est. Ce chantier a recoupé, toujours à l'Est deux rameaux d'un célèbre réseau de galeries souterraines appelé "les arêtes de poissons". Une reconnaissance archéologique complète s'en est suivie. Côté Saône, le tunnel s'enfonce dans des sables fins avant de pénétrer rapidement dans le gneiss qui est la nature du socle dans cette partie de la colline.

L'examen des données de ce chantier confirme les connaissances tirées du tunnel précédent mais en apportant des caractéristiques géotechniques et géologiques rafraichies et transposables dans le proche environnement de l'ouvrage pour les analyses de la stabilité du secteur.

3.2. Coulée boueuse de l'Observance - Conservatoire CNSMD

Déclenchée par une rupture de canalisation sous la chaussée de l'Observance (2013), une coulée boueuse a pris naissance dans les cailloutis plio-villafranchiens et raviné les limons loessiques à travers les jardins du Conservatoire. Ajouté au sinistre similaire du Chemin de

Montauban de 1999 et à d'autres incidents très proches en 1978, cet accident a focalisé l'attention sur la nécessité d'un contrôle des canalisations d'amenée d'eau dans les zones fortement pentues. Sur les versants abrupts, elles sont atteintes par la corrosion, du fait d'une mise en place peu précautionneuse ou à l'impact additionné de minuscules mouvements gravitaires sous chaussée avec le temps. Sur le plan géologique, la cicatrice d'arrachement a mis en évidence une zone de contact anormal entre les argiles miocènes et les cailloutis qui les ravinent. Cette observation renseigne sur l'histoire géologique du promontoire de Loyasse avant son façonnage post-glaciaire par la Saône.

3.3. Restructuration du site de l'Antiquaille et balme sous Fourvière.

L'hôpital de l'Antiquaille est délocalisé et son site, depuis 2005, est totalement urbanisé par de nouveaux projets. Il s'ensuit des campagnes de sondages, des études de sols, et des reconnaissances archéologiques. Ces dernières sont très intéressantes car elles renseignent sur l'interface entre la géologie en place et les couches anthropisées. C'est ainsi que la portion du plateau de Fourvière occupée par l'hôpital de l'Antiquaille avait été préalablement, comme son nom le suggère, urbanisée par les Romains. Les fouilles montrent en partie Ouest l'inscription des fondations romaines dans la frange de loess et lehm (loess décalcifié) qui tapisse la moraine argileuse à blocs, et dans le toit de ces moraines elles-mêmes. Cependant, plus on approche de la balme, à l'Est, plus les remaniements sont importants : le site avait été aménagé en plate-forme dès l'Antiquité. Donc les opérations actuelles ont à se préoccuper de la grande hétérogénéité des sols.

En complément des données fournies sur le rebord du plateau par l'aménagement du site de l'Antiquaille, des travaux en galeries et des investigations suite à l'apparition d'un fontis (2015) dans les Jardins du Rosaire, balme sous Fourvière, ont confirmé la structure de ce versant qui est entaillé dans l'ensemble des sédiments marins et continentaux du Miocène. Ce squelette géologique est largement tapissé par les colluvions morainiques, mais aussi par plusieurs mètres de matériaux anthropiques. Latéralement, le site de l'hôtel Villa Florentine avait livré de nombreux blocs erratiques et un contact de ravinement des argiles limoneuses miocène par la moraine argileuse. Le schéma ossature miocène et colluvions morainiques et anthropiques est donc à vérifier point par point. Ces complexités de détails peuvent être à l'origine de comportements différentiels du sous-sol et de circulations d'eau préférentielles préjudiciables.

4. Des données à la modalisation.

4.1. Traitement statistique des sondages géologiques

Une base de données a été créée dans les années 1990 par le Service Constructions et Balmes de la ville de Lyon afin de répertorier toutes les études de sol, plans, notices de calcul, des différents dossiers et affaires traités liés à la construction ou l'aménagement sur les zones à risques de balmes. Dans cette base de données ont été aussi regroupés des sondages géologiques carottés et destructifs avec prélèvements se trouvant dans ces dossiers au fil des années. Ils sont implantés sur la cartographie en X et Y avec les coordonnées NGF et en Z avec les cotes altimétriques fournies par l'étude de sol. Fin 2017, la base de données comptait plus de 700 sondages sur l'ensemble des balmes. Ces données sont utiles aux agents de la Ville de Lyon pour connaître la géologie des zones à risques lors de projets ou d'accidents. Un traitement statistique de ces données a été effectué. Sur la zone de la colline de Fourvière les résultats montrent qu'en moyenne 48 % des sondages présentent deux couches géologiques et 29 % trois couches. De plus, 80% des sondages contiennent des remblais.

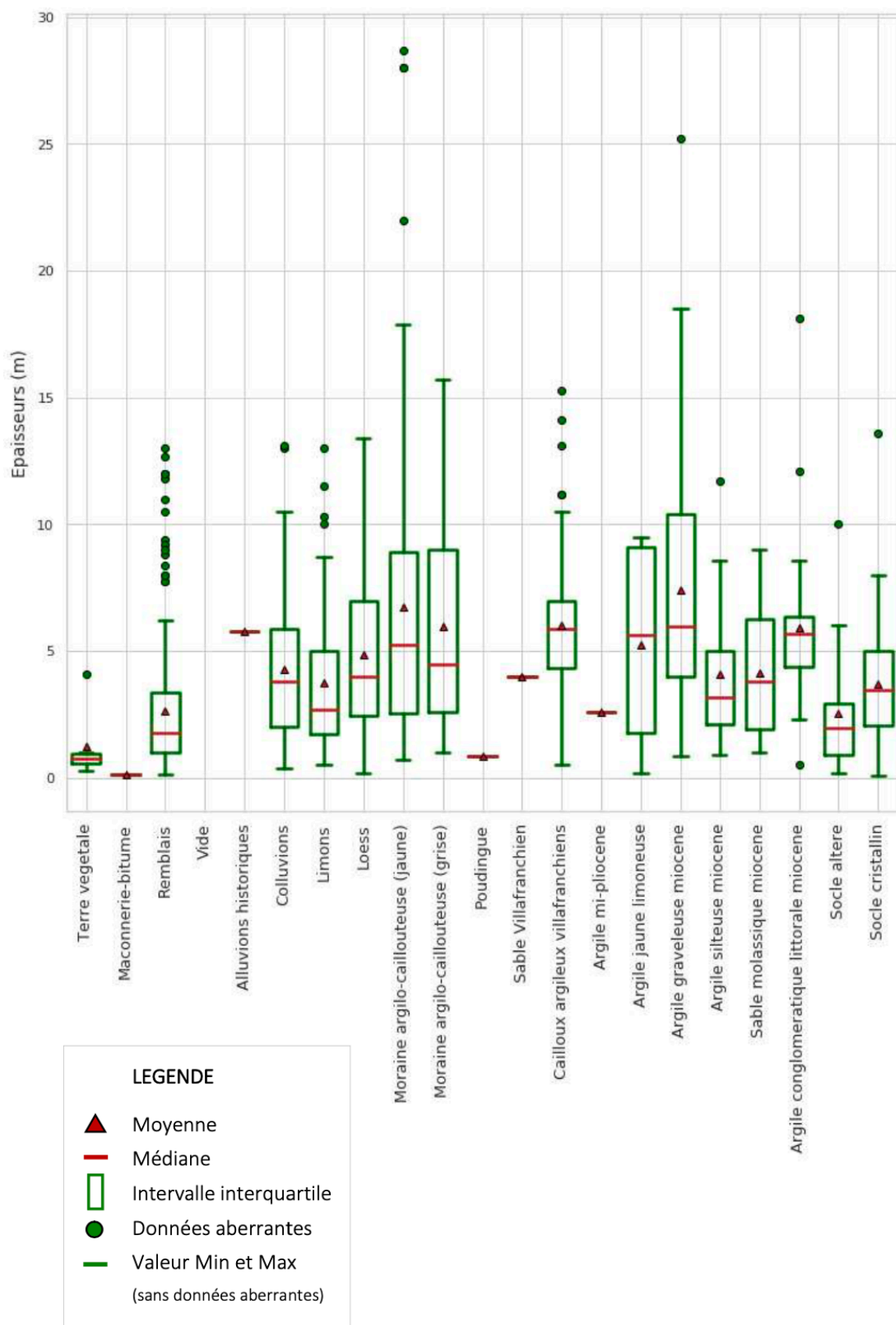
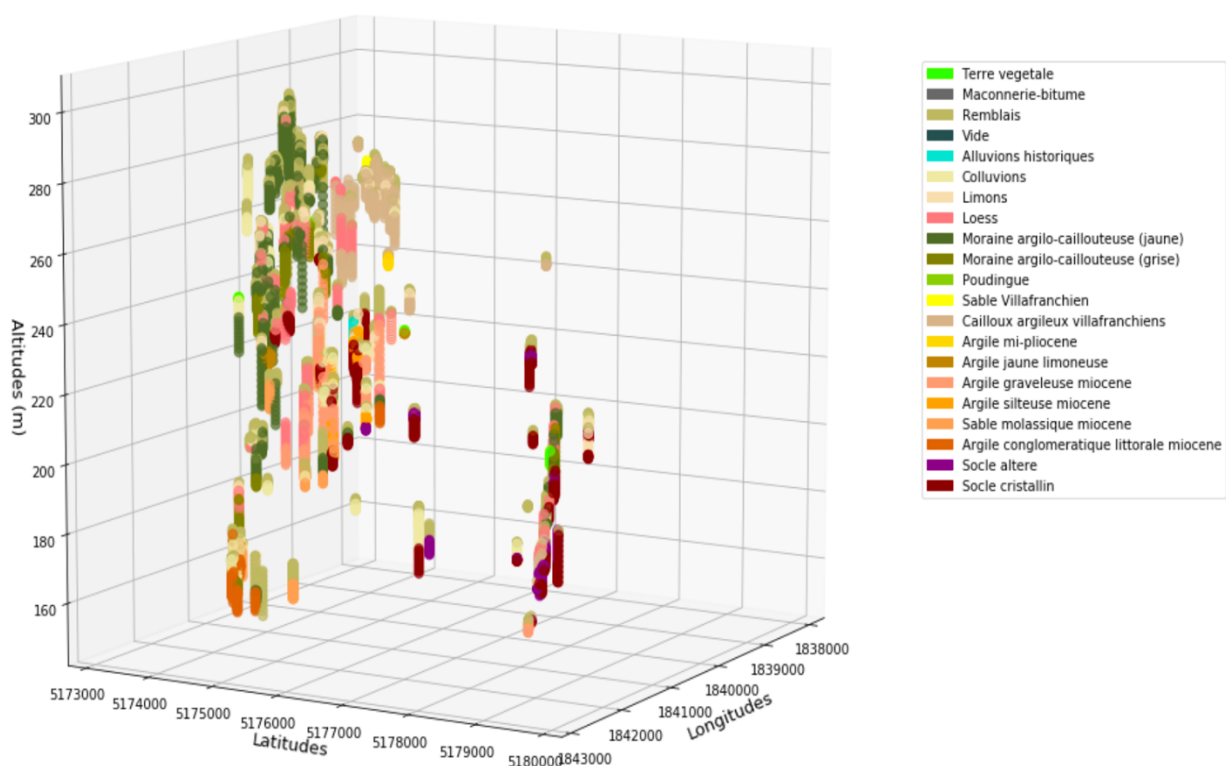


Figure 2. Box-Plot répartissant les épaisseurs de chaque couche rencontrée sur la colline de Fourvière

Les sondages font en moyenne 10.8 m de profondeur avec un écart-type de 6,5m ce qui s'explique par le fait qu'une grande majorité des affaires traitées relève de travaux d'entretien de parcelle, des clôtures, des aménagements extérieurs, de petites constructions neuves ou de piscines. Ce type de projet entraîne une reconnaissance des sols superficiels par des sondages peu profonds. La moyenne et l'écart-type des épaisseurs des différentes couches rencontrées sont présentés Figure 2. Les valeurs des épaisseurs ne se concentrent pas autour de la valeur moyenne et présentent un écart-type étendu. Il apparaît un grand nombre de valeurs pouvant être considérées comme aberrantes à cause les remaniements topographiques anthropiques des remblais du site et l'existence de moraines glissées.



4.2. Vers une visualisation géologique 3D...

Les différents sondages géologiques de la colline de Fourvière complétés par les analyses statistiques de la géologie ont servi de base à une visualisation 3D présentée Figure 3. Les sondages sont représentés graphiquement dans l'espace 3D en matérialisant l'épaisseur apparente des couches en profondeur ainsi que la nature des contacts lithologiques. Les sondages étant de profondeurs différentes, des informations lithologiques sont

manquantes. Cependant, les analyses statistiques précédentes par secteurs d'homogénéité géologiques permettent de développer un modèle géologique 3D cohérent qui à terme sera un outil d'aide à la décision pour les acteurs de la construction et de l'aménagement publics et privés.

5. Conclusion.

Ces divers apports liés à des études de sol lors de projets d'urbanisme ou de sinistres affinent progressivement la connaissance de la géologie de Lyon. Il en ressort que les phases de comblement plio-villafranchien puis quaternaire glaciaire et leur dynamique d'installation puis de démantèlement partiel sont un rébus passionnant dont de nouvelles pièces apparaissent progressivement dans un schéma global inchangé pour l'heure. Les données archéologiques collectées lors de ces reconnaissances par le Service Archéologique Municipal ont pu être exploitées pour affiner la connaissance des matériaux de l'interface entre les couches anthropisées et les horizons géologiques en place. Le traitement statistique de toutes ces données progresse vers la constitution d'un modèle géologique 3D automatisé des secteurs à risques qui sera une nouvelle étape dans le maniement des informations utiles à la prévention des accidents géotechniques.

6. Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Prévention et Sécurité de la Ville de Lyon ; C. Pothier, et L. Vinet sont membres du LabEx IMU (ANR-10-LABX-0088) qui soutient également ce projet.

7. Références bibliographiques

- David L. (1967). formations glaciaires et fluvio-glaciaires de la région lyonnaise. Imprimeur-éditeur Département des sciences de la Terre, faculté des Sciences de Lyon, pp 60.
- Mandier P. (1987). le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire ; Revue de Géographie Alpine Année 1987 75-1 pp. 87-89
- Mongereau N. (2010). géologie de Lyon. Editions Lyonnaises d'Art et d'Histoire. 143 p.
- Pothier C., Vinet L., Bouillot N, Delvallee A., (2016). modèle de compréhension d'une coulée boueuse en site urbain, cas du conservatoire de Lyon. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, 6-8 juillet 2016, Nancy (France), pp. 1-8.
- Vinet L., Pothier-Elisei C., Emeriault F., (2010). les faux amis ou hétérogénéités géologique dans les formations détritiques de la région lyonnaise. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, 7-9 juillet 2010, Grenoble (France), pp. 1-8.
- 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 Laboratoire Géotechnique. Lyon : INSA de Lyon, pp 33