



HAL
open science

MODELE DE COMPREHENSION D'UNE COULEE BOUEUSE EN SITE URBAIN, CAS DU CONSERVATOIRE DE LYON.

Louis Vinet, Nicole Bouillod, Aurélie Delvallee, Catherine Pothier

► **To cite this version:**

Louis Vinet, Nicole Bouillod, Aurélie Delvallee, Catherine Pothier. MODELE DE COMPREHENSION D'UNE COULEE BOUEUSE EN SITE URBAIN, CAS DU CONSERVATOIRE DE LYON.. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur 2016 (JNGG 2016), Jul 2016, Nancy, France. hal-03212636

HAL Id: hal-03212636

<https://hal.science/hal-03212636v1>

Submitted on 29 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODELE DE COMPREHENSION D'UNE COULEE BOUEUSE EN SITE URBAIN, CAS DU CONSERVATOIRE DE LYON.

UNDERSTANDING MODEL OF MUDFLOW IN A URBAN SITE, CASE STUDY : CONSERVATORY OF LYON

Catherine Pothier¹, Louis Vinet¹, Nicole Bouillod² et Aurélie Delvallee¹

1 : Univ Lyon, INSA-Lyon, LGCIE - SMS ID, F-69621, France

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

RÉSUMÉ – Une importante coulée boueuse a dévalé en décembre 2013 les jardins du conservatoire de Lyon suite à une rupture de canalisation d'eau. Cet article a pour but de fournir une interprétation géologique de zone accidentée et de permettre une rétro-analyse des conditions de stabilité initiale et de déclenchement du mouvement ainsi que de présenter une modélisation numérique.

ABSTRACT – A major mudflow hurtled in december 2013 the gardens of the conservatory of Lyon due to a breakon water piping. This aims of the article are to provide geological interpretation of area and to allow on the one hand a back analysis of the initial conditions of stability and of the triggering the movement and on the other hand to present a numerical modeling.

1. Introduction

Les mouvements de terrains en site urbain posent le double problème de leur traitement et de leur prévisibilité. A propos d'une coulée boueuse survenue le 5 décembre 2013 sur le versant d'une colline dans la Ville de Lyon, cet article proposera un exposé des caractéristiques de ce mouvement. La cause immédiate du mouvement sera précisée ainsi que ses relations avec la géologie. Grâce aux données géotechniques de l'étude ils présenteront une rétro analyse du mouvement à l'aide du logiciel Geostab. Cette démarche permettra de visualiser les facteurs structurels de conditions de l'équilibre initial et de faire apparaître l'action du facteur déclenchant. A l'aide de ces éléments les auteurs discuteront du caractère symptomatique de ce type de mouvement. Enfin une réflexion sera proposée sur la base de la typologie du versant, d'accidents antérieurs pour déboucher sur des conduites de prévention à préconiser. Ce travail s'inscrit dans un partenariat entre le Groupe de Recherche en Géomécanique de l'INSA de Lyon et la Division Prévention et Sécurité de la Ville de LYON au sein d'une structure consultative créée par cette Division, la Commission des Balmes.

2. Description du mouvement de terrain

2.1. Topographie et genèse du relief

Le site de l'Observance s'inscrit sur le flanc est du promontoire de Loyasse qui est l'amortissement nord de la colline de Fourvière. Ce promontoire culmine à cet endroit à 253m environ et le niveau aménagé des rives de Saône est à 171m, soit un versant de 80 mètres. L'intégralité du secteur est classée en ZRG1, Zone à Risque Géotechnique Fort, au PLU de la Ville de Lyon. La gestion des accidents liés au sol et au sous-sol relève d'un encadrement par la Division Prévention et Sécurité de la Municipalité.

Après avoir longé la plaine de Vaise en venant du nord, la Saône s'écoule à l'altitude de 160 mètres et pénètre dans une vallée étroite entre les collines de Fourvière, rive droite, 295 mètres d'altitude, et de la Croix Rousse rive gauche, 250 mètres. Ce défilé résulte d'un enfoncement épigénique préglaciaire du cours de la Saône réactivé lors du retrait des glaciers. Le creusement récent de cette vallée donne des versants pentus dont la morphologie traduit des étapes laborieuses. Le tracé de ces versants, en plan, montre une succession d'éperons rocheux et de concavités semblables à des criques littorales. En profil les éperons déterminent des reliefs à double pente dont la base est intégralement rocheuse et escarpée tandis que le profil des zones concaves présentent une pente plus uniforme, façonnée dans des matériaux alluvionnaires peu résistants. C'est dans une de ces concavités au relief assez uniformément pentu que s'est produit le mouvement de terrain, sur la moitié inférieur du relief. Le mouvement de terrain concerne pratiquement les deux tiers inférieurs du versant, entre les cotes 178 et 222m pour une pente moyenne de 40° (figure 1). Le 5 décembre 2013 au soir est survenu, dans le 9ème arrondissement de Lyon, un important mouvement de terrain qui s'est déployé le long du versant d'une colline de la ville. Il démarre sous la chaussée de la Montée de L'Observance, cote 222m, et traverse les jardins du Conservatoire National de Musique et de Danse situé quai Chauveau en rive gauche de la Saône, pour s'amortir sur une terrasse à l'altitude de 178, 88m, soit un dénivelé de 53m pour 84 mètres de parcours horizontal.

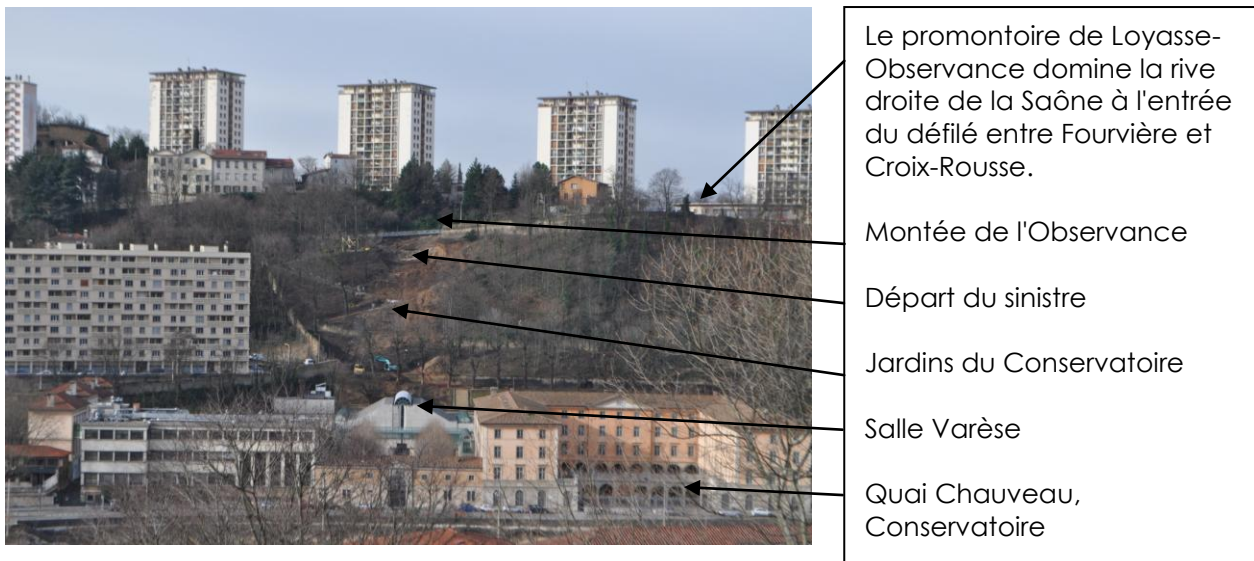


Figure 1. Vue de l'accident de face.

2.3. Géologie

Dans ce secteur de la Ville de Lyon, les reliefs ont une double nature géologique. Leur substratum est granito gneissique jusqu'à une altitude moyenne de 200 à 210 mètres puis un empilement d'alluvions sableuses, argilo sableuses, caillouteuses à argilo caillouteuses et limoneuses d'âges miocènes, villafranchien, puis quaternaire. Sur ces derniers reliefs du Massif Central hercynien, la mer miocène a installé son littoral et déposé ses alluvions avant de se retirer et laisser place à des matériaux continentaux, de type deltaïque ou lacustre. Un comblement pliocène argilo caillouteux est ensuite survenu. Un réseau hydrographique s'est alors installé. Puis les glaciers alpins du Quaternaire ont déposé leurs moraines argilo caillouteuses et caillouteuses. Après leur dernier retrait, les grands cours d'eau en provenance du nord et de l'est ont raviné ces matériaux pour installer leur lit tandis que les loess, témoins d'un aride climat post glaciaire, furent les derniers dépôts sur les reliefs.

L'observation de la cicatrice périphérique du sinistre, ainsi que la reconnaissance géologique et surtout les terrassements pratiqués dans le cadre de la réhabilitation du lieu montreront que, au droit de l'arrachement, le socle gneissique est à la cote 210, surmonté par des argiles graveleuses miocènes ravinées vers le nord par des cailloutis morainiques partiellement consolidés en poudingues, eux-mêmes recouverts par des loess qui s'étalent en colluvions le long du versant. La figure 2 présente schématiquement la géologie du promontoire. Le versant oriental montre un double couvert sédimentaire sur le socle : des argiles miocènes en place et glissées recouvertes par des limons loessiques en place, en remblais et colluvionnés. Cette disposition aura un véritable effet toboggan : les matériaux superficiels, très hydro-sensibles, coulent sur les argiles moins rapidement imprégnées. Une particularité de la propriété du Conservatoire, ancien couvent du 16ème siècle, est de comporter deux réseaux de galeries souterraines de captage d'eau, l'une en partie supérieure à la cote 201, une plus basse à la cote 186. La plus haute est maçonnée dans sa première moitié puis façonnée à même la roche gneissique avec une terminaison en T au fond, à l'aplomb de l'effondrement de la chaussée, à 22 mètres de profondeur, sans désordres intermédiaires liés. Elle draine des eaux percolant à travers le gneiss fracturé et dont le litage est très redressé avec un aval pendage de 70° environ.

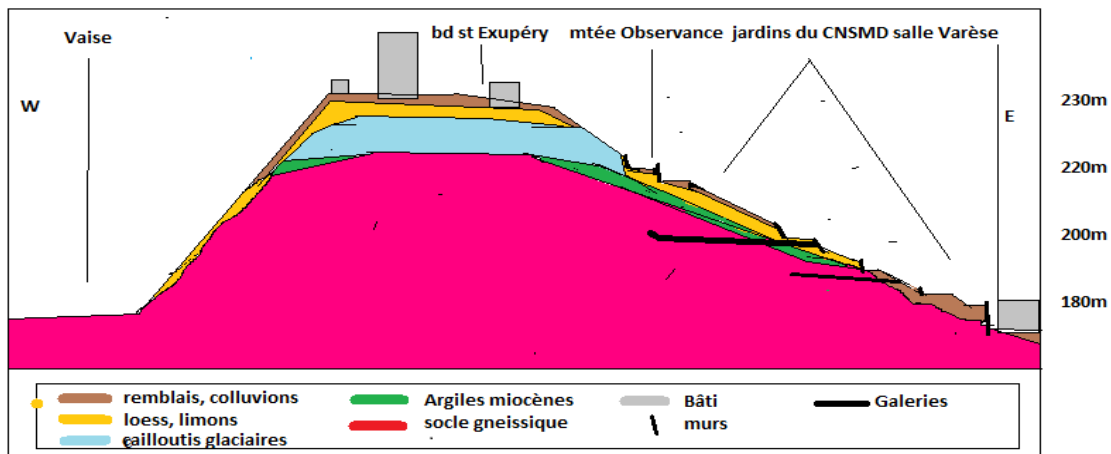
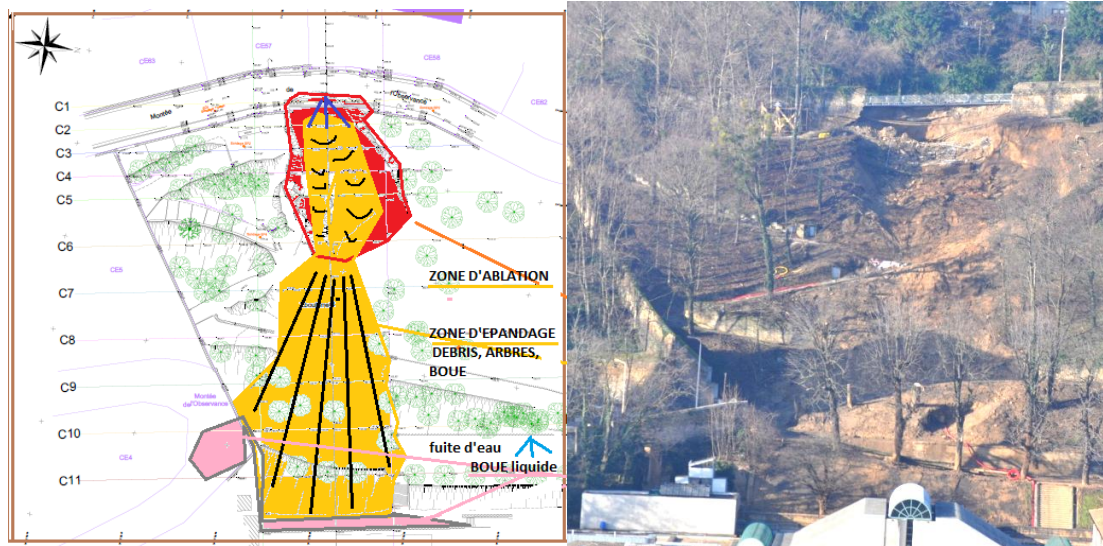


Figure 2. Schéma géologique de la zone.

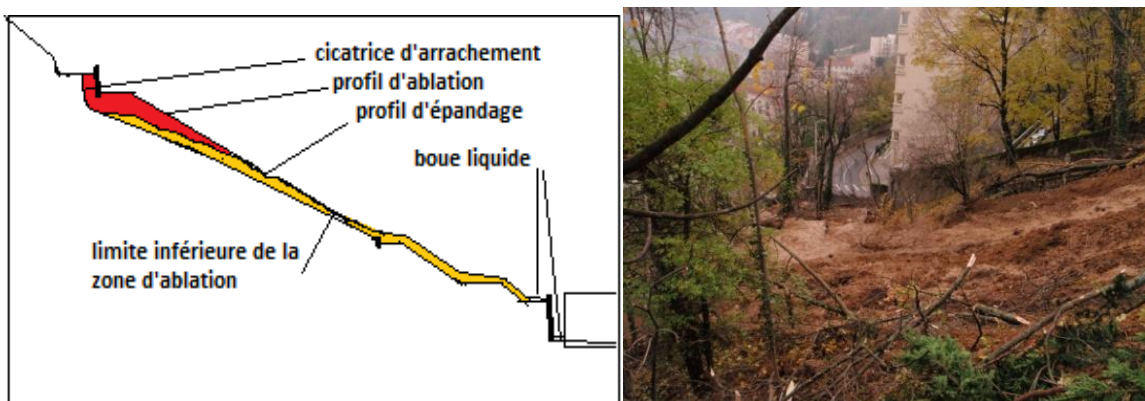
3. Description du mouvement de terrain.

Le 5 décembre 2013 vers 21h les pompiers sont appelés pour une rupture de chaussée le long de la montée de l'Observance. Ils découvrent un cratère de 4 à 5 mètres de profondeur sur 8 m de longueur et 2 à 3 mètres de largeur sur la moitié est de la chaussée au droit du n° 50. Ils constatent une fuite sur une canalisation d'amenée d'eau potable dont les deux extrémités sont encore au contact malgré la rupture et le ravinement. La formation de ce cratère s'est accompagnée d'un vaste mouvement de terrain qui emporte les fondations d'un mur de clôture et soutènement à l'aval de la chaussée, ravine les jardins situés en contrebas et va s'amortir et s'étaler sur les terrasses inférieures au dessus de la salle Varèse, salle de concert du Conservatoire, et contre un portail métallique en limite de voirie publique qui résiste à la poussée. L'état hydrique des matériaux, leur profond décohéssionnement et leur nature limoneuse permet de qualifier ce mouvement de coulée boueuse. En partie inférieure, c'est véritablement une boue liquide qui s'étale sur les terrasses ou s'écoule vers la chaussée à travers le portail. Les figures 3.a et 3b. présentent le schéma de la coulée sur plan et une vue depuis le versant

d'en face après déblaiement des matériaux étalés dans la zone d'épandage jusqu'à l'amont de la salle Varèse. Les figures 4.a et 4b présentent respectivement la topographie d'après sinistre avec en rouge, la masse arrachée et en jaune la masse répandue, qui colmate une partie de la cicatrice et s'étend sur la moitié inférieure des jardins une vue de côté du sinistre.



(a) (b)
Figure 3a. Schéma et 3b.vue de face de la coulée.



(a) (b)
Figure 4a. Schéma et 4b. Vue de côté de la coulée.

Les photographies 5a. et 5b. montrent l'étalement de terres sur le dernier talus et épandage de boue sur la terrasse inférieure et la projection sur le bâtiment en contrebas et (b) l'amoncellement de terres et arbres sur la terrasse intermédiaire. Les vieux marronniers à gauche ont joué un rôle de frein non négligeable. Eu égard à sa dimension non négligeable en contexte urbain - 50 mètres de longueur et 10 à 20 de largeur dans sa zone d'ablation, soit environ 4800 mètres cubes, et 40 mètres de longueur sur 33 pour la surface recouverte, ce sinistre ne fut pas très destructeur, en raison de la nature des terrains traversés. Les photographies 6a. 6b présentent la cicatrice d'arrachement.



(a) (b)
Figure 5a. et 5b. coulée boueuse.

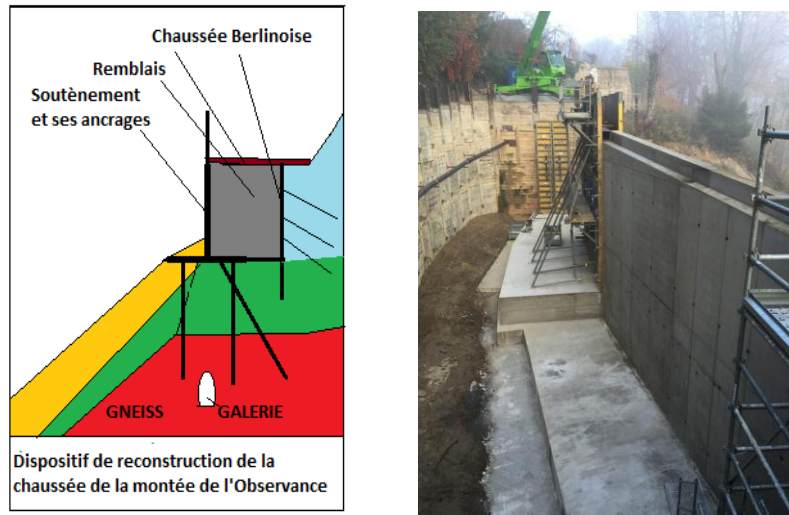


(a) (b)
Figure 6a et 6b . Vue de la cicatrice.

Outre les interdictions mentionnées et la coupure de la circulation dans le segment de la montée, les mesures d'urgence suivantes ont été décidées : tamponnage de l'égout dans la montée, moraine de détournement des eaux pluviales sur la chaussée, consolidation du portail sur voirie, abattage d'arbres et débroussaillage à la périphérie des cicatrices amont et latérales, butonnage du mur amont, captage et détournement des eaux des réseaux de galerie pour éviter une imprégnation de la masse glissée, pompage de la boue. Des mesures de topographie fine sur le mur aval et les murs amont démarrent.

Les acteurs du traitement du sinistre sont le Grand Lyon pour la voirie, l'assainissement et le soutènement avec sa société fermière Véolia pour l'adduction d'eau et le CNSMD. La Ville de LYON use de son pouvoir de police sur les terrains déclarés "à risques Géotechniques forts". Par le biais de la Division Prévention et Sécurité et de la Commission des Balmes, elle réunit, sur le terrain ou en séance de travail, les acteurs et leurs entreprises pour aboutir au traitement définitif de l'accident après avoir piloté les mesures d'urgence. La conduite de ce programme passe par une reconnaissance géologique et géotechnique du site, sous la conduite du CEBTP, entreprise adjudicataire de la Ville de Lyon. Les caractéristiques géotechniques des terrains proches du mouvement permettent d'engager les travaux de fonçage des fiches d'une paroi berlinoise qui va assurer la mise en sécurité de l'amont du site, selon le schéma présenté ci-après. Ce fonçage a nécessité l'intervention d'un engin doté d'un bras télescopique très long en raison d'un manque d'accès sécurisé au centre de la cicatrice. Cette étape a permis la réintégration des habitants du n°40 et de la remise en service de la salle Varèse. A ce

jour, la reconstitution de la chaussée de la montée de l'Observance et celle du mur de clôture le long de la voie, au dessus du soutènement, sont acquises. La mise en sécurité de la zone amont est terminée. Le remodelage des jardins va pouvoir commencer.



(a) (b)
Figure 7. Reconstruction du soutènement de la voirie (a) schéma et (b) photographie.

A ce jour, la reconstitution de la chaussée de la montée de l'Observance et la reconstruction du mur de clôture le long de la voie, au dessus du soutènement, sont acquises. La mise en sécurité de la zone amont est terminée et donc le remodelage des jardins va pouvoir commencer.

4. Rétro analyse du déclenchement de la coulée.

Les sondages géologiques, carottés ou destructifs, ainsi que les essais de laboratoires sur échantillons intacts, réalisés par le CEBTP aux abords de la coulée ont permis de bien connaître les propriétés mécaniques des terrains concernés résumées dans le tableau 1. Les observations des cicatrices amont et latérales du mouvement nous ont permis de bien identifier la nature de ces terrains et de situer les zones de remblai. A l'aide de ces éléments, des calculs de stabilités générales sont réalisés avec le logiciel GOESTAB qui permet d'obtenir le coefficient de sécurité de la zone. La surface de rupture telle que nous avons pu la concevoir en fonction de la nature des terrains et des entrée-sortie de la masse déplacée est créée par des plans définis point par point. Le choix de la méthode de calcul se porte sur celle des perturbations sans coefficient pondérateur. Dans une première étape, nous avons pu reconstituer sous GEOSTAB les conditions topographiques et géotechniques initiales et vérifier la stabilité de la zone avant l'accident. L'horizon géologique noté 5 est alors identique à celui noté 3 en terme de nature et de paramètres géotechnique (figure 8). Le coefficient de sécurité de la zone est dans cette configuration de 1.64. Puis, en fonction de la nature des terrains déplacés, limons et colluvions limoneuses, et de la position de la rupture de canalisation, nous avons simulé une forte imbibition de ces terrains en profondeur en créant un horizon noté 5 pour vérifier les conditions de déséquilibre du versant. Les propriétés mécaniques, cohésion et angle de frottement de cet horizon sont alors modifiées (horizon 5, tableau I). Le calcul de stabilité est refait dans cette configuration, et indique un coefficient de sécurité de 0.89, synonyme de l'instabilité du versant. La variation du coefficient de sécurité avant et après à la rupture de la canalisation et la saturation du terrain avoisinant montre bien l'instabilité

du versant post-rupture. Etant donné que le débit de fuite n'est pas immédiatement maximal, la durée d'imbibition est probablement assez longue pour être décelée grâce à un équipement adéquat de capteurs de perte de pression sur le réseau.

Tableau 1. Propriétés mécaniques de sols

horizon géologique (n° sur figure 8)	densité en place/saturée	cohésion (KPa)	angle de frottement (°)
socle gnessique (1)	2.2 / 2.3	50	40
argiles du miocène (2)	1.8 / 2.0	10	29
loess, limon (3)	1.7 / 2.0	6	30
cailloutis glaciaires (4)	2.0 / 2.1	10	30
argiles saturées (5)	2.0/2.0	0	20

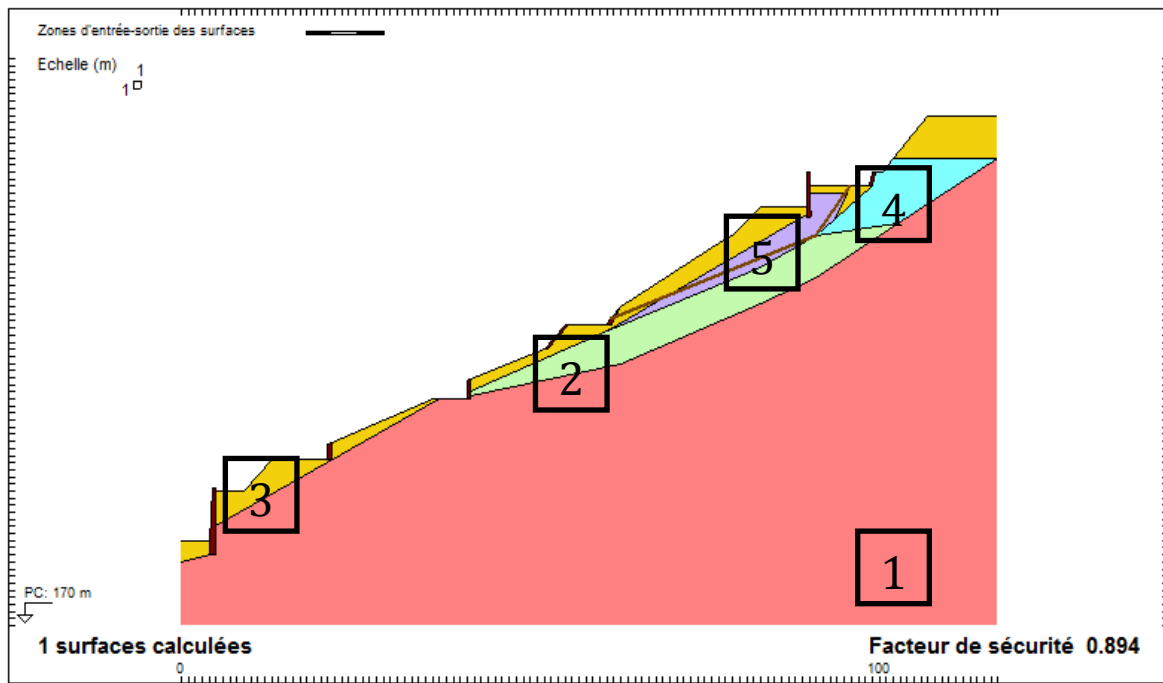


Figure 8. Modélisation du glissement de terrain.

5. Caractère typologique de cet accident

Ce n'est pas la première fois que ce type d'accident se produit sur les Balmes Lyonnaises, et spécialement dans ce secteur. En 1987 et 1988, des fuites sur cette même canalisation cinquante mètres plus au nord avaient entraîné un petit éboulement sous chaussée limité aux parties hautes du parc, et une coulée boueuse de faible ampleur mais préoccupante jusqu'à la terrasse inférieure des jardins. En décembre 1999, un accident tout à fait similaire à celui de 2013 est survenu chemin de Montauban : casse d'une canalisation, coulée boueuse volumineuse. Ces coïncidences n'en sont pas : dans un versant très pentu remodelé par l'homme sur un manteau colluvionnaire, des voiries en déblai-remblai abritent des réseaux divers et supportent un trafic automobile en augmentation. Cette situation n'est pas rare.

Un tel contexte doit impérativement conduire à une gestion très anticipatrice des réseaux. En 1988, à la suite du deuxième incident dans le haut de la montée de l'Observance, la Commission des Balmes avait attiré l'attention des gestionnaires de réseau sur ce point sans succès. L'analyse des canalisations rompues montre tantôt une

corrosion accélérée, tantôt une rupture franche typique de la fonte rigide sous sollicitation mécanique. Quelque soit la manière dont intervient la vétusté qui affecte l'ensemble canalisations/terrain, il est capital de la prévenir et de renouveler préférentiellement les réseaux qui sont dans une configuration à risque. Cette priorité avait été notée par Malandain dans sa thèse (Malandain 1999). Une solution durable passera par une conception intégrée de la pose des réseaux sous chaussée. Cette modalité technique peine à voir le jour.

6. Conclusion

La coulée boueuse de la montée de l'Observance et des jardins du CNSMD de Lyon est un accident exemplaire dans le domaine du Risque Géotechnique en site urbain. La géologie et la pluviométrie ne sont pas ici en cause. Cet accident nous a permis de décortiquer la géologie du versant et de l'exploiter pour une modélisation de ses conditions d'équilibre et déséquilibre. La casse d'une conduite de 100 millimètres de diamètre ne peut qu'aboutir à l'instabilité d'un versant tapissé de colluvions limoneuses éminemment sensibles à l'eau et produire rapidement une coulée boueuse. La rétro analyse sous GEOSTAB de l'événement tel qu'il a été décrit précise ses conditions d'occurrences. Par contre ce type de configuration n'est pas isolé à Lyon et la Commission des Balmes ne manque pas de tirer les enseignements de cet accident pour réitérer les messages de prévention pour une auscultation des voiries et soutènements d'une part et pour une gestion des réseaux précautionneuse sur le plan d'une auscultation poussée, de la pose de dispositifs de détection automatique de fuite et surtout d'un renouvellement prioritaire et adapté des réseaux dans les zones définies à risque géotechnique sur le territoire. Les auteurs préconisent le recours à des techniques d'imagerie radar à haute résolution pour la détection des mouvements infimes, générateurs de tension, et donc de rupture de structures, qui pourraient exister sur ces zones.

7. Remerciements

Les auteurs remercient la Division Prévention et Sécurité de la Ville de Lyon pour l'étude de ce cas. C. Pothier et L. Vinet sont membres du LabEx IMU (ANR-10-LABX-0088).

8. Références bibliographiques

Malandain J. (1999). *Modélisation de l'état de santé des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance: étude du patrimoine de l'agglomération de Lyon*. Thèse. Villeurbanne : Institut national des Sciences Appliquées de Lyon.

Mongereau N. (2010). *Géologie de Lyon*. Editions Lyonnaises d'Art et d'Histoire. 143 p.

Vinet L., Pothier-Elisei C., Emeriault F., (2010) les faux amis ou hétérogénéités géologiques dans les formations détritiques de la région lyonnaise. *JNGG 2010*

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 331.