



LES “ FAUX AMIS ” OU HETEROGENEITES GEOLOGIQUES DANS LES FORMATIONS DETRITIQUES DE LA REGION LYONNAISE

Louis Vinet, Catherine Pothier, Fabrice Emeriault

► To cite this version:

Louis Vinet, Catherine Pothier, Fabrice Emeriault. LES “ FAUX AMIS ” OU HETEROGENEITES GEOLOGIQUES DANS LES FORMATIONS DETRITIQUES DE LA REGION LYONNAISE. Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur (JNGG 2010), Jul 2010, Grenoble, France. pp.189-196. <hal-03294997>

HAL Id: hal-03294997

<https://hal.science/hal-03294997v1>

Submitted on 21 Jul 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.



HAL Authorization

LES « FAUX AMIS » OU HETEROGENEITES GEOLOGIQUES DANS LES FORMATIONS DETRITIQUES DE LA REGION LYONNAISE

GEOLOGIC FALSE FRIENDS OR HETEROGENEITY IN THE DETRITIC FORMATIONS OF LYON REGION

Louis VINET ¹, Catherine. POTHIER-ELISEI ¹, Fabrice. EMERIAULT ¹

¹ *Université de Lyon, INSA-Lyon, LGCIE, Villeurbanne, France*

RÉSUMÉ - Plusieurs formations géologiques lyonnaises d'origine détritique sont analysées du point de vue de la minéralogie et de l'identification géotechnique. Cet article contribue à leur connaissance et présente une discussion sur leur parenté minéralogique. Ses conclusions poussent à revoir les dénominations classiquement utilisées et peuvent faire apparaître ces formations comme des faux-amis.

ABSTRACT – Several geological formations of Lyon from detrital origin are analyzed in terms of mineralogy and geotechnical identification. This article contributes to their knowledge and presents a discussion on their mineralogical family. These conclusions allow to reconsidering several usual geotechnical denomination of these formations (appearing then as false friends).

1. Introduction

Les collines de la Ville de Lyon, dont les plus connues sont la Croix-Rousse au nord de la ville et Fourvière à l'ouest, sont le siège d'instabilités liées à l'équilibre précaire des versants urbanisés ainsi qu'à des structures souterraines du type galeries. La géologie de ces reliefs se caractérise par l'empilement, sur un socle cristallophyllien primaire, de plusieurs formations détritiques tertiaires et quaternaires qui sont des sols fins, soit dans leur intégralité, soit pour une part de leurs constituants. Le but de ce programme est de mieux définir ces formations et d'établir une certaine prévisibilité de leurs comportements pour des opérations de génie civil ainsi que de mieux comprendre les sinistres dans lesquels ils ont pu être impliqués, tels que glissement, tassement, gonflement ou effondrement (Vinet 1991, Thierry et Vinet 2003, Emeriault et Vinet 2003).

Le présent article fait état de l'avancement de ce programme d'étude par la présentation des résultats obtenus pour quelques formations géologiques régionales. Outre leur intérêt géotechnique, les données recueillies sont une contribution à la connaissance des sédiments argileux de la région lyonnaise et se prêtent à une discussion sur leurs parentés minéralogiques. Il s'avère que les argiles impliquées ont des natures lithologiques différentes mais des comportements proches. La dénomination de ces formations prête à controverse pour ces « faux amis » géologiques.

2. Contexte géologique de la Ville de Lyon

Les formations géologiques, retenues dans notre étude, sont décrites figure 1. La superposition stratigraphique montre pour le site lyonnais un *substratum cristallophyllien* primaire sur lequel repose un ensemble miocène littoral, marin puis

continental correspondant au comblement d'un fossé d'effondrement apparu à l'Oligocène. Les reliefs côtiers, situés à l'ouest, sont les dernières hauteurs du Massif Central Français. Ce comblement miocène met en place des formations géologiques argilo-caillouteuses de caractère littoral, appelées « *formation du Jardin des Plantes* ». Leur succèdent, en biseau sur la ligne de côte, les *sables mollassiques de l'Helvétien*, sables fins, micacés, avec des lentilles de sables feldspathiques. Puis viennent des *argiles limoneuses, graveleuses et silteuses du Tortonien* qui ponctuent ce comblement dans une ambiance continentale. Le Pliocène est un nouvel épisode de comblement avec le lac Bressan et ses cailloutis, sables et argiles. Celles-ci sont présentes sur la Croix-Rousse, accompagnées de sables, tandis que sur Fourvière et à l'ouest de Lyon, il s'agit des *cailloutis argileux plio-villafranchien*. Le Quaternaire proprement dit est marqué par un tapis de matériaux glaciaires : moraines caillouteuse ou argileuses à blocs qui vient se caler sur des reliefs préexistants. Enfin, les reliefs ainsi façonnés lors du retrait des glaciers et de l'installation du réseau hydrographique actuel sont localement revêtus d'un « saupoudrage » de *Lœss* de un à plusieurs mètres d'épaisseur, érodé voire remanié (Mongereau, 2001, David 1963)

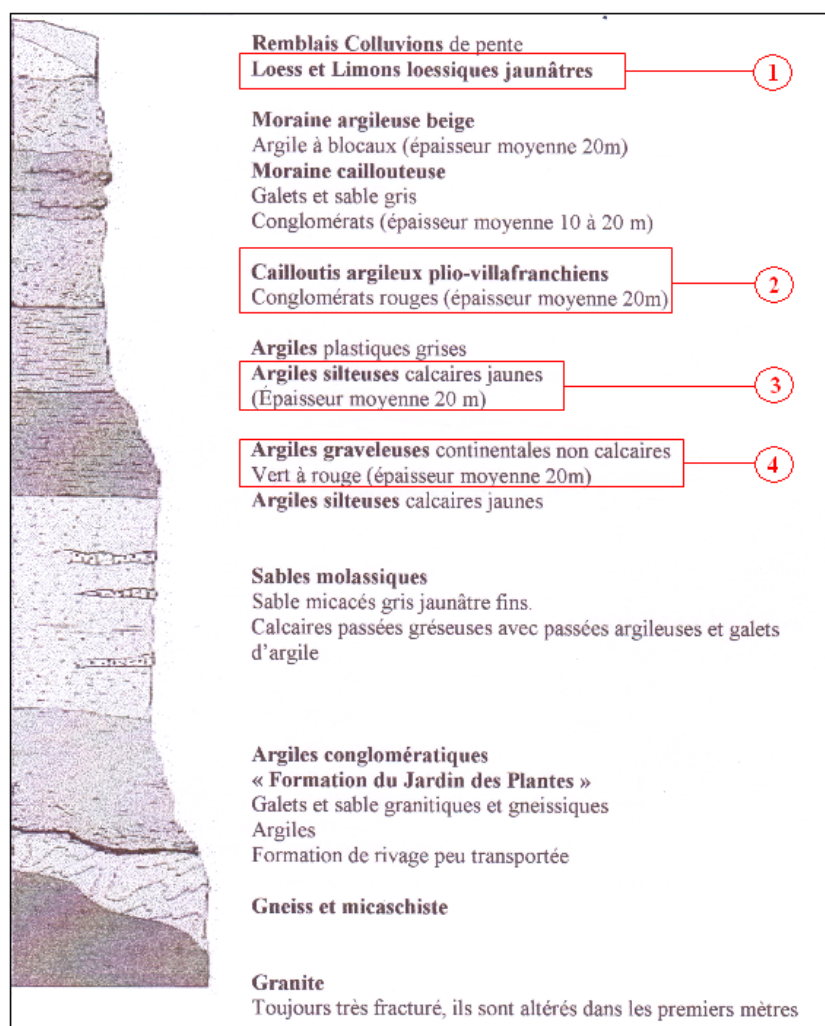


Figure 1. Modèle stratigraphique des formations géologiques des collines lyonnaises

3. Principe des études conduites.

Pour chaque formation retenue sont réunis des éléments d'identification portant sur l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg et l'essai au Bleu de méthylène, sur la composition minéralogique approchée à partir d'essais diffractométriques aux R.X. et grâce à l'analyse thermo-différentielle (ATD) et enfin sur la collecte des données géomécaniques. Cette dernière partie ne sera pas exposée ici. Quant aux données d'identification, elles ont été obtenues à partir d'échantillons prélevés spécialement pour ce programme.

Quatre formations ont été analysées : Loess, Cailloutis plio-villafranchiens, argiles silteuses et argiles graveleuses. Les résultats des analyses minéralogiques sont résumés dans le tableau I, ceux des essais d'identification géotechnique à granulométrie dans la figure 2, et ceux de la valeur de bleu (VBS) et des limites d'Atterberg dans le tableau II.

Tableau I. Composition minéralogique

Formation géologique (Couleur)	Contexte silico-calcaire	Minéraux non phylliteux	Minéraux phylliteux
Loess (Ocre à beige)	Calcaire 20-30% calcite	Quartz, dolomite, sanidine Microcline, Albite. Anorth.	Kaolinite désorganisée Illite, Montmorillonite Muscovite
Cailloutis Plio-villafranchiens (Roux)	Décalcifié	Quartz	Illite (16 à 45% de l'argile) Interstr. Illite/Vermiculite
Argiles Silteuses (Jaunâtre à gris)	Calcaire 23 à 48%	Anatase Quartz	Kaolinite, Montmorillonite Clino Chrysotile, Muscovite
Argiles graveleuses (Bariolées kaki roux)	Non calcaire	Quartz Albite	Illite, Rectorite (=interstratifié muscovite/montmorillonite)

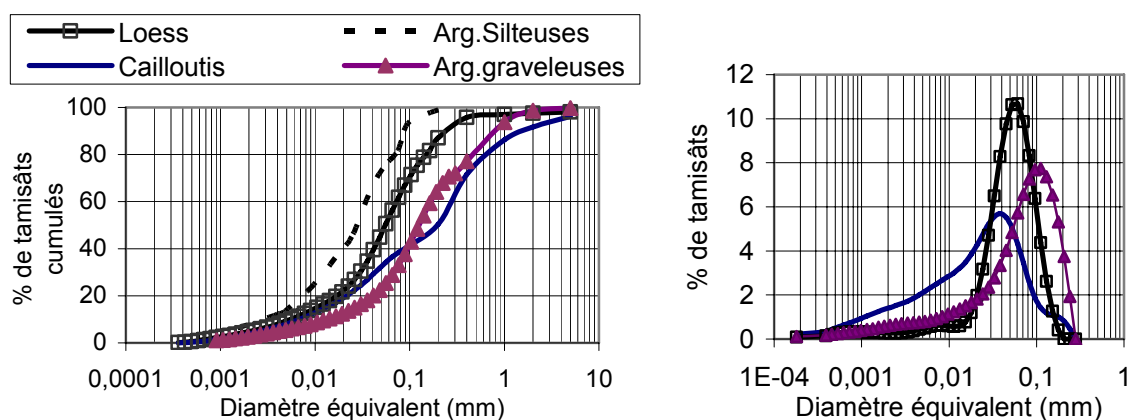


Figure 2. Courbes granulométriques et distribution modale des formations étudiées.

Tableau II. Caractéristiques géotechniques des formations et classification LCP

Formation	W _l (%)	W _p (%)	I _p (%)	VBS	LPC
Loess	20 -21,5	16 -18	3 – 4,5	1,5 – 2,5	Lp
Cailloutis Plio-villafranchiens	22,5 - 35	15.2 -19,2	6.65 – 8,4	2,7 – 4,5	SA-SL
Argiles silteuses calcaires	27 - 53	16 -29	11 - 29	3 - 10	Ap- Lp
Argiles graveleuses	33 à 37	20 à 27	11,4 – 13,8	5-6	SA

4. Description des formations et résultats des analyses

4.1. Lœss

Ce limon éolien résulte de l'action conjuguée de la corrasion et de la déflation, action exercée sur les matériaux morainiques et les reliefs dénudés lors de la fonte des glaciers. Les vents ont alors véhiculé vers les régions périphériques du massif alpin des sols fins, limons et argiles, qui se sont déposés sous la forme de placages limoneux de un à plusieurs mètres d'épaisseur sur les plateaux, sur les versants de collines où ils sont quelquefois colluvionnés, voire même alluvionnés au pied des versants. Le loess étudié ici est celui des dépôts les plus superficiels, postérieurs à la glaciation wurmienne. Ce matériau hétérogène, connu pour être un sol effondrable, possède une faible teneur argileuse, une excellente « pseudo cohésion », des micro structures particulières et un volume spécifique in situ supérieur à celui de l'état foisonné. Comme il est la dernière couche géologique déposée, il est en position de surface et de nature à intéresser les excavations, fondations, sites d'infiltration. Les échantillons proviennent du nord de Lyon (saint Rambert) et des communes limitrophes (Sathonay Camp).

Sur le plan de la minéralogie, le loess est un matériau qui contient un fort pourcentage de calcite. Il faut se rappeler que ces limons éoliens ont été arrachés à des moraines et à des reliefs alpins riches en calcaires, roches et débris. La phase limoneuse est très marquée par la présence des grains de quartz « ronds mats ». La recherche aux RX sur une dizaine d'autres minéraux pouvant provenir des roches régionales est positive pour les minéraux suivants : dolomie, muscovite, albite, sanidine, microcline, serpentine et anorthite. Ces minéraux sont avec le quartz et la calcite constitutifs de la fraction microscopique limoneuse.

Enfin, les analyses conduites sur la phase argileuse de ce matériau la qualifient de kaolinite probablement désorganisée, associée à de l'illite. La montmorillonite n'est pas absente mais le comportement du matériau confirme sa faible proportion.

En dépit du caractère éolien, donc très fin, de ce matériau dont 90% des éléments sont classés sous le diamètre de 0 à 2 millimètre (encore faut-il signaler la présence d'agglomérats et tubulures secondaires sans doute responsables des « gros éléments »), la phase argileuse proprement dite représente moins de 5%, ce qu'atteste la faible valeur de bleu (VBS= 1,5). Ceci permet de mieux comprendre le faible rôle de l'argile comme liant interstitiel, sinon par l'action de succion auquel peuvent s'adjoindre des minéralisations discrètes de calcite. Ces deux facteurs expliquent le fort indice des vides du matériau que confirme la valeur mesurée de la

densité sèche de 1,39. La kaolinite, qui semble majoritaire, n'est pas une argile sensible à l'eau et préserve la stabilité de la structure dans les cycles humidité / sécheresse.

4.2. Alluvions plio-villafranchiennes.

Ce sont des alluvions continentales mises en place lors d'une phase d'érosion intense des massifs alpins en fin de surrection. Il en résulte un comblement de toute la zone lyonnaise par un complexe formé de galets d'une taille maximale de 25 à 30 cm emballés dans une matrice argilo-limoneuse. Localement, certains niveaux sont plus spécifiquement argileux. La couleur de la matrice argileuse est ocre rouge à marron, la patine des galets est « caramel » avec un éclat gras. Il s'agit d'une formation superficielle déjà ancienne qui a subi des variations climatiques importantes qui ont entraîné une oxydation et une décalcification de cet ensemble alluvionnaire, d'où sa couleur et l'absence quasi totale de matériaux calcaires avec une altération assez forte même dans les galets d'origine granitique ou apparentée.

Cette formation se rencontre principalement dans l'ouest lyonnais. Présente dans le secteur de Fourvière au dessus du Miocène et sous le complexe morainique, elle tapisse la surface du plateau du 5^{ème} arrondissement et de Tassin. Elle est présente dans le 9^{ème} sur les collines de la rive droite de la Saône : La Duchère, Saint-Rambert... En revanche, ce niveau franchement argilo caillouteux ne se rencontre pas tel quel à la Croix-Rousse où l'équivalent stratigraphique de cette formation est plutôt sablo-caillouteux (Parking du Gros Caillou) associé aux argiles des formations pliocènes bressanes.

Les prélèvements effectués proviennent du 5^{ème} arrondissement de Lyon, dans le quartier de la Garenne. Ils ont permis d'établir la granulométrie à dominante de sable argileux (SA) et sable limoneux (SL) (Tableau II) et d'étudier tout particulièrement la fraction argileuse.

Les résultats des analyses thermo-différentielles et diffractométriques donnent une fraction argileuse de type illite avec une probabilité de présence de kaolinite désorganisée dans les deux échantillons étudiés. Les conditions climatiques de l'époque géologique sont chaudes et humides (Millot 1964). Deux conditions qui entraînent d'une part une intensité des phénomènes d'érosion, transport et accumulation de matériaux, et d'autre part une intensité des phénomènes d'altération chimique des matériaux rocheux. Les argiles mobilisées lors de cette période proviennent certainement de ces influences concomitantes.

Outre son intérêt scientifique, cette détermination apporte une précision sur le caractère peu sensible de ce type de matériau peu argileux. Dans ce type de terrain, l'importance du squelette formé par les galets est prépondérant pour sa compacité et sa tenue. Ces observations sont de nature à renforcer le bon comportement géotechnique de cet horizon grâce aussi à la cohésion apportée par la fraction argileuse peu active et peu sensible à l'eau.

4.3. Argileuses silteuses

Témoignage d'un épisode sédimentaire relativement fin, impliquant un transport long et une dynamique de dépôt de type lacustre avec des unités de grande extension, cet horizon montre une variabilité verticale décimétrique entre des argiles franches, des argiles limoneuses et des sables (dites Ap et Lp ; Tableau II). Au sein des matériaux cohérents, une structure laminaire est perceptible, apparentée à une

disposition varvée, sans toutefois la présence de contrastes de couleurs. La couleur générale de cette formation est jaunâtre plutôt claire qui traduit un contexte détritico oxydant (limonite). Il existe des niveaux indurés de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur. Des auréoles et des niveaux ocres marquent des phénomènes d'oxydations secondaires du sédiment.

Cet épisode marque la fin du comblement miocène du fossé d'effondrement qui passe en continuité au Pliocène vers le lac bressan. Son épaisseur est d'environ 5 à 8 m. Cet horizon intermédiaire semble plus à rattacher au Miocène, du fait de sa grande parenté lithologique avec un ensemble argilo calcaire non marin qui clôt la succession des sables molassiques plus typiquement marins

Ces argiles silteuses sont en réalité un mille-feuille qui joue un rôle notable dans l'hydrogéologie des collines en bloquant les infiltrations par son côté argileux et en organisant leur transfert par les niveaux plus sableux. C'est pourquoi de nombreux réseaux de galeries de captage très anciennes y sont installés. La section de ces ouvrages anciens laisse voir l'hétérogénéité de la formation. Les échantillons étudiés proviennent de galeries souterraines, à 20 m de profondeur, rue Vaucanson à Lyon.

Cette formation géologique au caractère nettement stratifié avec un contraste net entre des couches sableuses, sablo-limoneuses, limoneuses, argilo-limoneuses et argileuses, de couleur jaunâtre, est riche en argile. Les analyses minéralogiques ont révélé la présence de quartz, d'anatase et de muscovite dans les minéraux non sensibles. La présence d'anatase, de dioxyde de titane très résistant à l'altération, est compatible avec un très long transport. Associés à la couleur jaunâtre commune aux matériaux miocènes marins et même aux moraines à blocs, ils semblent argumenter une provenance alpine. Il faudrait cependant rechercher d'autres minéraux pour s'en assurer. La fraction argileuse est marquée par une association de kaolinite, montmorillonite et clino-chrysotile. La signature semble celle d'un climat chaud et humide.

4.4. Argiles graveleuses du Tortonien.

Cet horizon lyonnais très caractéristique est rapporté au Tortonien (Miocène supérieur). Il s'agit d'un ensemble détritico à matrice sablo-argileuse dont les éléments sableux sont confinés dans un gravier mal roulé, comportant ça et là quelques petits galets. Il ne présente pas de structure sédimentaire bien définie au sein de la formation. La matrice argileuse est tantôt appréciable, tantôt très réduite. La formation est très compacte, ce qui donne un matériau sableux à argileux dont la cohésion est toujours importante. La couleur est généralement kaki plus ou moins foncée, bariolée de marron roux. Les niveaux sableux sont plus franchement roux du fait de l'oxydation liée à la perméabilité. Argiles vertes ou sables roux sont les appellations contradictoires de cette formation par les sondeurs.

Le sable est quartzo-feldspathique, grossier. Ces argiles graveleuses peuvent résulter d'une phase d'intense altération puis d'érosion sur les reliefs voisins du Lyonnais et du Beaujolais. C'est une parenthèse centralienne dans un comblement qui semble majoritairement nourri par des apports alpins (sables molassiques helvétiques, cailloutis pliocènes...). Le milieu de dépôt correspondrait à un cône deltaïque relativement anarchique et générant un milieu plutôt réducteur (couleur générale kaki). Des courants plus énergiques sont alors responsables des lentilles plus sableuses, plus oxydées (sables roux). Le rôle de la suffosion, lié à l'instauration de cheminements hydrogéologiques préférentiels, peut aussi être invoqué pour les variations colorées. Il n'y a pas d'études approfondies sur ce point. Cette formation

qui se présente formellement comme une altérite mobilisée, contient logiquement du quartz et de l'albite. On aurait pu s'attendre à y trouver de l'orthose. La fraction argileuse recèle de la kaolinite et un interstratifié, la rectorite. Une origine citée pour cette dernière est l'altération des feldspaths potassiques ou de la muscovite (Wang et al, 2005), minéraux présents dans le contexte d'origine probable : l'ensemble métamorphique du Lyonnais et du Beaujolais. Ici aussi la part argileuse du sédiment, qui n'atteint pas les 5% dans la courbe proposée figure 2 (proportion en réalité variable), est peu active.

5.5. Synthèse et conclusion

A l'exception du loess, les formations lyonnaises étudiées ici sont généralement qualifiées d'argiles ou de formations argileuses. Les essais d'identification conduits sur ces matériaux permettent de nuancer ces appellations. Il s'agit plutôt de sables, de limons ou de cailloutis. Mais la présence d'un pourcentage d'argile, aussi faible soit-il, suffit à conférer des propriétés de cohésion et de barrière hydrogéologique.

Il ressort que l'illite n'est absente que dans les argiles silteuses miocènes alors qu'elle est présente partout ailleurs. Sachant que les facteurs à l'origine des minéraux argileux sont multiples (climat, diagénèse, néogénèse...), il est difficile de conclure sur une population si peu représentative. Ce sont des matériaux anciens à récents, restés plutôt superficiels. Ils ont donc dû conserver leur stock d'origine mais avec des successions d'ambiances climatiques contrastées. Paradoxalement le plio-villafranchien ne présente pas de kaolinite alors qu'elle serait typique de l'altération en climat chaud. Toutefois l'histoire de ces alluvions, leur complète décalcification, leur oxydation, laisse penser que des réorganisations minérales intenses ont pu modifier le caractère sédimentaire primaire de la matrice argileuse. Au final, les résultats présentés ici ne donnent pas une image homogène de ces formations géologiques ; rien de plus normal pour des formations détritiques, hétérogènes entre elles comme en elles-mêmes.

La classification internationale du LPC montre que les formations étudiées sont généralement peu à moyennement plastiques avec un $I_p < 15$ (Tableau II). La fraction fine est cependant plus ou moins présente suivant les formations. Une estimation du caractère gonflant de ces matériaux a été effectuée à l'aide de la VBS (Seed et al 1962 et Plat et al 2009). Malgré les écarts de classifications suivants les quelques paramètres géotechniques utilisés ici, ces formations apparaissent comme soit peu gonflantes ($VBS < 3$ et $I_p < 10$) à gonflantes ($VBS > 6$, $I_p > 20$) (Tableau II).

Le terme de « faux amis » utilisé dans le titre pour des formations géologiques hétérogènes se réfère à cette ambiguïté des appellations et leur comportement imprévisible : l'un des auteurs se rappelle d'un sol liquéfié émanant du niveau des argiles silteuses avant un important glissement de terrain. Dotés d'une bonne cohésion dans l'ensemble, ces sols restent sensibles au moindre changement de teneur en eau de 5%, passant de 15% à 20% dans les galeries souterraines. Ce changement rend la matrice argileuse active et déséquilibre rapidement le squelette minéral. La parenté minéralogique ne s'impose pas entre ces formations qui ont pourtant une même origine régionale.

A ce jour, toutes les formations argileuses ou limoneuses lyonnaises n'ont pas été étudiées. Il restera à conduire le même type d'investigations notamment sur la « formation du Jardin des Plantes », les argiles de type bressan et les moraines argileuses à blocs. Ce n'est qu'au terme de ce programme que pourront être

formulées des conclusions globales sur la caractérisation de l'ensemble de ces matériaux détritiques à composante argileuse.

6. Remerciements

Les auteurs remercient la Division Prévention Sécurité de la Ville de Lyon, en particulier Nicole BOUILLON, qui a permis le développement de ce programme d'étude, le laboratoire d'analyse minérale du LGCIIE ainsi que les étudiants de 5^{ème} année GCU-INSA qui y ont contribué.

7. Références bibliographiques

David L. (1963) Sur l'extension d'un faciès marin peu connu du miocène de la région lyonnaise. C.R. Acad. Sci. Paris t 256, 3715-3117

Emeriault F., Vinet L. (2003) Accidents et conduites de prévention dans le domaine des mouvements de terrain en site urbain: le cas de la Ville de Lyon, /Annales du Bâtiment et des Travaux Publics 4, 25-39.

Millot G. (1964) Géologie des argiles. MASSON & C°, Paris 6°, 499 p.

Mongereau N. (2001) Géologie de Lyon. Lyon : Editions Lyonnaises d'Art et d'Histoire, 95 pages.

Plat E, Le Roy S, Vincent M, Audiguier M, Cojean R, Geremew Z, Laribi S, Tang AM, Cui YJ, Ta A.-N., Hemmati S, Fabre R. Chrétien M, Jacquard C, Zerhouni MI, Morlock C, Pantet A, Proust D, Fontaine C, Masroui F., Mrad M, Nowamooz H, Magnan J.P, Duc M, Makki L, Fleureau JM, Guellati Z, Nguyen D, Souli H (2009) Projet ARGIC - Recommandations d'essai de laboratoire adaptés à la caractérisation de l'aptitude d'un sol argileux au retrait gonflement- rapport final BRGM/RP-57018-FR, Annexe B18 Tâche 20, 121 pages

Seed H.B., Woodward R.J. and Lundgren R. (1962) Prediction of swelling potential for compacted clay. Jour of soil Mech & fond Div ASCE vol 88, 53-87.

Thierry P. et Vinet L (2003) Mapping of urban area prone to slope instability: Great Lyon, Bulletin of engineering geology and environment vol. 62, 135-143.

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 génie civil et sciences de l'habitat. Lyon : INSA de Lyon, 336 pages

Wang YQ, Wu YP, Zhang HF, Zhao W, Wang CX, Zhang LQ (2005) Preparation, structure, and properties of a novel rectorite /nitrile butadiene rubber (NBR) nanocomposites vol. 37, n°3, ISSN 0032-3896, 154-161