

NUMERISATION ET STOCKAGE DES DONNÉES SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES TERRES ROUGES DE QUELQUES SITES DE LA RÉGION ANALAMANGA DANS LE LOGICIEL QGIS

Zolimboahangy Rakotomalala (1), Rijalalaina Rakotosaona (2), Nambinina Richard Fortuné Randriana (2), Velomanantsoa Gabriely Ranaivoniarivo (1)

(1) Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique Antananarivo, Mention Science et Ingénierie des Matériaux. BP 1500 Antananarivo 101

(2) Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique Antananarivo, Mention Génie des Procédés et de Chimie Industrielle. BP 1500 Antananarivo 101

Adresse email de l'auteur correspondant: zoly.rakotomalala@polytechnique.mg

Résumé

Les essais et analyses au laboratoire sont nécessaires pour définir les propriétés chimiques, minéralogiques, physiques et géotechniques des terres rouges, et leur comportement. Les résultats de ces différents travaux nous serviront à classer les terres rouges en tant que matériaux utilisés dans le domaine du génie civil et des constructions en terre. Le stockage et traitement de ces données sont multiples. Des logiciels de traitement sont disponibles entre autre le Microsoft Excel, l'Access, les logiciels utilisés dans le système d'information géographique (SIG). Nous avons utilisé le logiciel QGIS pour traiter, stocker, et manipuler les données sur les terres rouges recueillies sur terrain et au laboratoire. Nous avons d'abord initié le travail de numérisation sur onze (11) sites de la région Analamanga. Les informations sur les caractéristiques chimiques, minéralogiques, géotechniques ainsi que leurs classifications ont été traitées et stockées dans le logiciel QGIS. Ces informations pourront être complétées et mises à jour à mesure que l'on obtienne des données complémentaires par d'autres études dans les mêmes sites ou encore dans d'autres sites.

Mots-clés : Terre rouge, Région Analamanga, Caractéristiques, Classification, Système d'information Géographique, Logiciel QGIS.

Abstract

Laboratory tests and analyzes are necessary to define the chemical, mineralogical, physical and geotechnical properties of red earths, and their behavior. The results of these different works will be used to classify red earth as materials used in the field of civil engineering and earthen constructions. There are multiple storage and processing of this data. Processing software is available, among others Microsoft Excel, Access, software used in the Geographic Information System (GIS). We used QGIS software to process, store, and manipulate red soil data collected in the field and in the laboratory. We first initiated the digitization work on eleven (11) sites in the Analamanga region. Information on chemical, mineralogical, geotechnical characteristics as well as their classifications were processed and stored in the QGIS software. This information may be supplemented and updated as additional data becomes available from other studies at the same sites or at other sites.

Keywords: Red earth, Analamanga region, Characteristics, Classification, Geographic information system, QGIS software.

1- INTRODUCTION

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) permet une meilleure connaissance des conditions paysagères régionales, par l'introduction dans la base de données des caractéristiques physiques actuelles de la région (forme et organisation des paysages, natures des sols, végétation, hydrographie, relief et pentes). Un SIG permet une intégration organisationnelle de données de sources différentes (données géographiques et non géographique). Autrement dit, c'est un système qui assure la collecte, le stockage, l'analyse et la visualisation de données. Les SIG nous offrent les outils d'aide à la prise de décision. La conception d'un SIG passe par l'intégration des données dans un système de projection cartographique commun, autorisant la superposition des couches d'informations. La structuration de l'information au sein d'une base de données relationnelle est obligatoire pour administrer, gérer et manipuler conjointement des variables décrites par des attributs différents.

Notre étude comporte trois phases principales. La première qui est la collecte de données sur terrains, qui concernent le positionnement dans l'espace par l'appareil GPS ou Global Positioning System et les échantillonnages des terres rouges. La deuxième consiste aux travaux de laboratoire pour la détermination des caractéristiques chimiques, minéralogiques, physiques et géotechniques des terres rouges. Et la dernière est la mise en relation avec les SIG par l'utilisation du logiciel QGIS pour le traitement des données sur l'ordinateur en utilisant les modèles numériques d'altitude et les couches géographiques. Les résultats sont les données stockées dans la base de données pour être manipulées et traitées lors de la prise de décision en vue d'une construction dans les travaux de génie civil

et/ou des constructions en terre. Ainsi, nous formulons notre sujet de recherche : « Numérisation et stockage des informations sur les caractéristiques des terres rouges de quelques sites de la Région Analamanga dans le logiciel QGIS.

2- SITES D'ETUDES

Nous avons prélevés dans des sites différents deux (02) natures d'échantillons, pour la réalisation des essais de caractérisations et des essais de comportement : certains sont constitués d'échantillons carottés intacts et d'autres sont des échantillons bruts remaniés. Dans le souci de faciliter les écritures, chaque échantillon a reçu une dénomination qui lui est propre comme l'indique le tableau 1.

Tableau 1 : localisation des sites d'emprunts des échantillons/ location of sample borrow sites

	Dénomination	Latitude	Longitude	Altitude(m)
1 Ambohibary Atsimo	AMB/S1	S 18° 50' 586	E047° 43' 671	1490
2 Ambohibary Atsimo	AMB/S2	S 18° 50' 588	E047° 43' 675	1490
3 Bevalala	BEV	S 18° 58' 500	E 047° 30' 644	1290
4 Firavahana	FIR	S 18° 43' 420	E 047° 16' 841	1299
5 Sahalemaka	SAH	S 18° 42' 502	E 047° 36' 282	1464
6 Alasora	ALA	S 18° 57' 401	E 047° 34' 868	1300
7 Manankavaly	MNK	S 18°50' 578	E 047° 42' 798	1494
8 Vontovorona	VNT	S 18°97'074	E 047°55'844	1301
9 Ankatso	ANK	S 18°92'041	E 047°55'389	1505
10 Andohanimahazo	AND	S 18°90'376	E 047°56'221	1567
11 Antsahanierana	ANT	S 18°90'677	E 047°55'844	1482

3- MATERIELS ET METHODES

3.1 Logiciel QGIS [09]

QGIS ou QuantumGIS, est un logiciel qui fournit des bibliothèques qui peuvent être employées pour manipuler, gérer et stocker des données géographiques et spatiales et prendre des décisions sur des travaux de recherch. QGIS peut être adapté à multiplateforme (Linux, Windows, Mac DOS), gratuit et libre (open-source) publié sous la licence publique générale (GPL). La figure 1 représente le logo de QGIS.



Figure 1 : Logo de QGIS

Au démarrage, QGIS s'ouvre sur une interface comme l'indique la figure 2:

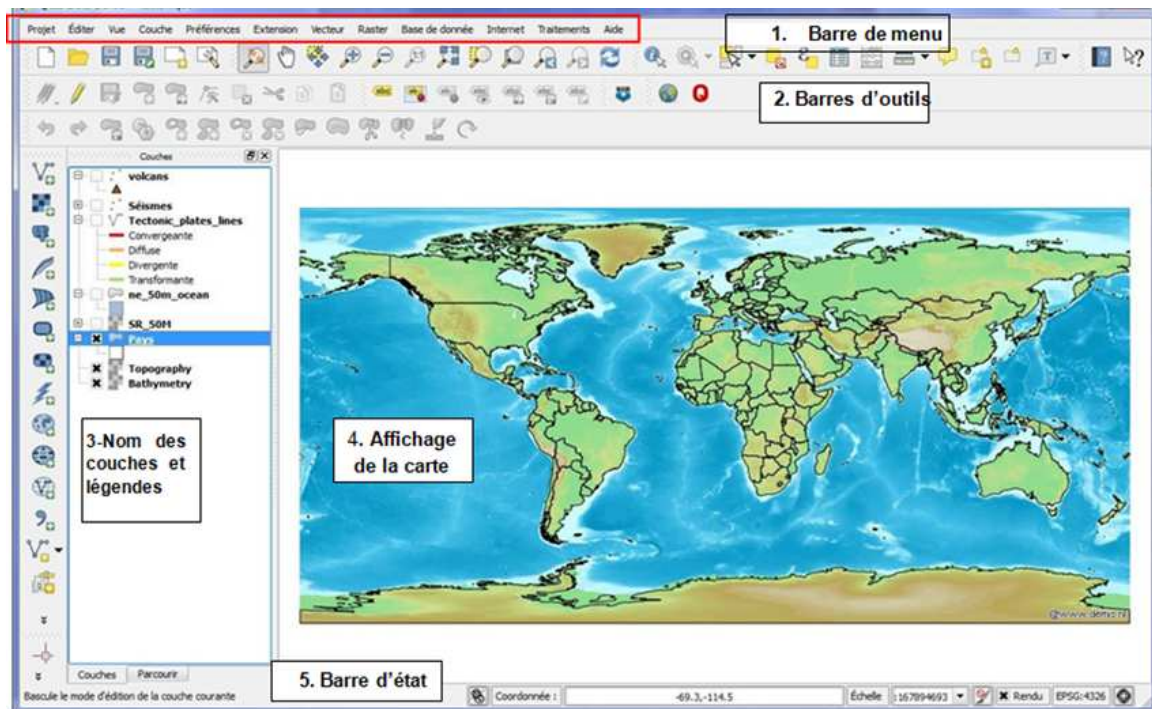


Figure 2: Interface de QGIS

L'interface de QGIS est divisée en cinq zones distinctes :

1. Barre de Menu	2. Barre d'Outils	3. Légende de la carte	4. Affichage de la carte	5. Barre d'état
------------------	-------------------	------------------------	--------------------------	-----------------

3.1.1 Barre de Menu

La barre de menu donne accès aux différentes fonctionnalités de QGIS par le biais de menus hiérarchiques. Les entrées du menu de niveau supérieur et un résumé de certaines options, avec les icônes des outils correspondants dans la barre d'outils et leurs raccourcis clavier.

Les raccourcis clavier peuvent également être configurés manuellement via le menu [Configurer les raccourcis...] dans Préférences (ceux présentés ici sont définis par défaut). Bien que les options de menu aient des outils qui leur correspondent et vice-versa, les menus ne sont pas organisés comme les barres d'outils. La barre contenant l'outil est affichée à la suite de chaque option de menu. Certaines entrées n'apparaissent que lorsque les extensions correspondantes sont activées.

3.1.2 Barre d'outils

La barre d'outils fournit un accès à la majorité des fonctions des menus en plus d'outils additionnels destinés à interagir avec la carte. Chaque outil dispose d'une bulle d'aide qui s'affiche lorsque le curseur est placé au-dessus. Celle-ci affiche une courte description du rôle de l'outil (figure 3).

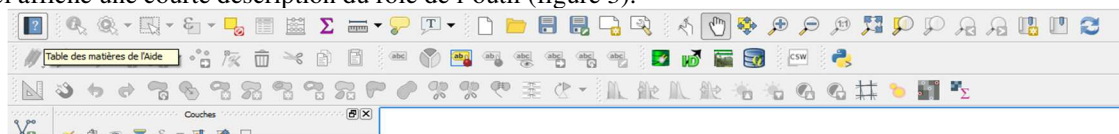


Figure 3 : Barre d'Outils

3.1.3 Légende de la carte

La zone de légende cartographique liste l'ensemble des couches du projet. La case à cocher présente à gauche du nom d'une couche permet de l'afficher ou de la cacher. Une couche peut être sélectionnée et glissée vers le haut ou le bas dans la légende pour modifier l'ordre d'empilement des couches. Une couche se situant au sommet de la liste de cette légende sera affichée au-dessus de celles qui se situent plus bas dans la liste.

3.1.4 Affichage de la carte

C'est la partie centrale de QGIS puisque les cartes y sont affichées. Le contenu qui s'affiche dépend des couches de types raster et vecteur. L'emprise de la carte peut être modifiée en portant le focus sur une autre région, ou en

zoomant en avant ou en arrière. Plusieurs opérations peuvent être effectuées sur la carte. La carte et la légende sont étroitement liées- la carte reflète les changements qu'on opère dans la légende.

3.1.5 Barre d'état

La barre d'état (Figure 4) montre la position dans le système de coordonnées de la carte (coordonnées exprimées en mètres ou degrés décimaux par exemple). À gauche de l'affichage des coordonnées se trouve un petit bouton qui bascule l'affichage entre celui des coordonnées de la position ou celui de l'étendue de la zone qu'on veut visualiser. À droite de ces coordonnées se trouve l'échelle de la carte. Si on zoome ou dézoome, l'échelle se met à jour automatiquement.

Une barre de progression dans la barre de statut montre la progression du rendu au fur et à mesure que les couches sont dessinées sur l'écran. Dans certains cas, tel que lors du calcul des statistiques d'une couche raster, la barre indique la progression des opérations plus longues.

Si une nouvelle extension ou une mise à jour est disponible, un message dans la barre d'état s'ouvre. Sur la droite, une case à cocher peut être utilisée pour bloquer temporairement le rendu des couches sur la carte. À l'extrémité droite se situe le code EPSG du SCR du projet et l'icône de projection. Un clic dessus ouvrira la fenêtre de propriétés de projection pour le projet en cours.

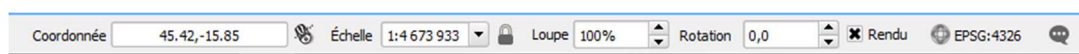


Figure 4 : Barre d'état

3.2 Les données gps

Le GPS, Global Positioning System, est un système basé sur des satellites qui permet à toute personne possédant un récepteur GPS d'obtenir sa position exacte n'importe où dans le monde. Le récepteur GPS utilise les signaux des satellites pour obtenir la latitude, la longitude et (parfois) l'élévation ou altitude. La plupart des récepteurs ont également la possibilité de stocker la position (nommé points d'intérêt ou waypoints), des séquences de positions qui constituent un itinéraire prévu et un tracklog ou track des déplacements du récepteur en fonction du temps.

Waypoints, itinéraires et tracks sont les trois types d'objets basiques dans les données GPS. QGIS affiche les waypoints dans des couches points tandis que les itinéraires et les tracks sont affichés dans des couches linéaires. La figure 5 montre l'appareil GPS que nous avons manipulé lors des descentes sur terrain.



Figure 5 : GPS

3.3 Outils de classification des sols

Il existe plusieurs systèmes de classification des sols qui se fondent généralement sur la taille des particules ou sur quelques autres propriétés comme la plasticité et la compressibilité. Dans notre travail, nous utilisons les outils de classification suivante :

- La classification des sols à partir des caractéristiques granulométriques
- La classification GTR (Guides des Terrassements Routiers) qui utilise 3 types de paramètres pour classer ses sols : les paramètres de nature (argilosité et granularité), les paramètres de comportement mécanique et les paramètres d'état hydrique d'un sol (Tableau 2)
- La Classification LPC (Laboratoire des ponts et chaussées) à partir des résultats fournis par la granulométrie, les caractéristiques de plasticité de la fraction fine (Atterberg) (Figure 6 et 7)
- Le Système unifié de classification des sols (Unified Soil Classification - USC) qui est actuellement considéré pour le génie civil comme le système de classification le plus utile (Figure 8).

Tableau 2 : Classification GTR / GTR Classification [11]

CLASSE	Définition	Caractéristique	Sous-classe
A	Sols fins	$D_{max} \leq 50$ mm et passant à $80 \mu\text{m} > 35\%$	A1 à A4 selon VBS ou I_p
B	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{max} \leq 50$ mm et passant à $80 \mu\text{m} \leq 35\%$	B1 à B6 selon VBS ou I_p et tamisat
C	Sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{max} > 50$ mm et passant à $80 \mu\text{m} > 12\%$ ou passant à $80 \mu\text{m} \leq 12\% + \text{VBS} > 0,1$	30 sous-classes selon VBS, I_p et tamisat à 50 mm
D	Sols insensibles à l'eau avec fines	$\text{VBS} \leq 0,1$ et passant à $80 \mu\text{m} \leq 12\%$	D1 à D3
R	Matériaux rocheux	voir la norme NF P 11-300	
F	Sols organiques et sous-produits industriels	voir la norme NF P 11-300	

D_{max} = diamètre pour lequel 95 % des grains du sol ont une dimension inférieure (soit D_{95} si la courbe granulométrique est disponible, sinon appréciation visuelle de la dimension des plus gros éléments).

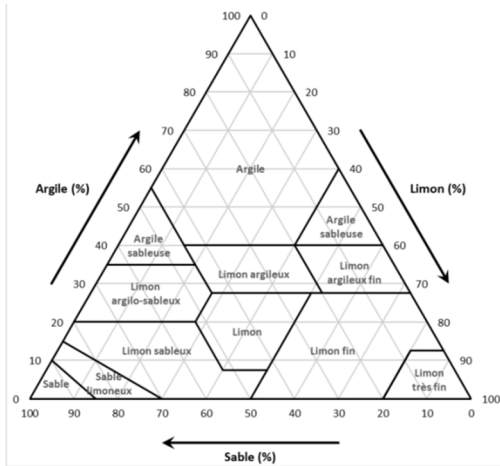


Figure 6: Triangle de Texture selon LPC [12]

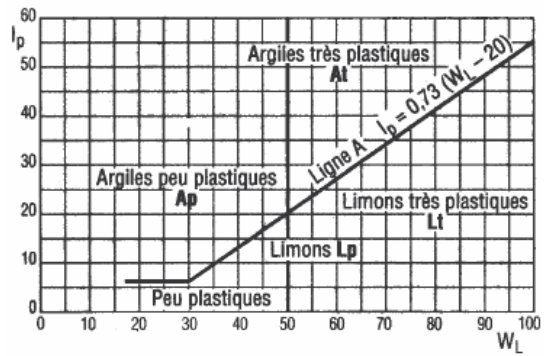


Figure 7: Diagramme de plasticité de Casagrande [12]

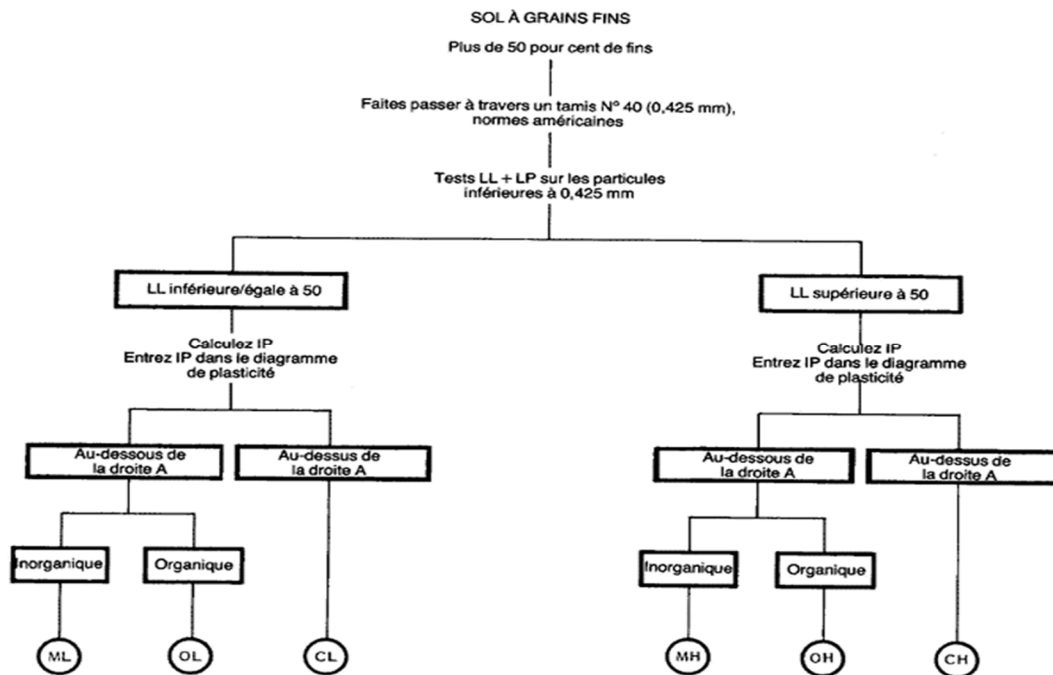


Figure 8: Appellations caractéristiques et symboles des groupes de sols fins du Système unifié de classification [12]

LL= limite de Liquidité
LP= Limite de plasticité

1 ^{ère} lettre		2 ^{ème} lettre	
M= limon	O= biologique	C= Argile	H= haute plasticité / L = faible plasticité

4- RÉSULTATS

4.1 Compositions chimiques des échantillons de terre rouge

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire Génie Chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique Vontovorona. Les résultats de l'analyse chimique élémentaire des échantillons de terres rouges sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Compositions chimiques / Chemical composition

Echantillon	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MO %	PF %
AMB/S1	44,30	20,30	12,20	0,30	1,00	0,33	14,63
AMB/S2	47,30	18,50	08,88	0,50	1,00	-	12,43
BEV	44,60	24,85	11,28	0,30	-	2,51	20,75
FIR	49,03	19,50	11,30	0,10	0,70	1,04	19,40
SAH	36,50	30,22	09,40	-	0,10	0,64	16,50
ALA	37,20	33,10	12,60	-	0,60	0,25	16,15
MNK	32,66	36,60	10,53	0,20	-	-	12,03
VNT	22,43	23,18	27,10	0,06	-	1,02	20,00
ANK	46,80	28,00	02,30	-	-	-	13,80
AND	45,60	30,00	06,80	-	-	0,22	13,70
ANT	48,90	26,00	07,40	-	-	0,64	14,20
Moyenne	41,39	26,39	10,89	0,13	0,31	0,60	15,78

4.2- Caractéristiques physiques

Les valeurs des caractéristiques physiques pour chaque échantillon se trouvent dans le tableau 4 sur la page 5.

Tableau 4: Caractéristiques physiques / physical characteristics

Echantillon	Teneur en eau ω(%)	Poids spécifiques γ _s (KN/m ³)	Poids apparent ρ (KN/m ³)	Compacité C	Porosité n
AMB/S1	12,57	2640	1590	0,62	0,38
AMB/S2	11,54	2450	1670	0,68	0,32
BEV	18,62	2420	1600	0,61	0,39
FIR	18,35	2630	1620	0,58	0,42
SAH	14,55	2660	1660	0,62	0,38

ALA	14,20	2600	1580	0,57	0,43
MNK	10,06	2770	1640	0,63	0,37
VNT	14,72	2790	1510	0,62	0,38
ANK	16,33	2660	1520	0,57	0,43
AND	14,45	2700	1550	0,57	0,43
ANT	12,66	2580	1580	0,60	0,40
Moyenne	15,78	2627,27	1592,73	0,61	0,39

4.3- Caractéristiques géotechniques

4.3.1- Granulométrie

L'analyse granulométrique des échantillons a été faite selon la méthode classique du tamisage couplée à la sédimentométrie.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont indiqués dans les tableaux 5 et 6.

Tableau 5: Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie/ Results of the particle size analysis by sedimentometry

Echantillon	Argile (A%)	Limon (L%)		Fines%		Sable (S%)
	D< 2 μ	D: 2 μ - 0,02mm	D:0,02mm- 0,05mm	D<0,02mm (C ₂)	D<0,05mm	D>0,05mm
AMB/S1	24	17	3	41	44	56
AMB/S2	20	9	3	29	32	68
BEV	20	19	4,5	39	43,5	56,5
FIR	24	15	2	39	41	59
SAH	24	5	5,5	29	34,5	65,5
ALA	18	15	4	33	37	63
MNK	20	13	6	33	39	61
VNT	21	9	12	30	42	58
ANK	26	26	-	52	52	48
AND	35	40	-	75	75	25
ANT	24	19	14	43	57	43
Moyenne	23,27	21,91		40,27	45,18	54,82

Tableau 6: Résultats de l'analyse granulométrique par tamisage/ Results of the particle size analysis by sieving

D (mm)	Passants cumulés %							
	0,05	0,1	0,125	0,25	0,5	1	1,25	2
Module AFNOR	18	21	22	25	28	31	32	34
AMB/S1	44	46	47	50	55,5	66	75	100
AMB/S2	32	36	38,5	48,5	63,4	83,7	90	100
BEV	43,5	45	46	48	53,4	65,3	73	100
FIR	41	46	48	58	73,2	92,5	96	100
SAH	34,5	38	40	45,8	54,7	73	82	100
ALA	37	41	42,5	48	59,5	74,5	82	100
MNK	39	43	44,5	50	58	70	77	100
VNT	42	53	56	70	83	98	100	100
ANK	52	78	82	87	91	97	100	100
AND	75	86	89	94	97	100	100	100
ANT	24	43	57	72	85,8	92	95	100

4.3.2- Argilosité : Limites d'Atterberg et VBs

Les valeurs des limites d'Atterberg (limite de liquidité ω_L , limite de plasticité ω_p , et l'indice de plasticité I_p) et les valeurs au bleu VBs de chaque échantillon de terre rouge sont montrées dans le tableau 7.

Tableau 7 : limites d'Atterberg et VBs / Atterberd limits and VBs

Echantillon	ω_L (%)	ω_p (%)	I_p (%)	VBs (ml/g)
AMB/S1	41,20	27,40	13,80	2,5
AMB/S2	49,40	30,50	18,90	1,3
BEV	39,80	27,80	12,00	1,3
FIR	43,20	25,90	17,30	1,7
SAH	42,50	25,00	17,50	0,8
ALA	49,00	26,00	19,00	1,5
MNK	44,00	29,70	14,30	1,2
VNT	35,95	24,35	11,60	1,26

ANK	49,00	31,67	17,33	1,6
AND	50,50	32,83	17,67	1,6
ANT	45,00	29,70	15,30	1,4
Moyenne	44,50	28,26	15,88	1.46

4.3.3- Optimums Proctor

Les résultats ont été obtenus avec la même énergie de compactage, égale à 2,5MPa. L'optimum PROCTOR de chaque échantillon est montré dans le tableau 8.

Tableau 8: Valeurs de $\omega_{opt}\%$ et γ_{dopt} de chaque échantillon de terre rouge / $\omega_{opt}\%$ and γ_{dopt} values of each sample of red soil

Echantillon	$\omega_{opt}\%$	γ_{dopt} (KN/m ³)
AMB/S1	14,60	2820
AMB/S2	26,30	2190
BEV	15,20	2810
FIR	19,30	2720
SAH	23,60	2280
ALA	20,50	2410
MNK	19,00	2590
VNT	20,00	2780
ANK	13,00	2880
AND	11,10	2920
ANT	17,70	2830

5- DISCUSSIONS

5.1 Comportement des terres rouges

L'ensemble des résultats chimiques, minéralogiques, physiques et géotechniques sur les échantillons de terre rouge de la région d'Analamanga a montré que :

- elles peuvent renfermer beaucoup de Quartz à l'exception de l'échantillon VNT, mais aussi de la silice combinée dans les argiles ;
- l'aluminium peut se trouver lié dans le minéral argileux ou dans une forme hydratée de l'oxyde d'Aluminium comme la Gibbsite.
- elles sont en moyenne pauvres en fer à l'exception de l'échantillon VNT, de ce fait, la Limonite dont le principal composant est la goéthite, peut être présente en quantité plus ou moins importante;
- elles ne contiennent que très peu de matières organiques ;
- la partie argileuse contenue dans les terres étudiées est constituée principalement de Kaolinite. ;
- elles présentent une proportion de vide assez importante, mais elles seront aptes au compactage avec des teneurs en eau adéquates ;
- elles appartiennent toutes à la classe des sols fins : elles sont riches en fines de caractère argileux ;
- elles renferment probablement des limons peu plastiques, des argiles peu plastiques et/ou des sables fins argileux ;
- elles sont peu ou moyennement plastiques et qui ont toutes de bonnes caractéristiques de compactage malgré leur finesse ;
- la fraction argileuse dans tous les échantillons de terre rouge est inactive. Plusieurs points peuvent être tirés aussi de ces résultats :
 - la densité apparente peut augmenter linéairement en fonction d'autres paramètres : la compacité, la teneur en eau optimale Proctor, mais il semble qu'elle peut diminuer, linéairement aussi, avec la teneur en limon et la teneur totale en fines (Argile% + Limon%) ;
 - la densité sèche optimale γ_{dopt} augmente avec la teneur en fines (A%+L%),
- par contre la teneur en eau optimale Proctor ω_{opt} diminue. Pour une valeur A + L= 30% environ, ω_{opt} présente un maximum et γ_{dopt} un minimum ;
- la plasticité des terres rouges est influencée par le caractère sableux des fines.

5.2 Classifications des terres rouges

5.2.1 Classification basée sur des rapports entre la proportion de silice et celle des constituants latéritiques

Nous utiliserons le système de classification basé sur le mode d'altération latéritique, sur les facteurs de latérisation des latérites, qui distingue les sols ferrallitiques et les cuirasses [01]. Comme certaines latérites sont riches en oxyde de fer et pauvre en alumine et vice-versa, on peut distinguer ainsi les latérites alumineuses des latérites

ferrugineuses (Tableau 9 et 10). Sur ces bases, plusieurs auteurs proposèrent des définitions et des classifications basées sur des rapports entre la proportion de silice et celle de ce qu'on appelle les constituants latéritiques (Fe, Al, Ti, Mn). Le rapport le plus souvent admis est :

$$S/R = \frac{SiO_2/60}{Al_2O_3/102 + Fe_2O_3/160}$$

la règle générale admise est:

S/R < 1.33 : latérites vraies

1.33 < S/R < 2 : sols latéritiques

2 < S/R : sols tropicaux non latéritiques

Tableau 9 : Classification suivant la valeur de S/R

Echantillon	S/R	Classification
AMB/S1	2,68	Sol non latéritique
AMB/S2	3,33	Sol non latéritique
BEV	2,37	Sol non latéritique
FIR	3,12	Sol non latéritique
SAH	1,71	Sol latéritique
ALA	1,54	Sol latéritique

Echantillon	S/R	Classification
MNK	1,28	Latérite vraie
VNT	1,33	Latérite vraie
ANK	2,7	Sol non latéritique
AND	2,26	Sol non latéritique
ANT	2,71	Sol non latéritique

5.2.2 Classification basée sur l'argilosité

D'après les valeurs au bleu, on peut évaluer l'importance de la proportion d'éléments fins et surtout l'activité de la fraction argileuse (Tableau 10) contenue dans les terres rouges par le rapport entre le VBs et la teneur en particules inférieures à 2 µm (C₂). L'activité argileuse Ac est calculée par la relation : Ac = VBs/C₂

Les règles générales admises sont :

VBs < 0.1, sol insensible à l'eau

0.2 ≤ VBs < 1.5, sol sable limoneux, sensible à l'eau

1.5 ≤ VBs < 2.5, sol sable argileux, peu plastiques

2.5 ≤ VBs < 6, sol limoneux de plasticité moyenne

6 ≤ VBs < 8, sol argileux

VBs > 8, sol argileux très plastique

0 < Ac < 3, fraction argileuse inactive

3 ≤ Ac < 5, fraction argileuse peu active

5 ≤ Ac < 13, fraction argileuse moyennement active

13 ≤ Ac < 18, fraction argileuse active

Ac > 18, fraction argileuse très active

Tableau 10: Qualifications des échantillons/ Qualifications of samples

Echantillon	VBs (ml/g)	Ac	Catégorie des sols	Qualification des fractions argileuses
AMB/S1	2,5	0,58	Sol sable limoneux, sensible à l'eau	Inactive
AMB/S2	1,3	0,9		
BEV	1,3	0,6		
FIR	1,7	0,72		
SAH	0,8	0,73		
ALA	1,5	1,06		
MNK	1,2	0,72		
VNT	1,26	0,55		
ANK	1,6	0,67		
AND	1,6	0,5		
ANT	1,4	0,64		

Tous les échantillons de terre rouge sont constitués de sol sable limoneux et sensible à l'eau. Ils renferment tous d'une fraction argileuse inactive.

5.2.3 Classification GTR – LPC et USC

La classification primaire des échantillons consiste à trouver une corrélation entre la valeur de l'indice de plasticité Ip, la valeur au bleu de méthylène VBs et le pourcentage des fines. La projection des valeurs de Ip, la valeur au bleu de méthylène VBs et le pourcentage des fines sur le tableau synoptique des matériaux, selon leur nature (figure 5, 6 et 7, page 4) fait ressortir les points suivants (Tableau 11):

- les échantillons de terre rouge appartiennent tous à la classe des sols fins ;

- les échantillons renferment probablement des limons peu plastiques, des argiles peu plastiques et/ou des sables fins argileux.

Tableau 11: Classification des terres rouges (GTR-LPC-UCS)

	Classe texturale	GTR	LPC	UCS
AMB/S1	LAS	A1	Lp	CL
AMB/S2	LAS	A1	Lp	CL
BEV	LAS	A2	Lp	CL
FIR	LAS	A2	Lp	CL
SAH	LAS	A2	Ap	CL
ALA	LS	A1	Lp	CL
MNK	LAS	A2	Lp	CL
VNT	LAS	A2	Ap	CL
ANK	LA	A2	Lp	CL
AND	LA	A2	Lp	CL
ANT	LAS	A2	Lp	CL

LAS : Limon Argilo-Sableux/ LS : Limon sableux/ LA : Limon argileux

A1 : classe des sols fins à limons peu plastiques, s/s alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...

A2 : classe des sols fins à sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques...

Lp : Limon peu plastique/ Ap : Argile peu plastique

CL : Argile inorganique de faible à moyenne plasticité, argiles graveleuses, argiles sableuses, argiles silteuses, argiles maigres

5.3 Manipulation du logiciel QGIS

5.3.1 Extension des données GPS dans QGIS

Il y a des dizaines de formats de fichier différent pour stocker des données GPS. Le format que QGIS utilise est appelé GPX (GPS eXchange format), qui est un format d'échange standard qui peut contenir n'importe quel nombre de waypoints, itinéraires et tracks dans un même fichier, il y a aussi le logiciel libre GPS Babel transférer des données GPS entre dans l'ordinateur et un périphérique GPS et les autres versions plus récentes sans problème. Mais ici, les données recueillies sur GPS sont copiés dans l'application Excel avec l'extension .xls puis seront exportés dans QGIS avec l'extension .csv pour être manipuler dans QGIS, le système de coordonnées doit-être modifié en WGS84/ EPSG 4326 (Figure 10).

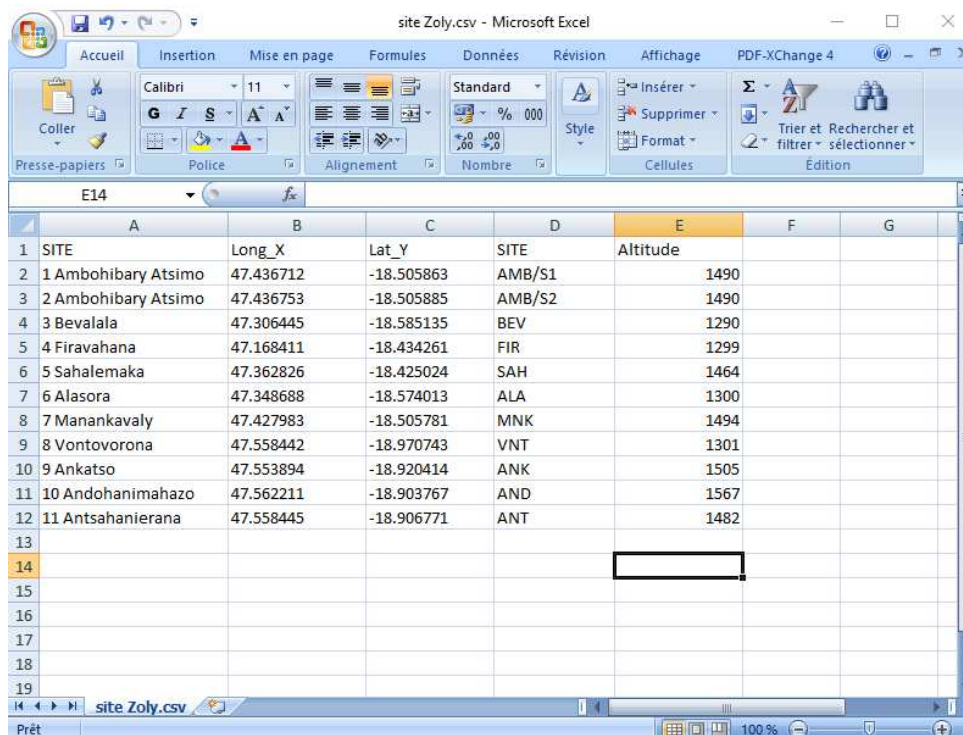


Figure 9: Coordonnées GPS enregistré sous l'extension .Csv dans Excel

Comme les données GPS ont été recueillies par site, nous avons au total 11 données GPS enregistrés sous l'extension .csv. Ces données à extension .csv seront lancées dans QGIS et seront traitées et enregistrées avec l'extension .shp pour être visualisées sur la fenêtre « nouveau projet » (Figure 10).

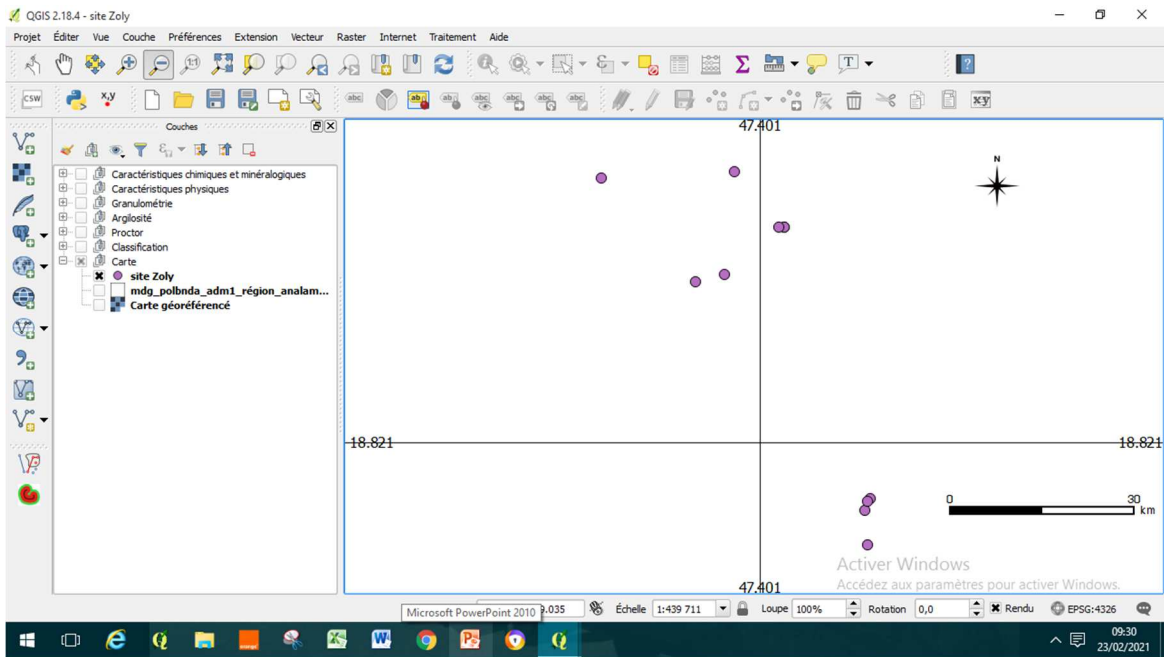


Figure 10: Création des données .shp dans QGIS

5.3.2 Géoréférencement

Pour afficher correctement les données, QGIS utilise les informations de géoréférencement intégrées aux couches raster (par exemple GeoTiff) ou présentes dans un fichier word. Le géoréférencement permet de positionner correctement dans l'espace un fichier, de type raster, non ou mal géoréférencé, par exemple une carte papier numérisé ou une image aérienne, et de lui attribuer un système de coordonnées (Figure 11).

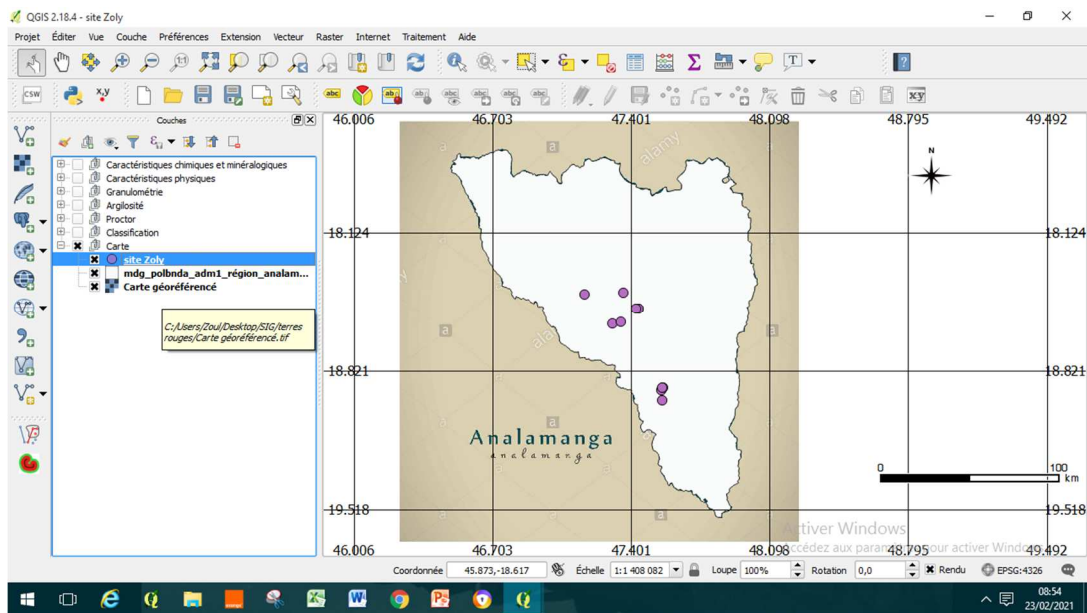


Figure 11: Carte géoréférencée

5.3.3 Jointures des données .xls et .shp

L'onglet Jointure permet de joindre une table attributaire chargée à une couche vecteur chargée. On devra définir une couche de jointure, un champ de jointure et un champ cible. QGIS permet actuellement de joindre les formats de tables non spatiales supportées par OGR, les fichiers de texte délimités et les tables Postgre SQL. La jointure consiste à associer différentes tables (tables d'attributs ou autres tables) :

- Jointure (En : « Joins ») : permet d'ajouter, dans la table d'attributs du fichier à partir duquel vous faites la jointure (« Table_Base »), les champs d'une autre table (« Table_Jointe »), sur base d'un champ (colonne) contenant une information commune aux deux tables ou sur base spatiale.

- Relation (En : « Relates ») : établi un lien entre deux tables, basé sur un champ (colonne) contenant une information commune, mais n'ajoute pas les champs d'une table reliée dans la table de base. Les informations de la table reliée sont accessibles à partir de la table de base.

C'est-à-dire, la jointure sur base attributaire est de mettre les fichiers .shp en contact avec les fichiers .xls qui contiennent les informations sur les terres rouges par site, dans le but d'enregistrer et stocker les informations et données dans le système de base de données QGIS. Nous montrons sur la figure 12, un exemple de fichier.xls converti en fichier .csv.

	C1-T	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	C6-T	C7-T	C8-T	C9-T	C10
1	Valeur m>>	Argile (A%)	Limon (L%)	Valeur>>	Fines%	Valeur >>	Sable >>	Valeur man>>	Passant cumul, %	*
2	Valeur m>>	D< 2æ	D: 2æ -	D:0,02>>	D<0,0>>	D<0,05mm	D>0,0>>	D (mm)	0,05	0,1
3	Echantillon	Valeur m>>	0,02mm	- 0,05mm	(C2)	(A%+L%)	Valeur>>	Module AFNOR	18	21,0
4	AMB/S1	24	17	3	41	44	56	AMB/S1	44	46,0
5	AMB/S2	20	9	3	29	32	68	AMB/S2	32	36,0
6	BEV	20	19	4,5	39	43,5	56,5	BEV	43,5	45,0
7	FIR	24	15	2	39	41	59	FIR	41	46,0
8	SAH	24	5	5,5	29	34,5	65,5	SAH	34,5	38,0
9	ALA	18	15	4	33	37	63	ALA	37	41,0
10	MNK	20	13	6	33	39	61	MNK	39	43,0
11	VNT	21	9	12	30	42	58	VNT	42	53,0
12	ANK	26	26	-	52	52	48	ANK	52	78,0
13	AND	35	40	-	75	75	25	AND	75	86,0
14	ANT	24	19	14	43	57	43	ANT	24	43,0
15										

Figure 12: Exemple de fichier .xls converti en fichier .csv, traitées dans le tableur Minitab.mpx

Notons que chaque information correspond à une couche. Dans notre travail, nous avons au total quatorze (14) informations, donc nous avons créé quatorze (14) couches. Ces différentes couches créées sont représentées dans la fenêtre numéro 3 « noms des couches et légendes » (Figure 13).

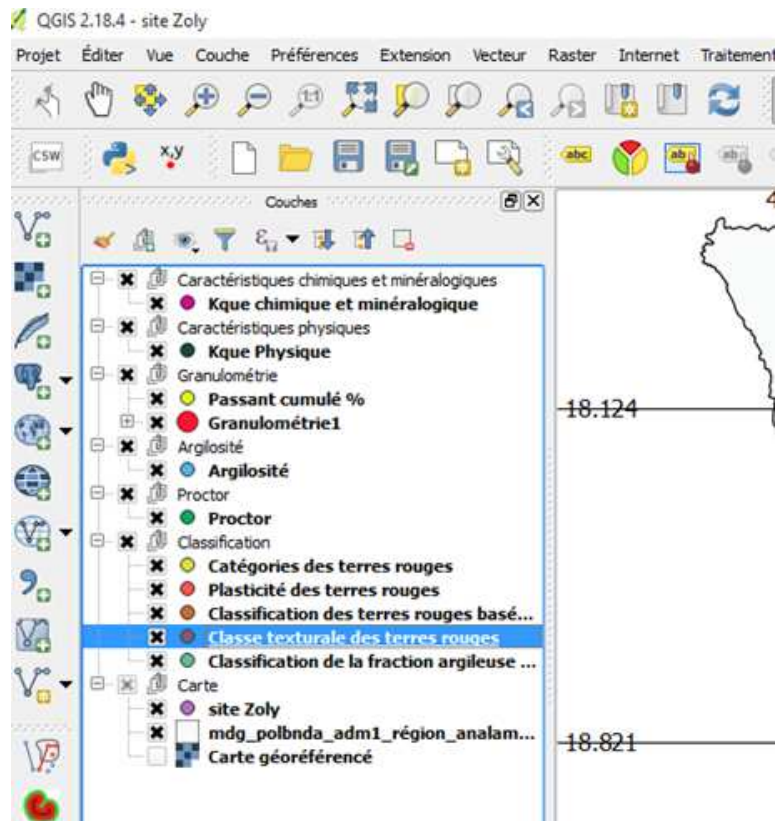


Figure 13: Noms des couches et légendes.

Lorsque l'on a fini de réaliser toutes les jointures, on peut visualiser les points .shp sur la carte géoréférencée (Figure 14) .

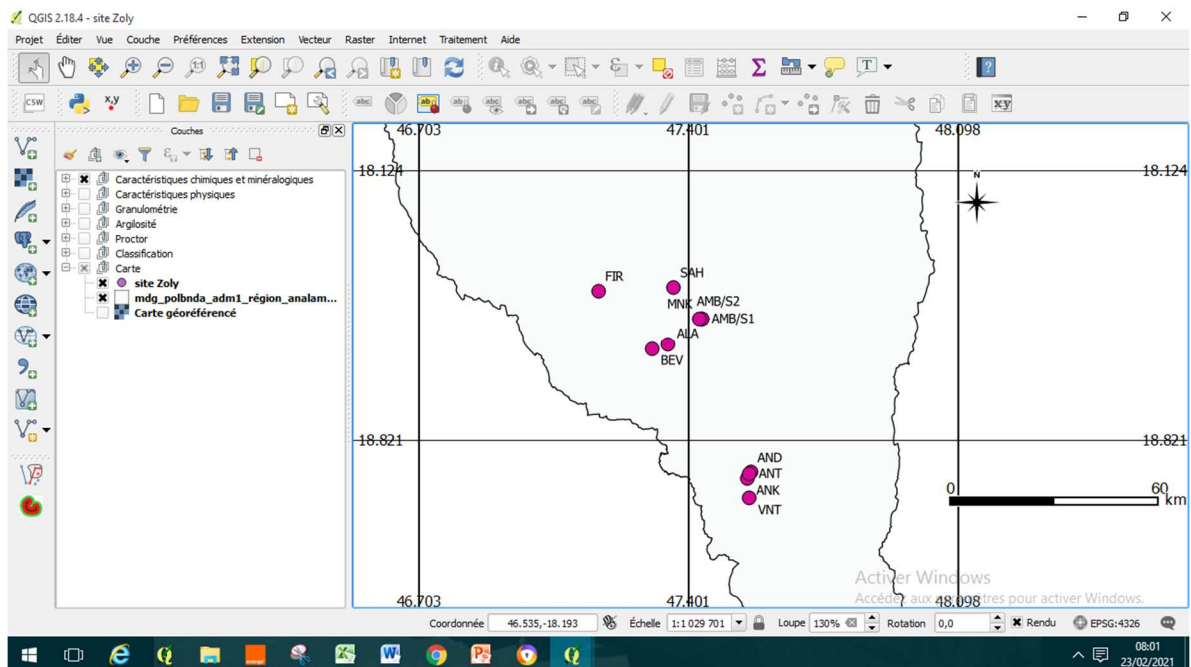


Figure 14: jointure

5.3.4 Exploitations des données attributaires

Les informations de chaque couche introduites sous forme de table dans QGIS pourront être visualisées en ouvrant la commande table d'attribut qui se trouve dans la fenêtre « nom des couches et légendes » (Figure 15).

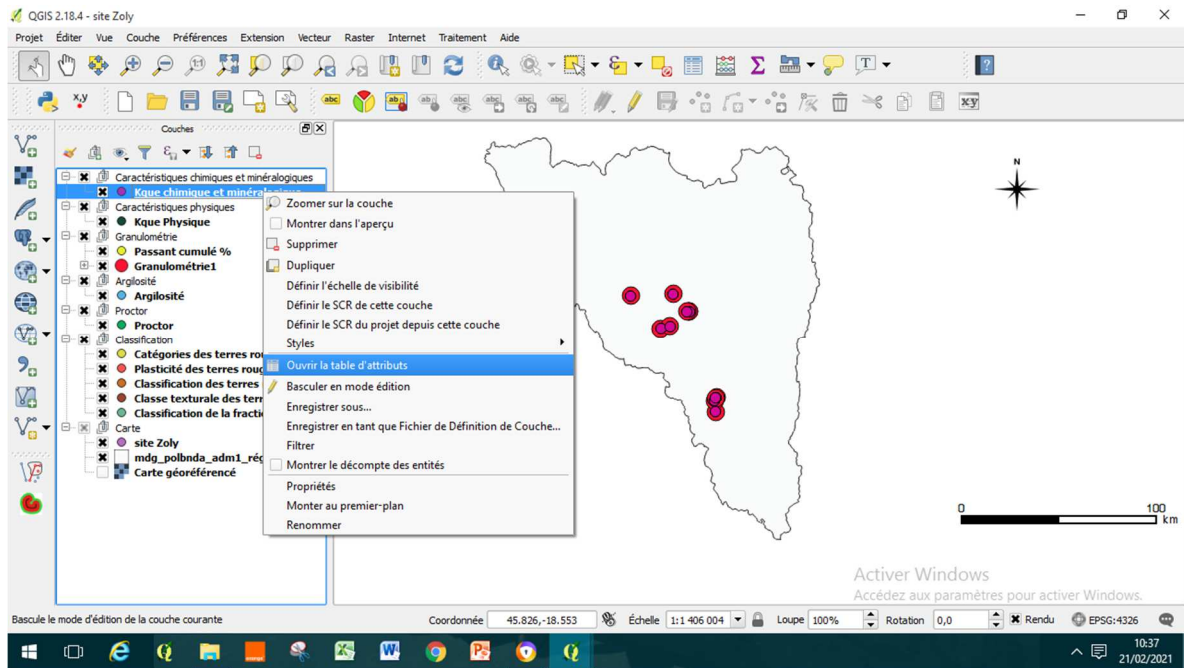


Figure 15 : commande table d'attributs

Une nouvelle fenêtre qui correspond à la couche activée s'ouvre. Si nous prenons par exemple la couche qui correspond aux caractéristiques chimiques des terres rouges, nous pouvons visualiser leurs compositions chimiques dans la table d'attribut correspondante. Dans le cas où les sites .shp se confondent, on peut activer la colonne/ligne de l'information « site » dans la table pour savoir la localisation de ce site.

Exemple : activer l'information 8-FIR dans la table, et le point qui correspond au site FIR s'active et change de format. La figure 16 montre un exemple d'affichage d'une table d'attribut d'une couche).

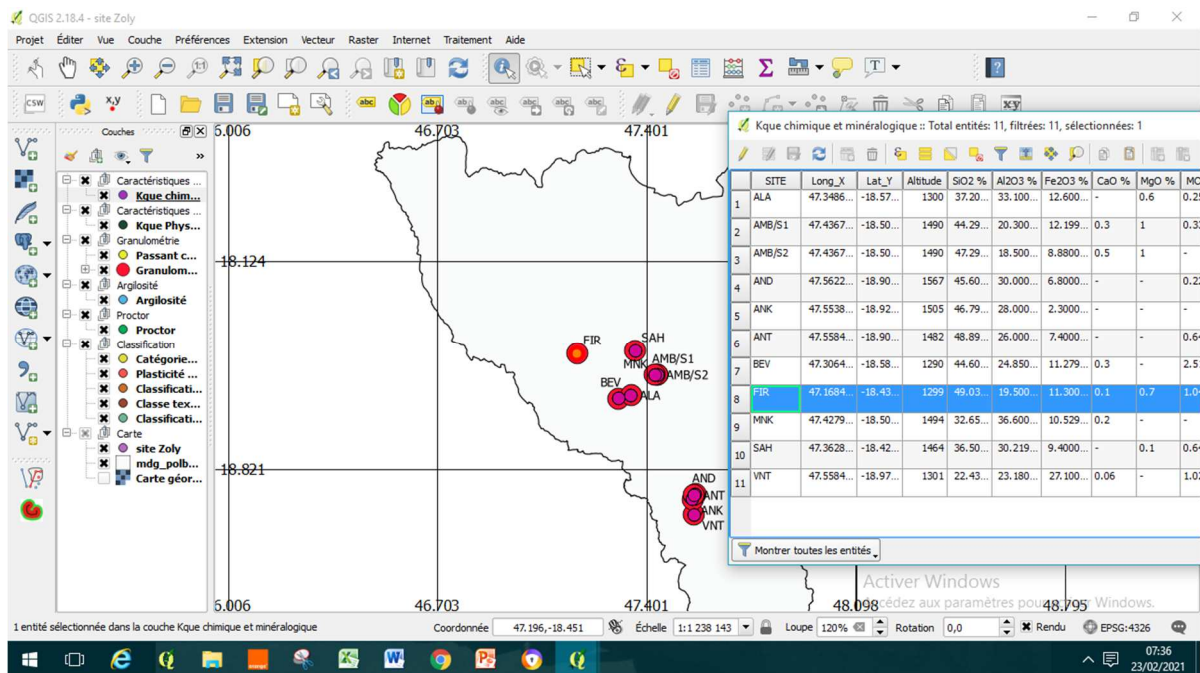



Figure 16 : affichage d'une table d'attribut d'une couche

Une autre commande peut être utilisée pour exploiter les informations sur chaque site. Dans la barre d'outils, on peut utiliser l'icône  pour identifier les entités, c'est-à-dire visualiser les informations sur un site. Une autre fenêtre « identifier les résultats » s'ouvre et montre les informations correspondantes.

Exemple : Information sur le site FIR – Caractéristique chimique (Figure 17).

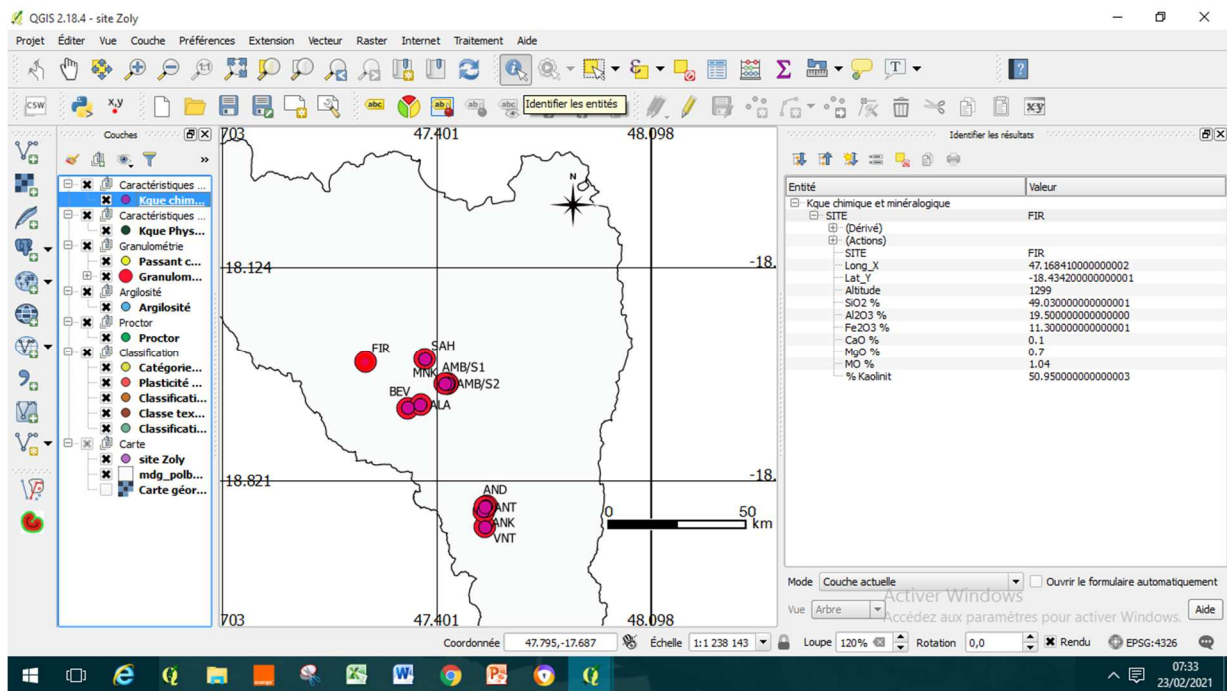


Figure 17 : Identifier les entités

5.3.5 Saisie ou modification des données attributaires

Les données sont modifiables dans QGIS, on peut les mettre à jour à tout moment (supprimer ou ajouter ou modifier). Pareillement, les couches pourront être modifiées, supprimées, ajoutées selon des données recueillies à temps.

La saisie des données dans QGIS consiste à passer en mode édition puis à saisir, modifier, corriger, compléter, supprimer, etc. des entités graphiques et/ou des données attributaires. Les données attributaires peuvent être éditées de plusieurs manières : soit en les modifiant directement dans la table d'attributs ou avec le formulaire de saisie ; soit en utilisant la calculatrice de champ qui permet de remplir les valeurs de chaque champ à partir d'une formule. La première méthode est utilisée plutôt lorsque l'on souhaite modifier les données attributaires de chaque objet. La seconde est destinée à saisir et à modifier les valeurs d'un attribut pour tous les objets d'une couche ou d'une sélection de celle-ci. Choisir la couche à afficher parmi la liste des couches disponibles. Cliquer sur l'icône "Basculer en mode édition" qui est située dans la barre d'outils « Numérisation » (si elle est affichée) ou en faisant un clic droit sur le nom de la couche (menu contextuel). Le mode édition apparaît activé dans la barre d'outils et dans le menu contextuel (clic-droit sur la couche à éditer). Cette même icône apparaît également à gauche du nom de la couche dans le gestionnaire de couches, ce qui constitue un excellent rappel.

5.3.6 Importance de la numérisation et stockage des données dans le logiciel QGIS

Lors des études sur les caractéristiques des terres rouges, les SIG jouent un rôle essentiel : ils sont utilisés pour étudier le terrain et les alentours, stocker et manipuler les données et informations obtenues. La connaissance de ces caractéristiques nous permet de classer les terres rouges et de proposer leurs domaines d'application. Nous pouvons citer entre autres :

- La construction routière [04], [11];
- Les Remblais [02] ;
- Les constructions en terre, telles que: briques en terre crue, briques et blocs en terre comprimée (variant plus récent) ; terre projetée ; briques stabilisées ou non [03], [06], [07];
- L'industrie cimentière : la terre rouge dans la composition du mélange cru, la latérite comme ajout cimentaire [05], [06];
- Les Géopolymères, entre autres la brique LTGS [05].

Le SIG est avant tout un outil d'échange et de collaboration. Face aux données volumineuses qu'il faut exploiter et s'échanger, cet outil nous aidera à faciliter la prise de décision sur l'exploitation des terres rouges pour être utilisées dans la construction et les travaux du génie civil.

6- CONCLUSION

Le travail de recherche mené dans cet article a comme objectif principal de numériser les caractéristiques des terres rouges du point de vue chimique, minéralogique, physique et géotechnique dans un système d'information géographique libre. Toutes les terres rouges étudiées appartiennent à la classe des sols fins ; les échantillons renferment probablement des limons peu plastiques, des argiles peu plastiques et/ou des sables fins argileux. Ces données seront utiles lors d'une prise de décision sur leurs utilisations dans différents domaines, entre autres les travaux de génie civil, la construction routière, les remblais, les matériaux de construction en terre, l'industrie cimentière et les techniques de la géopolymérisation. Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

7- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

7.1 Bibliographie

- [01] Chatelin Y., (1972) : Les sols ferrallitiques, Edition Paris ORSTOM, Collection « Initiations-Documentations Techniques n°20, Paris
- [02] Corte J., Edme H., Fevre A., Giloppe D., Joubert J., and Havard H. (2000) : Réalisation des remblais et des couches de forme, Principes généraux Fascicule I, Edition Juillet 2000, Paris.
- [03] Raharinierana H., (2003) : Contribution à la valorisation des latérites des environs d'Antananarivo. Mémoire de DEA, Département Science des matériaux et métallurgie, Ecole Supérieure Polytechnique
- [04] Rakotomalala Z., (2013) : Caractérisation, étude du comportement mécanique et domaines d'application des terres rouges des environs proches de la région d'Analamanga. Thèse de Doctorat, Département Science des matériaux et métallurgie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Madagascar.
- [05] Rakotomalala Z., (2011) : Contribution à l'étude des propriétés chimiques, physiques et mécaniques des terres rouges en vue d'optimiser la durabilité des routes en terre. Mémoire de DEA en Chimie appliquée à l'industrie et à l'environnement, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Madagascar.
- [06] Ranaivoniarivo G., (1992) : Contribution à l'étude des liants pouzzolaniques de synthèse à base de matériaux thermiquement actifs à moyennes températures, principalement les latérites calcinées, Thèse de Docteur Ingénieur en Science des matériaux, Département Science des matériaux et métallurgie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Madagascar.
- [07] Randriana N., (2004) : Contribution à la stabilisation des latérites par élaboration des liants oxyde de Fer et de silice active. Thèse de doctorat, Département Génie Chimique, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Madagascar.

7.2 Webographie

- [08] Setra, (2014) : Guide technique sur l'utilisation des matériaux, service d'études techniques des routes et autoroutes (setra), <http://dtrf.setra.fr/> (consulté en 15 février 2021)
- [09] Système d'Information Géographique, <https://www.esrfrance.fr/sig11.aspx> (Consulté en 01^{er} Février 2021)

7.3 Les normes

- [10] Norme NF P 94 -093, (2014): Sols, reconnaissance et essais - détermination des références de compactage d'un matériau - essai proctor normal - essai proctor modifié <https://www.boutique.afnor.org/norme>.
- [12] Norme NF P 11 300 et GTR, (2000): Classification des sols.
- [13] Norme NF EN 17 892, (2018): Reconnaissance et essais géotechniques - essais de laboratoire sur les sols - laboratoire sur les sols, <https://www.boutique.afnor.org/norme>.