

# **CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE, MINERALOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DES LATERITES AUX ENVIRONS DE VONTOVORONA, COMMUNE ALAKAMISY FENOARIVO**

Mandimbiharison A.<sup>1</sup>, Raharinierana H.<sup>2</sup>, Mandimbiarimanga T. H.<sup>3</sup>

1- Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), Mention Génie Géologique, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar. [raory@yahoo.fr](mailto:raory@yahoo.fr)

2- Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), Mention Sciences de l'Ingénierie des Matériaux (SIM), BP 1500 Antananarivo 101.

3- Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), Laboratoire de Géotechnologie et Géotechnique.

## **Résumé :**

De nombreux spécialistes ont étudié les latérites mais chacun a sa version, sa compréhension et son interprétation sur leur formation. Dans notre recherche, trois échantillons de latérite de couleur et de roche-mère différentes ont été analysés tant sur les plans physique, chimique, minéralogique que géotechnique. Si certains résultats confirment les travaux des autres auteurs, il y en a qui posent des doutes.

Cet intérêt scientifique et ces divergences traduisent une forte augmentation de la connaissance et font des latérites un grand sujet de recherche qui est loin d'être clos.

**Mots clés :** Latérite, roche-mère, caractérisations, géotechnique, Vontovorona.

## **1. INTRODUCTION**

Les latérites se forment par altération des roches sous les climats tropicaux et constituent des sols de différentes couleurs selon la nature de leur roche-mère. Dans l'ensemble les latérites sont considérées comme des matériaux meubles ou indurés selon leur position dans le profil d'altération.

Le phénomène d'altération se présente sous deux natures différentes :

- L'altération physique ou mécanique : elle se traduit par la fragmentation de la roche mère, due aux grands écarts de température journalière ou saisonnière qui font alterner des contraintes de traction et de compression dans la roche en des temps relativement courts ;
- L'altération chimique dont le principal agent est l'eau de pluies qui pénètre dans les fractures, dans les fissures ou dans les pores de la roche mère.

D'autres facteurs ont une influence prépondérante sur cette altération des roches et la formation des sols latéritiques qui en découlent. Ce sont : le climat, la topographie, la végétation, la nature de la roche-mère.

Si les latérites couvrent 33% des continents, elles se trouvent surtout sur les Hautes Terres Centrales à Madagascar et couvrent plus de la moitié de sa superficie.

## **2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

### **2.1. Localisation administrative**

La zone d'étude, située aux environs du Campus universitaire de Vontovorona de l'Ecole Supérieure Polytechnique, fait partie de la Commune Rurale d'Alakamisy

Fenoarivo dans le District d'Antananarivo Atsimondrano. La figure 1 délimite la zone étudiée.

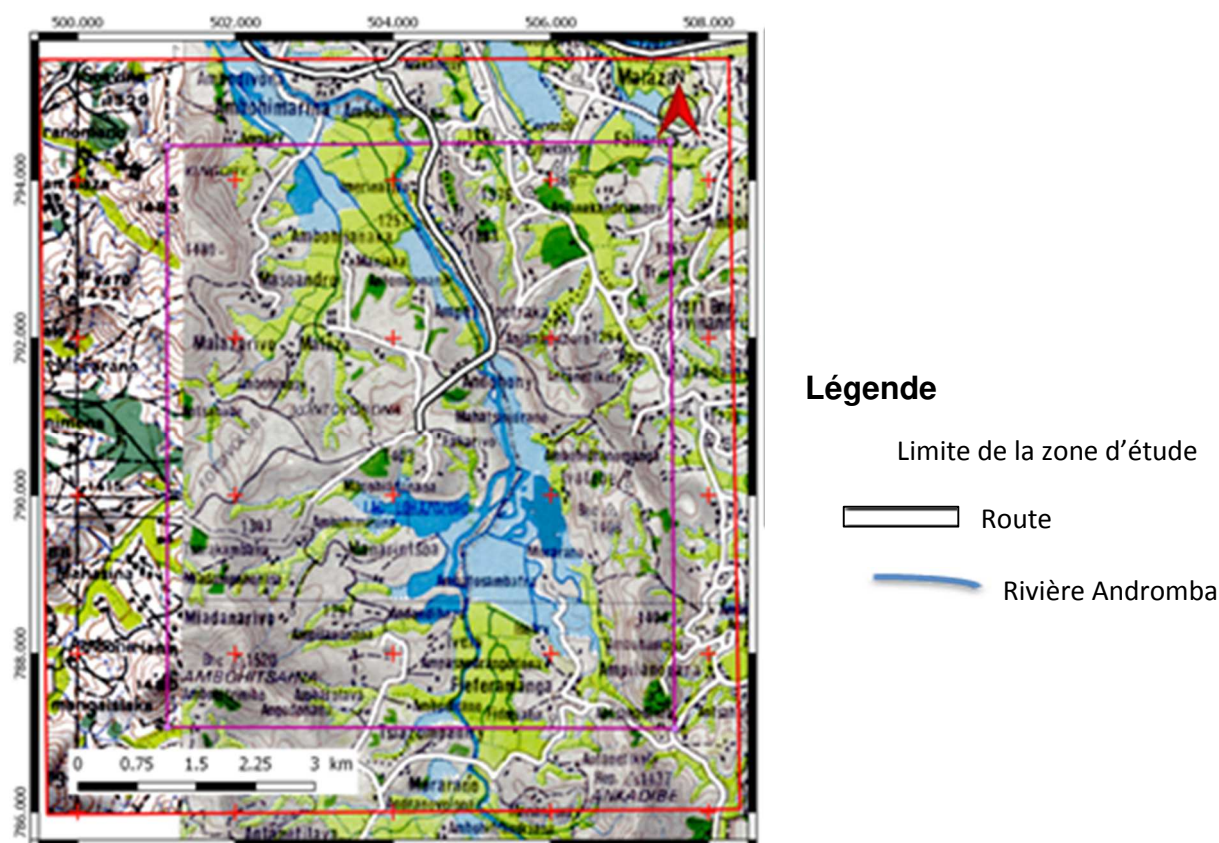


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## 2.2. Contexte morphologique

La morphologie de la zone d'étude est très diversifiée (Mandimbiharison A., 2019) :

- des collines de forme et d'altitude variées (basse, moyenne et haute colline) parsemées de boules rocheuses en altération, essentiellement granitiques et migmatitiques et une colline d'épanchement volcanique;
- d'une vaste plaine rizicole ;

L'altitude varie de 1260 m à 1520 m environ. La dénivellation entre les collines mamelonnées et la vallée marécageuse est très grande.

## 2.3. Hydrographie

La Commune Rurale d'Alakamisy Fenoarivo, y compris Vontovorona, est parcourue par la Rivière Andromba de direction SSE-NNW, un affluent de l'Ikopa. Quelques eaux stagnantes s'y trouvent, en particulier le lac Lohazozoro.

## 2.4. Aperçu géologique

La zone d'étude comporte plusieurs formations géologiques (Figure 2):

- A l'Ouest de la rivière Andromba s'étend un petit plateau basaltique et des migmatites granitoïdes et de migmatites. Le volcanisme de Vontovorona correspond



à celui d'Ankaratra et constitue la phase d'activité volcanique la plus récente (moins de 10.000 ans) ;

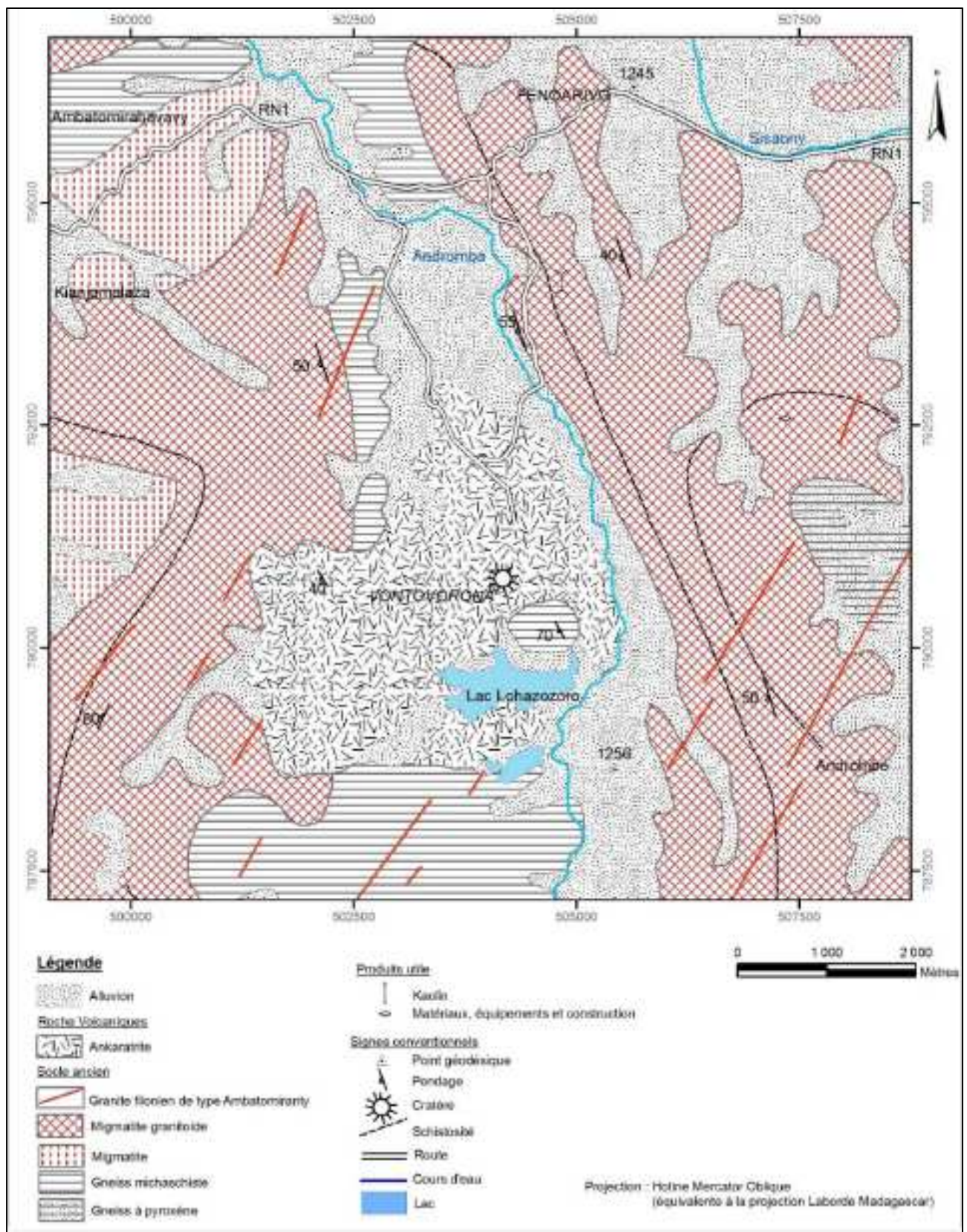


Figure 2 : Les formations géologiques de la zone d'étude (Rajo-Herisoa, 2015).

- Pour la partie l'Est, des hautes collines alignées suivant une direction N20°W s'interposent entre les vallées de l'Andromba et de la Sisaony. Ces collines sont formées par des migmatites granitiques avec quelques intercalations de syénite ;
- Des formations gneissiques apparaissent dans la partie Nord et Sud de la zone d'étude et sur la rive Nord du lac Lohazozoro ;
- Les alluvions fluviales d'âge quaternaire occupent la vaste plaine de la zone d'étude.

Ces formations sont recoupées par le granite filonien d'Ambatomiranty de direction N40.

### 3. METHODOLOGIE




La démarche méthodologique adoptée est classique, elle est basée sur des recherches bibliographiques (travaux antérieurs sur la zone d'étude), sur des observations et travaux sur terrain et enfin sur des essais et analyses au laboratoire.

Nous avons repris les résultats des analyses chimiques et minéralogiques des travaux de recherche de Ramiasoa Tatamo 2016, effectués au laboratoire des argiles à l'Université de Liège.

Pour les analyses physiques et essais géotechniques, nous avons pris les échantillons sur les mêmes points de prélèvement que ceux de Ramiasoa. Ils sont effectués au Laboratoire National des Travaux Publics et de Bâtiments (LNTPB).

Le tableau 1 montre la localisation des points d'échantillonnages pour les analyses physiques et essais géotechniques.

Tableau 1 : Localisation des points d'échantillonnage

N°	Coordonnées	Nature	Observation	illustration
1	S 18° 58' 35,7" E 047°25' 36,7" Z= 1338m	Latérite rouge	Issue de l'altération du basalte, sur le versant du piton volcanique	
2	S 18° 57' 30,3" E 047°25' 52,6" Z= 1283m	Latérite jaunâtre	Issue de l'altération de migmatite granitique	
3	S 18° 57' 02,4" E 047°25' 46,0" Z= 1287m	Latérite blanchâtre	Issue de l'altération du granite avec des intercalations de la syénite	



## 4. RESULTATS DES ANALYSES ET ESSAIS SUR LES LATÉRITES DE VONTOVORONA

Les latérites, objet de l'étude, se trouvent aux environs de Vontovorona dans la Commune Rurale d'Alakamisy Fenoarivo et se distinguent par leur couleur (rouge, jaunâtre, blanchâtre) et par leur roche dérivée.

### 4.1- Caractéristiques physico- chimiques des latérites de Vontovorona

#### 4.1.1- Essais physiques

Il s'agit de déterminer la teneur en eau et le poids spécifique des trois échantillons étudiés. Le tableau 2 récapitule les résultats des analyses physiques

Tableau 2 : Résultats des analyses physiques

Désignations	Nature visuelle	Teneur en eau initiale (%)	Poids spécifique (KN/m <sup>3</sup> )
Latérite blanchâtre	Limon Sableux Blanchâtre	10.5	26.50
Latérite jaunâtre	Limon Argileux légèrement Sableux Jaunâtre	16.2	28.67
Latérite rougeâtre	Limon Argileux Rougeâtre	23,43	28,4

(LNTPB, 2019)

#### 4.1.2- Analyse chimique par fluorescence X

Le tableau 3 présente la composition chimique en éléments majeurs des 3 échantillons de latérites étudiées, exprimée en pourcentage d'oxydes.

Tableau 3 : Composition chimique des 3 échantillons étudiés

Echantillon	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
Latérite rouge	36,25	4,95	23,53	20,76	0,51	0,63	0,04	0,00	0,09	0,5	13,61	100,87
Latérite jaunâtre	49,81	1,25	27,80	8,28	0,03	0,11	0,00	0,00	0,21	0,04	12,27	99,80
Latérite blanchâtre	62,30	0,11	23,23	0,43	0,03	0,00	0,00	0,00	0,16	6,78	6,69	99,73

(Ramiasoa, 2016)

#### 4.1.3- Diffraction au rayon X

Cette méthode permet d'identifier les différentes phases minérales présentes à partir de l'analyse sur poudre totale et de déterminer à partir des fractions totales (fines) les minéraux argileux.

Les figures 3.4 et 5 montrent les diffractogrammes des trois échantillons

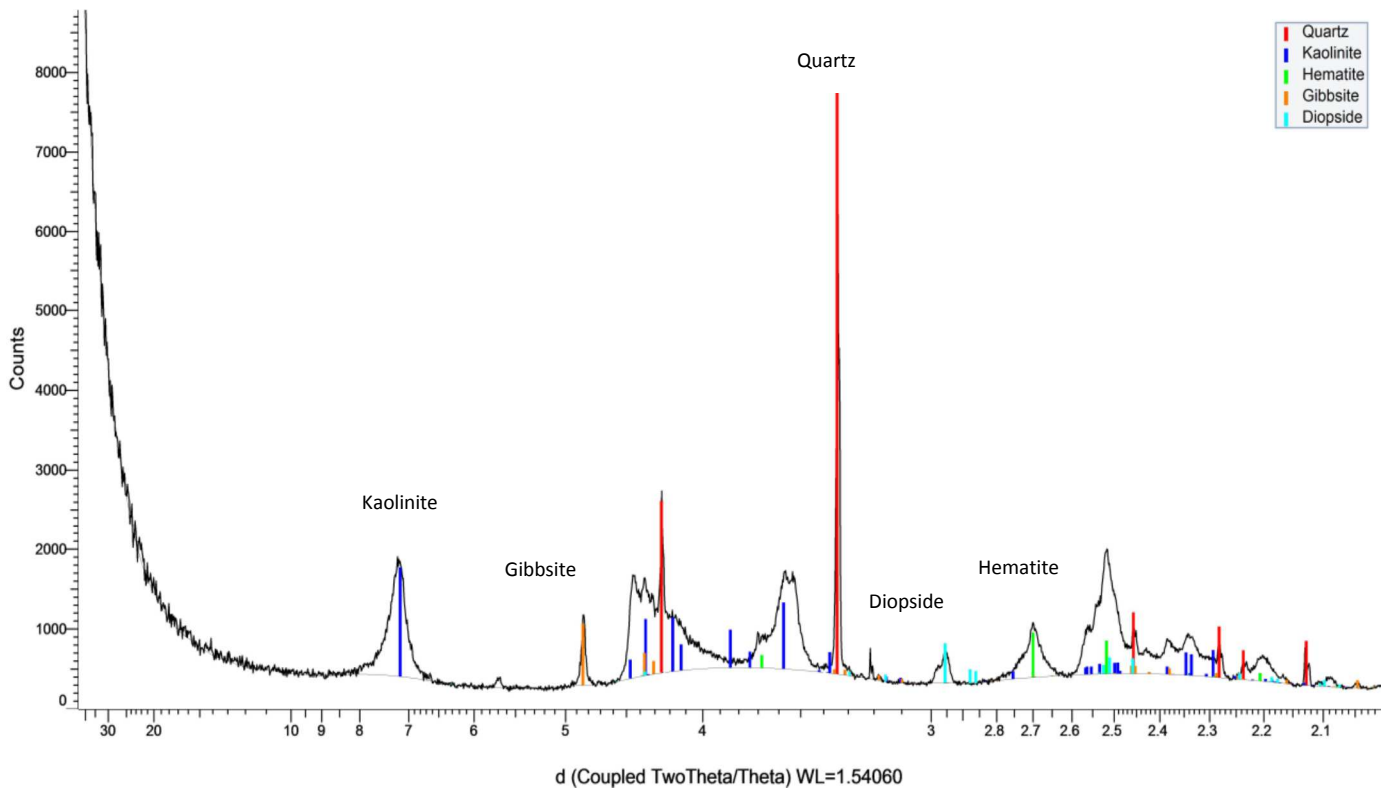


Figure 3 : Diffractogramme sur poudre totale de l'échantillon de latérite rouge (Ramisaso, 2016)

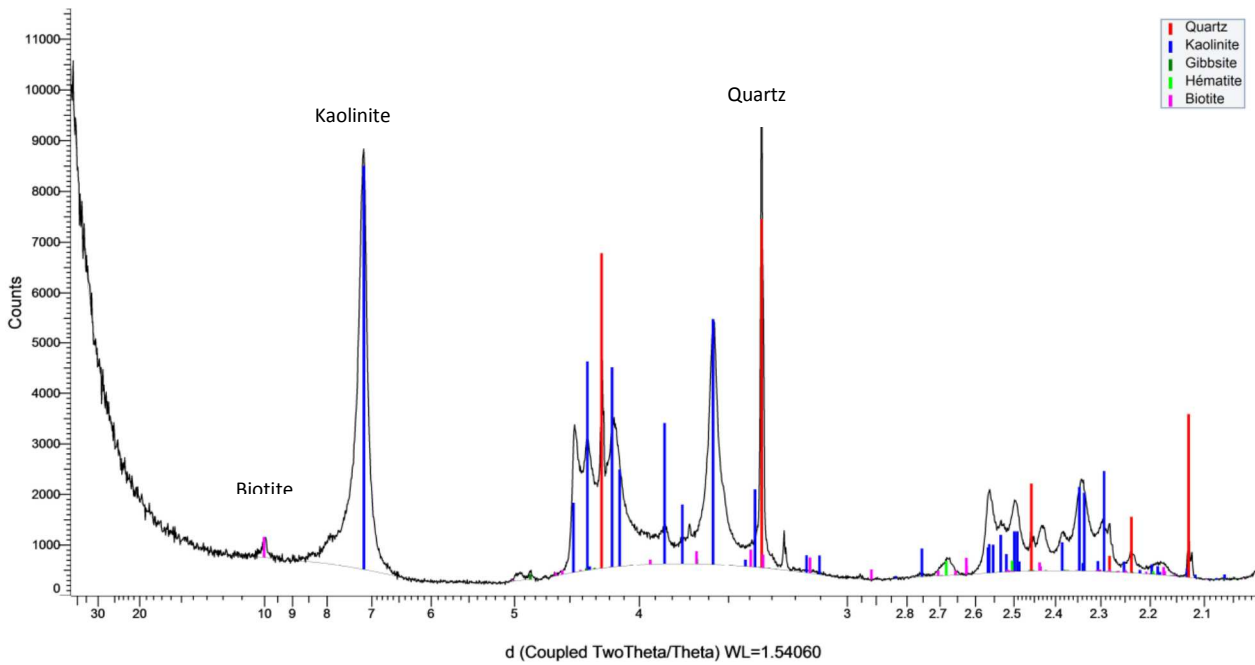


Figure 4 : Diffractogramme sur fraction totale de l'échantillon de latérite jaunâtre (Ramisaso, 2016)

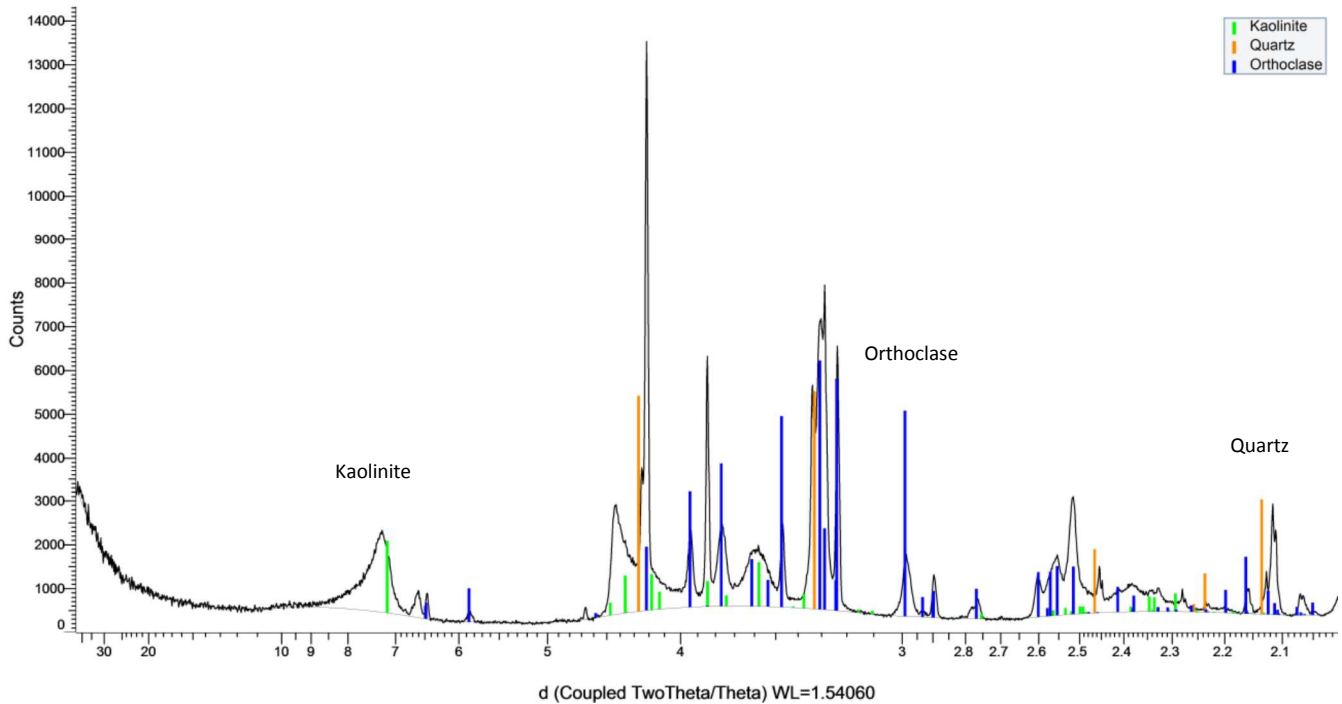


Figure 5 : Diffractogramme sur fraction totale de l'échantillon de latérite blanchâtre (Ramisasa, 2016)

Le tableau 4 montre les proportions des phases minérales identifiées dans la poudre totale pour chaque échantillon de sol.

Tableau 4 : Estimation semi-quantitative de la composition minéralogique des échantillons de sol en %

Type	Minéraux primaires						Minéraux secondaires		
Phase minérale	Quartz	Pyroxène	Mica	Feldspath K	Plagioclase	Illite	Hématite	Gibbsite	Kaolinite
Latérite rouge	21	6	-	-	-	-	7	3	63
Latérite jaunâtre	14	-	4	-	-	10	2	-	70
Latérite blanchâtre	6	-	-	32	-	-	-	-	62

(Ramisasa, 2016)

## 4.2- Caractéristiques géotechniques des latérites de VONTOVORONA

### 4.2.1 – Essais d'identification

#### a) Analyse granulométrique

L'essai consiste à diviser au moyen de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes selon la norme NF EN 12948 Décembre 2010: Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau 5 et la figure 6.

Tableau 5 : Composition granulométrique des 3 échantillons de latérites

Désignation	Nature visuelle	Ouverture des tamis (mm) / Passant(%)									
		5	2	1.0	0,31 5	0.2	0.08	0,065	0,033	0,011	0,001 4
Latérite blanchâtre	Limon Sableux Blanchâtre	100	98	89	62	53	41				
Latérite jaunâtre	Limon Argileux légèrement Sableux Jaunâtre	100	94	83	71	68	60				
Latérite rouge	Limon Argileux Rougeâtre		100	100	99	98	94	93	82	55	25

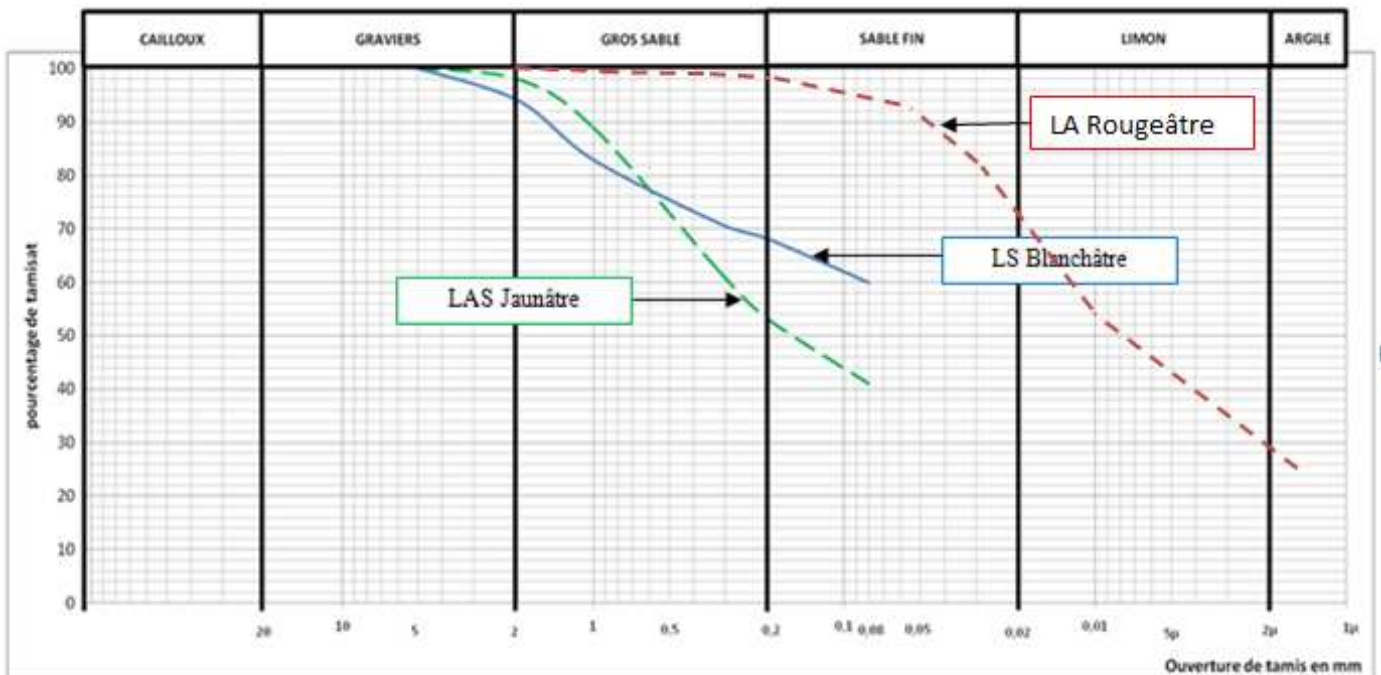


Figure 6 : Représentation des courbes granulométriques des trois échantillons

b) *Limite d'Atterberg*

L'essai consiste à déterminer la plasticité du sol en tenant compte de la limite de liquidité et la limite de plasticité selon la norme NF P 94-051 Mars 1993. Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Les paramètres de la limite d'Atterberg pour les trois échantillons

Désignation	WL %	WP %	IP
Latérite blanchâtre	30.7	19.2	11,5
Latérite jaunâtre	43.4	26	17,4
Latérite rouge	56	32,4	23.6

**WL** : Limite de liquidité  
**WP** : Limite de plasticité  
**Ip** : Indice de plasticité

(LNTPB, 2019)



#### 4.2.2 – Essais de caractérisation

##### c) - Essai Proctor

L'essai Proctor Modifié est réalisé par opération de compactage dans un moule métallique normalisé à l'aide d'une dame modifiée avec un certain nombre de coups bien définis pour déterminer la densité optimale en faisant varier la teneur en eau de compactage selon la norme NF P 94-093 Octobre 2014. Cet essai Proctor modifié a été réalisé du fait de sa conformité avec les travaux de construction routière.

##### d) - Essai CBR

L'essai CBR consiste à déterminer la portance d'un sol compacté à des énergies relatives à l'essai Proctor selon la norme NF P 94-078 Mai 1997.

Il s'agit donc de déterminer expérimentalement des indices qui serviront à déterminer principalement l'épaisseur des couches de fondation.

Le tableau 7 récapitule les résultats de deux essais Proctor et CBR

Tableau 7 : Résultats des essais Proctor et CBR sur les trois échantillons de latérites

Désignations	Essai PROCTOR		Essai CBR (95% OPM)	
	$\gamma_{dmax}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Wopt(%)	Indice CBR	Gonflement (%)
Latérite blanchâtre	18.97	12.6	25	0.78
Latérite Jaunâtre	18.80	17.1	23	0.89
Latérite rouge	17,2	21,8	23	0,19

(LNTPB, 2019)

## 5. INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

L'analyse granulométrique, la limite d'Atterberg et les essais Proctor et CBR des trois échantillons sont récapitulés au tableau 8 et la figure 7 montre leur position dans le diagramme de Casagrande.

Les compositions minéralogique et chimique des éléments principaux sont présentées au tableau 9.

D'après la classification des matériaux GTR 92 (norme NF-P11-300) :

- Le **tamisé à 80 $\mu$ m >35%** est considéré comme de sol assimilable à celui de **fractions fines** ;
- Les seuils retenus pour l'Indice de plasticité (IP) sont 12 ; 25 et 40

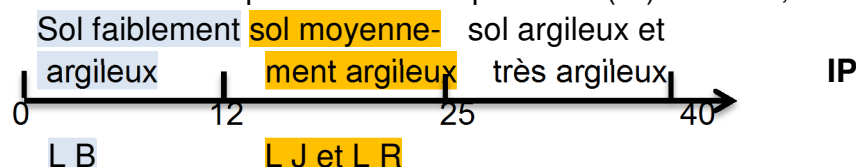


Tableau 8 : Les différents essais géotechniques

Désignations	Analyse granulométrique	Limite d'Atterberg			Essai Proctor		Essai CBR (95% OPM)	
	% en fine (< 0.080mm)	WL	WP	IP	$\gamma_{dmax}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Wopt(%)	Indice CBR	Gonflement (%)
Latérite Blanchâtre	41	30.7	19.2	11.5	18.97	12.6	25	0.78
Latérite Jaunâtre	60	43.4	26	17.4	18.80	17.1	23	0.89
Latérite Rouge	94	56	32.4	23.6	17,2	21,8	23	0,19

Les matériaux pour les remblais doivent remplir les conditions suivantes (GTR) :

- limite de liquidité ( $W_L$ ) inférieure à 65;
- indice de plasticité ( $I_p$ ) inférieure à 25;
- poids volumiques sec Proctor modifié supérieur à 18kN/m<sup>3</sup>;
- indice Portant CBR à 96 heures d'imbibition (teneur en eau OPM) et à 95% de l'OPM supérieur à 15;
- présente un gonflement linéaire au moule CBR à la densité exigée à la mise en œuvre inférieure à 2%;

➔ Seule la latérite Rouge ne remplit pas ces conditions donc ne peut pas être utilisé comme matériau de remblai

Les matériaux à sols fins ( $D_{max} \leq 50\text{mm}$ ) pour couche de forme doivent remplir les conditions suivantes :

- indice de plasticité inférieure ou égal 20;
- indice CBR supérieur à 15 après 96 heures d'immersion;
- gonflement linéaire au moule CBR inférieur à 1%.

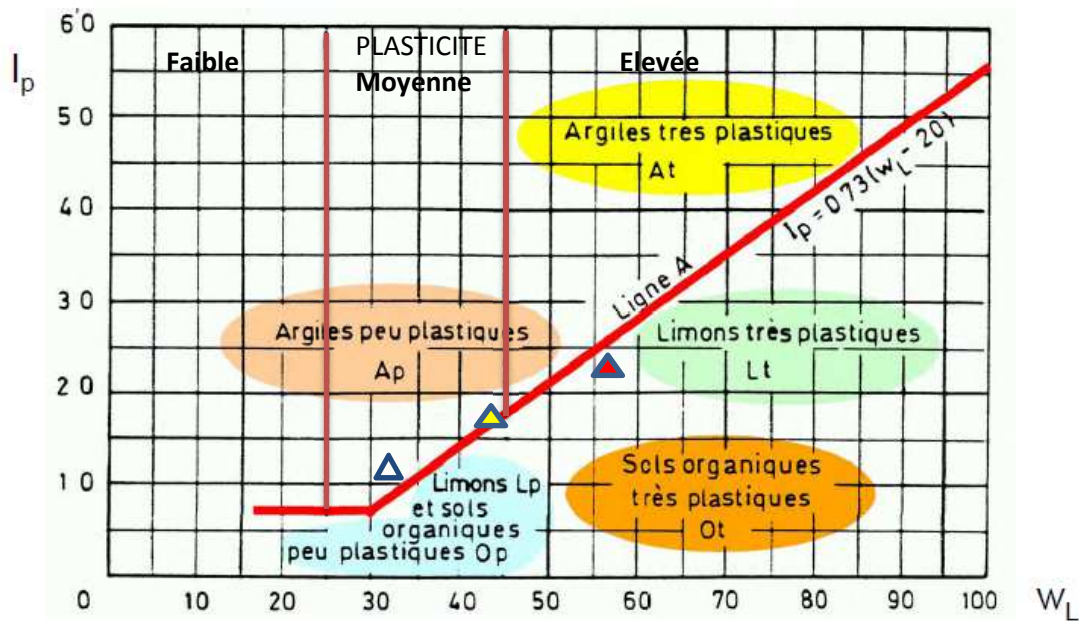
➔ Les latérites jaunâtre et blanchâtre peuvent être utilisées comme couche de forme.

Les deux latérites jaunâtre et blanchâtre peuvent être utilisées en tant que matériaux de remblai et comme couche de forme pour la construction routière.

La figure 7 montre la position des trois types de latérites dans le diagramme de Casagrande.

Différentes études ont montré que les latérites sont composées principalement d'oxydes de fer, d'oxydes d'Aluminium et de minéraux argileux. Le fer est généralement retrouvé sous forme de goethite  $\text{FeOOH}$  ou d'hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , l'alumine sous forme de gibbsite  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou boehmite  $\text{AlO}(\text{OH})$  et les argiles dont la plus commune aux sols résiduels tropicaux est la kaolinite  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Ce matériau renferme aussi une grande quantité de silice libre ou combinée (Souley, 2016).

Le tableau 10 présente les constituants majeurs des latérites (Rakotoarisoa R.M.E, 2019).



▲ Latérite Rouge    ▲ Latérite Jaunâtre    ▲ latérite Blanchâtre

Figure 7 : Position des trois échantillons dans le diagramme de plasticité de Casagrande

Tableau 9 : Compositions minéralogique et chimique des trois échantillons de latérites

Type	Minéraux primaires					Minéraux secondaires			Composition chimique des éléments principaux		
Phase minérale	Quartz	Pyroxène	Mica	Feldspath K	Illite	Hématite	Gibbsite	Kaolinite	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Latérite rouge	21	6	-	-		7	3	63	36.25	23.53	20.76
Latérite jaunâtre	14	-	4	-	10	2	-	70	49.81	27.8	8.28
Latérite blanchâtre	6	-	-	32		-	-	62	62.3	23.23	0.43

Tableau 10 : Les constituants majeurs des latérites

Oxydes de fer	Oxydes d'aluminium	Minéraux argileux	Minéraux siliceux
Goethite Limonite : Communs Hématite	Gibbsite : commun Bohemite : plus rare	Kaolinite : commun Halloysite : plus rare	Quartz : commun
Magnémite Magnétite : plus rares Ilménite	Corindon très rares Diaspore	Illite rares Montmorillonite	

(Rakotoarisoa, 2019)

L'abondance de Feldspath et le peu de Quartz dans les minéraux primaires de la latérite blanchâtre peut indiquer la nature syénitique de la roche mère.

De nombreux auteurs ont essayé de proposer des critères permettant de classer les latérites.

En général, ces critères étaient basées sur les proportions relatives de silice, d'alumine et d'oxyde fer contenu dans la latérite (Rafidiniaina L.H., 2013) Parmi ces proportions :

- Lacroix (1913) classe les latérites selon la somme des teneurs en oxydes de fer et d'alumine, représentée par le tableau 11.

Tableau 11 : Classification des latérites selon Lacroix

Classe	Teneur En Oxydes De Fer Et D'aluminium
Latérite	100 à 90 %
Latérite argileuse	90 à 50 %
Argile latéritique	50 à 10 %
Argile	10 à 0%

➔ Les trois échantillons se trouvent dans la classe de l'argile latéritique

- Martin et Doyen (1930)

- Classification en fonction du ratio silice alumine  $k_i = \frac{\frac{SiO_2}{60}}{\frac{Al_2O_3}{102}}$
- Classification en fonction de la silice sesquioxyde  $k_r = \frac{\frac{SiO_2}{60}}{\frac{Al_2O_3}{102} + \frac{Fe_2O_3}{160}}$

Une valeur de  $k_i$  faible est attribuée aux latérites. D'autre part, suivant les valeurs de  $k_r$ , on peut classer les latérites en :

- latérites vraies si  $k_r < 1.33$
- roches latéritiques si  $1.33 < k_r < 2$
- sols tropicaux non latéritiques si  $k_r > 2$

Le tableau 12 montre la classe de chaque échantillon selon la classification de Martin et Doyen.

Tableau12 : Classification des latérites selon Martin et Doyen

Echantillon	Valeur $K_r$	Classe
Latérite rouge	1.68	Roche latéritique
Latérite jaunâtre	2.56	sols tropicaux non latéritiques
Latérite blanchâtre	4.51	sols tropicaux non latéritiques

Les résultats sur les deux types de classification sont différents, ainsi l'utilisation de ces rapports ne suffit pas à caractériser entièrement les latérites. En effet, différents minéraux inclus dans le profil latéritique et la cuirasse tel que le quartz peut de nature à élever le rapport.



## 6. CONCLUSION

Les matériaux latéritiques aux environs du Campus de Vontovorona se distinguent par leur couleur, leur origine, leurs caractéristiques physique, chimique, minéralogique et géotechnique. Le tableau 11 récapitule certains paramètres permettant de voir si des corrélations existent entre eux.

Tableau 11 : Récapitulatif de certains paramètres lithologique, géotechniques et chimiques.

	Désignation	Roche mère	Ip	$\gamma_{dmax}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Wopt (%)	I <sub>CBR</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Plus foncée	Latérite rouge	Basalte	23,6	17,2	21,8	23	36,25	23,53	20,76
	Latérite jaunâtre	Migmatite granitique	17,4	18,80	17,1	23	49,81	27,80	8,28
Plus claire	Latérite blanchâtre	Granite avec intercalation de syénite	11,5	18,97	12,6	25	62,30	23,23	0,43

De ce tableau, il ressort que plus la couleur de la latérite est foncée, la teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, le pourcentage de Wopt et la valeur de Ip sont élevés. Ces quatre paramètres ont donc une forte corrélation positive. Inversement à cela les valeurs de  $\gamma_{dmax}$  et de SiO<sub>2</sub> sont moindres. La teneur assez élevée en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans un matériau augmente-t-elle son Indice de Plasticité (Ip) ? La mélange de la latérite rouge avec une certaine quantité de latérite blanchâtre diminue-t-elle l'Ip ou en augmente-t-elle le CBR ? Voilà une piste pour la recherche future.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Mandimbiharison A.** 2019 : Contexte géomorphologique des géomatériaux et leurs caractéristiques géomécaniques dans les environs du campus Vontovorona, Communication lors du Colloque en Géosciences lors de 130<sup>e</sup> anniversaire IOGA, à l'Academie Malagasy (26-27 Sept 2019)

**Rafidiniaina L. H.** 2008 : Banque des données pluridisciplinaires sur les latérites, Mémoire de DEA à l'ESPA 69p

**Rajo-Herisoa A.** 2015 : Cartographie géologique au 1 : 50 000, par la géomatique, de Vontovorona Commune Rurale Alakamisy- Fenoarivo, Mémoire d'Ingénieur, Département de Géologie, ESPA, Université d'Antananarivo.

**Rakotoarisoa R.M.E.** 2019 : Etude de la stabilisation de la latérite par les déchets plastiques, cas de la latérite de Vontovorona, Mémoire de Master en Ingénierie Pétrolière ESPA, 121p

**Ramisaso T. M.** 2016 : Valorisation des géoressources argileuses de Vontovorona Tananarive (Madagascar), Mémoire de Master, Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Liège.

**Randrianantenaina L.** 2013 : Contribution à l'étude de stabilisation de la latérite par le purin de bœuf, cas de la latérite de Vontovorona, Mémoire d'Ingénieur en Génie Chimique, ESPA

**Souley Issiakou M.** 2016, Caractérisation et valorisation des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger Thèse de Doctorat à l'Université de Bordeaux 323p