



RAPPORT SCIENTIFIQUE

Titre du Projet : Caractérisation des sols de Gamboura (Mayo-Tsanaga Sud), de Lara (Mayo-Kani), Tchatibali (Mayo-Danay sud) Extrême-Nord Cameroun et Dibi (Vina, Adamaoua) et évaluation du pouvoir fertilisant des granites, vertisols et pyroclastites.

Rédigé par :

M. KOYANG Jérôme (Master Student) ;

M. BABE André (Master Student);

M. MARFA SEMANGUE Rene (Master Student) ;

Mlle. KENMEUGNE KAMSU Aure Nina (Master Student).

Mars 2024

L'objectif de ce rapport est de présenter la démarche méthodologique ainsi les principaux résultats des travaux réalisés dans le cadre du projet CMR004 intitulé Caractérisation des sols de Gamboura (Mayo-Tsanaga Sud), de Lara (Mayo-Kani), Tchatibali (Mayo-Danay sud) Extrême-Nord Cameroun et Dibi (Vina, Adamaoua) et évaluation du pouvoir fertilisant des granites, vertisols et pyroclastites.

Ce projet qui s'est déroulé de juillet à avril 2024 dans les localités de Gamboura, Lara, Tchatibali (Extrême-Nord, Cameroun) et de Dibi, (Adamaoua Cameroun) visait à caractériser les sols sur le plan macromorphologique et physico-chimiques et d'évaluer le potentiel fertilisant des granites, des vertisols et des pyroclastites.



Résumé

La présente étude est une contribution à la connaissance des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali (Extrême-Nord Cameroun), de Dibi (Adamaoua Cameroun) et l'évaluation du potentiel fertilisant des granites, des vertisols et des pyroclastites sur ses sols.

Pour atteindre ces objectifs, des travaux de terrain (exploration pédologique, ouverture, description des puits et le prélèvement des échantillons) et de laboratoire ont été menés. Les granites, les pyroclastites et les vertisols ont été finement broyés et mélangés avec les sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi à des concentrations de 10%, 20% et 30% et des essais de fertilisation ont été mis en œuvre sur 1,2 et 3 mois d'incubation. Le potentiel fertilisant de ces matériaux géologiques est évalué à travers le suivi des paramètres physico-chimiques (teneur en bases échangeables, CEC, pH et taux de saturation du sol). L'analyse macromorphologique couplée aux analyses physico-chimiques ont permis de distinguer plusieurs types de sols : à Gamboura (les régosols, Les sols de couleur brun jaunâtre à jaune), à Lara (les sols ferrugineux tropicaux et les vertisols), à Tchatibali (les sols ferrugineux tropicaux, les vertisols et les sols hydromorphes) et à Dibi (les sols gris sombre et les sols rouges).

L'apport des matériaux géologiques locaux a induit une amélioration des propriétés physico-chimiques (CEC, pH, SBE et V) des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi. Le calcium, magnésium et le potassium se situent au-delà du seuil de carence. Le pH de ces sols passe de faiblement acide, à neutre et légèrement alcalin. La balance cationique reste équilibrée, avec un très fort enrichissement des sols traités en calcium. Les essais menés montrent que le meilleur dosage est obtenu avec la concentration de 30% de granite. Ainsi, les granites, les vertisols et les pyroclastites peuvent être utilisés pour reminéraliser les sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali, et Dibi apparaissant donc comme une alternative aux engrais chimiques coûteux et polluants.

Mots clés : Gamboura, Lara, Tchatibali, Dibi, sols, granites, vertisols, pyroclastites



Table des matières

Résumé	2
Listes des figures.....	10
Listes des tableaux.....	16
Introduction	17
2. Revue de la littérature	20
2.1. Définition du concept d'agrogéologie.....	20
2.2. Historique du concept d'agrogéologie.....	20
2.3. Définition et historique des granites.....	21
2.4. Aperçu sur les granites du Nord et de l'Extrême-Nord Cameroun.....	22
2.5. Généralités sur les vertisols	23
3.Méthodologie	25
3.1. Travaux préliminaires	25
3.2. Les Etudes d'incubation.....	26
3.2.1. Préparation des sols, du matériel fertilisant et mise en place du dispositif expérimental.....	27
3.2.1.1. Préparation des sols.....	27
3.2.1.2. Préparation du matériel fertilisant	27
3.2.2. Préparation du dispositif expérimental	29
3.3. Méthode de laboratoire.....	31
3.3.1. Analyse physico-chimique : Mesure du pH.....	31
3.3.2. Détermination de la teneur en carbone organique et de la matière organique	31
3.3.3. Dosage de l'azote total.....	32
3.3.4. Analyses chimiques	32
3.3.5. Détermination de quelques indices de fertilité	34
3.3.6. Indice de Forestier (I_F)	34
3.3.7. Equilibre de la balance cationique $Ca^{2+}/Mg^{2+}/K^+$	34
3.3.8. Coefficient de richesse relative.....	35
4. Résultats	35
4.1. Caractéristiques morphologiques des sols de Gamboura	35
4.1.1. Profil au sommet.....	35



4.1.2. Profil à mis-pente.....	36
4.1.3. Profil en bas de pente	37
4.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Gamboura.....	39
4.2.1. Variation de la granulométrie en fonction de la profondeur	39
4.2.2. Variation du pH en fonction de la profondeur	40
4.2.3. Variation de la CEC, SBE et le taux de saturation V%	41
4.3. Caractérisation morphologique des sols de Lara	41
4.3.1. Profil au sommet.....	41
4.3.2. Profil à pente	42
4.3.3. Profil à mi-pente	43
4.3.4. Profil en bas de pente	44
4.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Lara.....	46
4.4.1. Variation des teneurs en argile, limon et sables suivant la toposéquence en fonction de la profondeur.....	46
4.4.2.CEC et somme des bases échangeables (SBE).....	48
4.5. Caractérisation morphologique des sols de Tchatibali	50
4.5.1. Profil de Kama	50
4.5.2. Profil de Youaye-ni-mbogue	51
4.5.3. Profil de Guitare	51
4.5.4. Profil de Djaolane	52
4.6. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Tchatibali.....	53
4.6.1. Profils de Kama	53
4.6.2. Profil de PY	55
4.6.3. Profil PG	57
4.6.4. Profil PJ	58
4.7. Caractéristiques morphologiques des sols de Dibi	60
4.7.1. Profil au sommet.....	60
4.7.2. Profil situé à mi-pente	62
4.7.3. Profil situé en bas de pente	63
4.8. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Dibi.....	64



4.8.1. Granulométrie pour les trois profils.....	64
4.8.2. pH.....	65
4.8.3.CEC et SBE.....	66
5.Étude du potentiel fertilisants des matériaux géologiques locaux : essai d’incubation.	67
5.1. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura.....	67
5.1.1 Sommes des bases échangeables.....	67
5.1.2. La CEC, la SBE et le pH	68
5.1.3. Le taux de saturation	69
5.2. Amendement avec 20 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura.....	70
5.2.1. Sommes des bases échangeables.....	70
5.2.2. La CEC, la SBE et le pH	71
5.2.3. Le taux de saturation	72
5.3. Amendement avec 30 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura.....	73
5.3.1. La somme des échangeables.....	73
5.3.2. La CEC, la SBE et le pH	74
5.3.3. Le taux de saturation	75
5.4. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara.....	76
5.4.1. La somme des bases échangeables.....	76
5.4.2. La CEC, la SBE et pH.....	77
5.4.3. Le taux de saturation.	78
5.5. Amendement avec 20 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara.....	78
5.5.1. La somme des bases échangeables.....	79
5.5.2. La CEC, la SBE et le pH	79
5.5.3. Le taux de saturation	80
5.6. Amendement avec 30 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara.....	81
5.6.1.La somme des bases échangeables.....	81
5.6.2. La CEC, la SBE et le pH	82
5.6.3. Taux de saturation.....	83
5.7. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali.....	83
5.7.1. La somme des bases échangeables.....	84



5.7.2. La CEC, la SBE et le pH	85
5.7.3. Taux de saturation	85
5.8. Amendement avec 20 % des vertisols dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali	86
5.8.1. La somme des bases échangeables	87
5.8.2. La CEC, la SBE et le pH	88
5.8.3. Taux de saturation	88
5.9. Amendement avec 30 % des vertisols dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali	89
5.9.1. La somme des bases échangeables	90
5.9.2. La CEC, la SBE et le pH	90
5.9.3. Taux de saturation	91
5.10. Amendement avec 10 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi	92
5.10.1. La somme des bases échangeables	92
5.10.2. La CEC, la SBE et le pH	93
5.10.3. Taux de saturation	94
5.11. Amendement avec 20 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi	95
5.11.1. La somme des bases échangeables	95
5.11.2. La CEC, la SBE et le pH	96
5.11.3. Taux de saturation	97
5.12. Amendement avec 30 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi	98
5.12.1. La somme des bases échangeables	98
5.12.2. La CEC, la SBE et le pH	99
5.12.3. Taux de saturation	100
6. Discussion	100
6.1. Localité de Gamboura	100
6.1.1. Morphologie des sols de Gamboura	100
6.1.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Gamboura	101
6.1.2.1. pH_{eau}	101
6.1.2.2. Somme des bases échangeables	101
6.1.2.3. Capacité d'échange cationique	101
6.1.2.4. Taux de saturation	101



6.1.2.5. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	102
6.1.2.6. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K du sol témoin	103
6.1.2.7. Équilibre cationique et taux de richesse relative	104
6.1.2.8. Indice de Forestier des sols témoins	105
6.1.3. Fertilité chimique des sols traités par la poudre de granite de Gamboura	106
6.1.3.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	106
6.1.3.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K	107
6.1.3.3. Équilibre cationique et taux de richesse relative	107
6.1.3.4. Indice de Forestier des sols traités	108
6.1.3.5. pHeau	108
6.1.3.6. Capacité d'échange cationique	108
6.1.3.7. Taux de saturation	109
6.2. Localité de Lara.	109
6.2.1. Morphologie des sols de Lara	109
6.2.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Lara	109
6.2.2.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	109
6.2.2.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg) /K de sol témoin.....	111
6.2.2.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative.....	112
6.2.2.4. Indice de Forestier des sols témoins.....	113
6.2.2.5. Capacité d'échange cationique.....	114
6.2.2.6. pHeau	114
6.2.2.7. Taux de saturation	115
6.3. Fertilité chimique des sols amendés par les granites	115
6.3.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K).....	115
6.3.2. Rapports Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K.....	115
6.3.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative	116
6.3.4. Indice de Forestier des sols amendés	116
6.3.5 Capacité d'échange cationique des sols amendés	117
6.3.6. pHeau des sols amendés.....	117
6.3.7. Taux de saturation des sols amendés.....	117



6.4. La localité de Tchatibali	117
6.4.1. Morphologie des sols de Tchatibali	117
6. 4.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Tchatibali	118
6.4.2.1. Seuil de carence et de déficience (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺)	118
6.4.2.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K de sol témoin	120
6.4.2.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative	120
6.4.2.4. Indice de Forestier des sols témoins	122
6.4.2.5. Capacité d'échange cationique	122
6.4.2.6. pH_{eau}	123
6.4.2.7. Taux de saturation	123
6.5. Fertilité chimique des sols amendes par les vertisols	123
6.5.1 Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	123
6.5.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K	123
6.5.3. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	124
6.5.4. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K	124
6.5.5. Indice de Forestier	125
6.5.6 Capacité d'échange cationique	125
6.5.7. pH eau	126
6.5.8. Taux de saturation	126
6.6. Localité de Dibi	126
6.6.1. Caractéristiques morphologiques des sols de Dibi	126
6.6.2. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	127
6.6.3. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K du sol témoin	128
6.6.4. Equilibre cationique et taux de richesse relative	128
6.6.5. Indice de Forestier des sols témoins	130
6.6.6. Capacité d'échange cationique	130
6.6.7. pH eau	130
6.6.8. Taux de saturation	131
6.7. Fertilité chimique des sols traités	131
6.7.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)	131



6.7.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K	131
6.7.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative	132
6.7.4. Indice de Forestier	132
6.7.5. Capacité d'échange cationique.....	132
6.7.6. pH eau.....	133
6.7.7. Taux de saturation	133
Conclusion.....	134
Bibliographie.....	136
annexes.....	142



Listes des figures

Figure 1:: Lame mince de granite au microscope en lumière polarisée analysée.....	22
Figure 2 : Méthode d'échantillonnage systématique par quadrillage et en diagonale	26
Figure 3 : Principe de quartage et d'homogénéisation du sol	27
Figure 5 : granites de Lara a) avant broyage b) après broyage.....	28
Figure 4 : : granites de Gamboura a) avant b) après broyage	28
Figure 6 : vertisols avant et après broyage	29
Figure 7 : pyroclastites basaltique de Dibi a) avant broyage b) apres broyage	29
Figure 8 : Dispositif expérimental	30
Figure 9 : exemple de la mise en place du dispositif expérimentale mis en place	30
Figure 10 : Organisation morphologique des sols du profil au sommet et horizons de ce profil	36
Figure 11 : Organisation morphologique des sols du profil à mi pente et horizons de ce profil	37
Figure 12 : : Organisation morphologique des sols du profil en bas de la pente et horizons de ce profil	38
Figure 13 : Profil topographique présentant les différents puits : (H1 : Horizon 1, H2 : Horizon 2, H3 : Horizon 3, H4 : Horizon 4, H5 : Horizon 5).....	39
Figure 14 : variation de la granulométrie dans les sols de Gamboura.....	40
Figure 15 : variation du pH.....	40
Figure 16 : variation de la CEC, SBE et le taux de saturation (V%).....	41
Figure 17 : Organisation morphologique des sols du profil au sommet et horizons de ce profil	42
Figure 18 : Organisation morphologique des sols du profil à pente et horizons de ce profil..	43
Figure 19 : Organisation morphologique des sols du profil à mi-pente et horizons de ce profil	44
Figure 20 : Organisation morphologique des sols du profil en bas de pente et horizons de ce profil.....	45
Figure 21 : disposition des puits suivant la toposéquence	46



Figure 22: Variations d’argiles, de limons et de sables le long des profils ESP1S et ESP2P en fonction de la profondeur.....	47
Figure 23: Variations d’argiles, de limons et de sables le long des profils ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.	47
Figure 24: Variations du pH dans les profils ESP1S, ESP2P, ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.	48
Figure 25: : Variations de la somme des bases échangeables et du CEC dans les profils ESP1S, ESP2P, ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.....	49
Figure 26 : Profil de Kama.....	50
Figure 27: Profil de Youaye ni mbogue.	51
Figure 28 : Profil de Guitare	52
Figure 29: Profil de Djaolane.....	53
Figure 30 : Variation du sable, de limon, d’argile et du pH en fonction de la profondeur pour le profil PK.....	54
Figure 31 : Variation du CEC et SBE en fonction de la profondeur du profil PK.	55
Figure 32 : Variation du sable, de limon , d’argile et du pH en fonction de la profondeur du profil PY.....	56
Figure 33 : Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PY.....	56
Figure 34 : Variations du sable, limon , de l’argile et pH en fonction de la profondeur du profil PG.	57
Figure 35: Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PG.	58
Figure 36 : Variations du sable, limon , d’argile et du pH en fonction de la profondeur du profil PJ.....	59
Figure 37 : Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PJ.	60
Figure 38 : Horizons pédologiques situés au sommet de la pente.....	61
Figure 39: Horizons pédologiques situés au sommet de la pente.....	62
Figure 40: horizons pédologiques en bas de pente	63
Figure 41 : disposition des puits suivant la toposéquence	64



Figure 42: Evolution du taux d'argile, de limons et de sables le long du profil P1, P2 et P3	65
Figure 43: Evolution du pH le long des profils P1, P2 et P	65
Figure 44: Evolution de la somme des bases échangeables, de la capacité d'échange cationique le long du profil P1, P2 et P3	66
Figure 45: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% des granites au sol.	68
Figure 46 : Variation de la CEC de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% des granites au sol	69
Figure 47 : Variation de la teneur en taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% des granites au sol	69
Figure 48 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% des granites au sol	71
Figure 49 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% des granites au sol	72
Figure 50 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de des granites au sol	72
Figure 51 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% des granites au sol	74
Figure 52: Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH, en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% des granites au sol	75
Figure 53 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% des granites au sol	75
Figure 54 : Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de granites au sol	76
Figure 55 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de granites au sol	77
Figure 56 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de granites au sol	78



Figure 57: Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de granites au sol.....	79
Figure 58: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 20% de granites au sol.....	80
Figure 59: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 20% de granites au sol.....	80
Figure 60: Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de granites au sol.....	81
Figure 61: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 30% de granites au sol.....	82
Figure 62 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 30% de granites au sol.....	83
Figure 63: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 10% de vertisol au sol de Tchatibali	84
Figure 64: Variation du taux du CEC, du SBE, et du PH après un mois d'incubation de la dose de vertisol au sol de Tchatibali.	85
Figure 65: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de vertisol au sol de Tchatiba	86
Figure 66: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 20% de vertisol au sol de Tchatibali.	87
Figure 67: Variations du taux du CEC, du SBE, et du pH après les temps d'incubation de la dose de vertisol au sol de Tchatibali.	88
Figure 68: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de vertisol au sol de Tchatibali	89
Figure 69: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 30% de vertisol au sol de Tchatibali	90
Figure 70: Variations du taux du CEC, du SBE, et du PH après les temps d'incubation de la dose de 30% de vertisol au sol de Tchatibali.....	91



Figure 71: Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de vertisol au sol de Tchatibali	91
Figure 72 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de matériaux pyroclastiques au sol ...	93
Figure 73 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de pyroclastites au sol	93
Figure 74: Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de pyroclastites au sol.....	94
Figure 75: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de matériaux pyroclastiques au sol ...	96
Figure 76 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de matériaux pyroclastiques au sol ...	97
Figure 77: Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 20% de pyroclastites au sol.....	97
Figure 78: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol ...	99
Figure 79: Variation de la somme des bases échangeables, CEC et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol.....	99
Figure 80 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol.	100
Figure 81: Seuil de carence et de déficience du potassium et Magnésium.....	102
Figure 82 : Seuil de carence et de déficience du calcium et du magnésium.....	103
Figure 83: Diagramme Ca-Mg-K de Martin (1979) des sols incubés et témoins.....	105
Figure 84 : Corrélation entre indice forestier et somme des bases échangeables	106
Figure 85: : Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium.	110
Figure 86 : Seuil de carence et de déficience du Calcium et du magnésium.....	111
Figure 87 : Diagramme Ca- Mg-k de Martin (1979).	113
Figure 88: Corrélation Indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables.	114



Figure 89: Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium	119
Figure 90 : Seuil de carence et de déficience du Calcium et du magnésium.....	119
Figure 91 : Diagramme Ca- Mg-k de Martin (1979)	121
Figure 92 : Corrélation Indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables	122
Figure 93: Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium	127
Figure 94: Diagramme Ca-Mg-K	129
Figure 95: Corrélation indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables.....	130



Listes des tableaux

Tableau 1: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 10% à bases des granites	67
Tableau 2: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à bases des granites pour le taux d'application de 20% comparés à ceux du sol témoin.....	70
Tableau 3: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à bases des granites pour le taux d'application de 30%, comparés à ceux du sol témoin.....	73
Tableau 4: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 10% à base de granites comparés au sol témoin.....	76
Tableau 5: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 20% à base de granites comparés au sol témoin.....	78
Tableau 6: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 30% à base de granites comparés au sol témoin.....	81
Tableau 7: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 10%, comparés à ceux du sol témoin.....	83
Tableau 8: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 20%, comparés à ceux du sol témoin.....	86
Tableau 9: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 30%, comparés à ceux du sol témoin.....	89
Tableau 10: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 10% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin	92
Tableau 11: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 20% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin	95
Tableau 12: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 30% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin	98
Tableau 13: : Indice Forestier (1960)	106



Introduction

Contexte et problématique

Le sol est la couche superficielle de l'écorce terrestre résultant du processus d'altération de la roche mère sous l'effet du climat. Il se compose d'éléments minéraux, d'humus, d'air et d'organismes vivants et végétaux. Le sol est une ressource naturelle essentielle pour le bon fonctionnement des écosystèmes. Le sol remplit un certain nombre des fonctions fondamentales : alimentation, filtre, biologique, matériau, support (Ruelland et *al.*, 2002). En plus de nombreuses fonctions fondamentales qu'il remplit, il représente l'un des piliers de l'agriculture durable (Delaunoy et *al.*, 2008). Cependant, la population mondiale augmente au fil des décennies, à environ 246.000 habitants par jour, soit 90 millions de personnes par an (ONU, 2016). L'Afrique en particulier, qui est le deuxième continent le plus peuplé au monde après l'Asie, avec 1,1 milliards d'habitants, soit 16,5% de la population mondiale, fait face à une très forte explosion démographique depuis les années 1980 (Fresco., 2003). Le Cameroun, pays à vocation agropastorale, n'est pas du reste. Sa population croît de 2,6% en moyenne, un rythme qui fera doubler sa population d'ici environ 27 ans (MINEPAT, 2010).

L'accroissement de la population entraîne inéluctablement une augmentation équivalente de la demande en besoins alimentaires (Megueni et *al.*, 2011), l'assouvissement de ses besoins alimentaires ne peut se faire que par une intensification de la production agricole (Megueni et *al.*, 2003). Malheureusement, la dégradation des sols est la plus préoccupante là où la croissance est la plus importante (Fox et *al.*, 2008), Le défi est manifeste, il s'agit de produire suffisamment de nourriture en qualité et en quantité pour une population humaine en constante augmentation, tout en préservant les ressources naturelles, et en particulier les sols qui constituent une ressource essentielle pour les activités agricoles. En effet, selon Griffon et *al.* (1993), le Cameroun doit augmenter sa production agricole de 4% chaque année pour satisfaire cette demande, ce qui conduit à la recherche de nouvelles stratégies qui pourront contribuer à la restauration, la conservation et l'augmentation durable du rendements (Kimuni et *al.*, 2014).

La région de l'Extrême-Nord où se trouve la majorité de nos secteurs d'étude est la deuxième région la plus peuplée du Cameroun après celle du centre, respectivement 18 et



18,9% de la population Camerounaise (RGPH 2005). Elle se situe donc parmi les régions où l'insécurité alimentaire pose d'épineux problèmes (FIDA 2015) il n'en n'est pas moins de Dibi dans l'Adamaoua. Gamboura et localisée dans le Mayo-Tsanaga Sud, Lara dans le Mayo-Kani, Tchatibali dans le Mayo-Danay et vina dans l'Adamaoua les populations de ses localités font face ces dernières années à l'explosion démographique, ce qui entraîne des multiples problèmes entre-autres : le manque d'espace agricole, la dégradation des sols (l'érosion hydrique très ressentie), la baisse de fertilité des sols. En plus de l'augmentation de la croissance démographique, ces problèmes sont causés par des pratiques culturales inadaptées aux sols, du fait d'une surexploitation de ces ressources en sols et d'une fertilisation inadaptée aux sols de fois etc. La conséquence majeure de tout ce qui précède est l'appauvrissement des sols sur le plan physique et chimique induisant une baisse de productivité des sols. Malgré tout cela, cette population ne se fatigue guère de pratiquer des cultures maraichères (maïs, arachide, mil, niébé, soja, ...) et des tubercules (patate, manioc, macabo ...).

La recherche scientifique préconise d'adapter des stratégies basées sur l'utilisation de fertilisants biologiques tels que le compost, ou de microorganismes tels que les champignons mycorhiziens (Bationo et *al.*, 2004 ; FAO, 2005 ; Ngakou et *al.*, 2008) d'une part mais également l'usage des matériaux géologiques pour la reminéralisation des sols appauvris d'autre part. C'est dans ce contexte que plusieurs travaux de recherche ont déjà été effectués. C'est le cas de (Nkouahio et *al.*, 2008) sur les pyroclasties, de Yaya et *al.*, (2015) sur les vivianites, Basga et Nguetnkam (2015) sur les vertisols de Mafa Tcheboa, (Adoulko et *al.*, 2021) sur les Basaltes. Dans le cas de notre étude, les granites étant très représentatif dans la localité de Gamboura et de Lara, les vertisols dans la localité de Tchatibali et les pyroclastites à Dibi représentent à cet effet un très grand potentiel agronomique. Ces derniers constitueront en quelque sorte les matériaux géologiques de base avec lesquels les essais de fertilisation ont été menés.

Dans le présent travail, le problème qui se pose est de deux ordres : ressortir les caractéristiques macromorphologiques et physico-chimiques des sols de Gamboura, Lara, de



Tchatibali et de Dibi et évaluer le potentiel fertilisant des granites, des vertisols et des pyroclastites. D'où les questions de recherche suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi ?
- Quels sont leurs statuts de fertilité
- Les granites, les vertisols et les pyroclastites peuvent-ils être utilisés comme fertilisant ?

Objectifs du travail

L'objectif général du présent travail est de contribuer à la connaissance des sols de Gamboura, Lara, de Tchatibali et de Dibi et d'évaluer le potentiel fertilisant des matériaux géologiques (granites, vertisols et pyroclastites) sur ses sols.

De manière spécifique, il s'agit de :

- Identifier les types de sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi à travers leurs caractéristiques morphologiques et physico-chimiques ;
- Évaluer le pouvoir fertilisant des granites, veretisols et des pyroclastites ;
- Déterminer la concentration et le temps efficace d'apport de ses matériaux géologiques locaux.

Hypothèses scientifiques

- ❖ La connaissance des sols est un préalable à leur valorisation et leur gestion durable ;
- ❖ Les granites peuvent être utilisés pour reminéraliser les sols de Gamboura et de Lara ;
- ❖ Les vertisols peuvent être utilisés pour reminéraliser les sols Tchatibali ;
- ❖ Les pyroclastes peuvent être utilisés pour reminéraliser les sols de Dibi
- ❖ Le meilleur dosage des granites, de vertisols et de pyroclastites est obtenu avec la concentration de 30% pour la reminéralisation de ses sols.



2. Revue de la littérature

2.1. Définition du concept d'agrogéologie

L'agrogéologie est une science transdisciplinaire émergente généralement définie comme « la géologie au service de l'agriculture ». C'est une étude des processus géologiques qui influencent la distribution, la formation des sols, et l'application de matériaux géologiques dans les systèmes agricoles et forestiers en tant que moyen de maintien et d'amélioration de la productivité des sols pour une croissance économique, environnementale et sociale (Chesworth et Van Straaten, 1993 ; Van Straaten et Fernandes, 1995). Cette approche transdisciplinaire combine les connaissances de spécialistes des sols et des agriculteurs avec ceux des géologues et des ingénieurs.

2.2. Historique du concept d'agrogéologie

Les recherches agricoles utilisant les roches finement broyées et les minéraux non transformés chimiquement, basées sur le concept de « pain de pierres », pour la fertilisation des terres ont débuté au 19^{ème} siècle avec Missoux (1853), Hensel (1890, 1894) et bien d'autres chercheurs. Au début des années 1980, le premier projet « transdisciplinaire » d'agrogéologie recevant un financement important a été le projet agrogéologique Tanzanie-Canada, financé par le Centre de recherche pour le développement international (Chesworth et *al.*, 1985, 1989). Par des études expérimentales sur le terrain, (Barak et *al.*, 1983) ont démontré l'efficacité de basaltes finement broyés et des tufs volcaniques sur les sols calcaires pour une bonne pratique de la Culture d'arachide. Bien qu'il existe plusieurs études menées en Amérique du Nord, en Europe et en Australie sur l'utilisation potentielle des engrais de roche, très peu d'études et d'expérimentations ont été publiées sur les roches silicatées comme amendements du sol pour l'agriculture dans les environnements tropicaux. (Leonardos et *al.*, 1987) dans leurs travaux sur les sols latéritiques, ont obtenu des résultats positifs concernant trois essais en serre et au champ avec des haricots (*Phaseolus vulgaris L*) et l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*) au Brésil. De même, ils ont montré le potentiel de l'application de roches silicatées au sol pour la fertilisation des arbres dans les régions tropicales. Des études menées par Gillman. (1980) et



Gillman *et al.*, (2000) illustrent les effets positifs de l'application de grandes quantités de roches basaltiques sur les sols érodés de l'Australie tropicale. L'Afrique en générale et le Cameroun en particulier regorge d'énorme gisement d'agro minéraux inexploités, cependant, la thématique sur reminéraliser la terre est développer depuis une quinzaine d'années par le Pr Jean Pierre Nguetnkam au département des sciences de la terre de l'université de Ngaoundéré avec 15 mémoires encadrés et 6 thèses sur ce sujet. Dans le cadre de notre travail, de tels travaux n'ont pas été menés dans nos différents zones d'étude d'où la raison de ses travaux.

2.3. Définition et historique des granites

Le granite est une roche plutonique magmatique à texture grenue, riche en quartz, qui comporte plus de feldspath alcalin que de plagioclase (Fig. 1). Il est caractérisé par sa constitution en minéraux : quartz, feldspaths potassiques (orthoses) et plagioclases, micas (biotite ou muscovite). Le granite et ses roches associées forment l'essentiel de la croûte continentale de la planète. C'est un matériau résistant très utilisé en construction, dallage, décoration, sculpture, sous l'appellation de granite.

Le granite est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma intrusif qui formeront le plus souvent des plutons, ces derniers affleurant finalement par le jeu de l'érosion qui décape les roches sus-jacentes. Ces magmas acides (c'est-à-dire relativement riches en silice) sont essentiellement le résultat de la fusion partielle de la croûte terrestre continentale. Certains granites (plagiogranites) rencontrés en petits plutons dans la croûte océanique sont, quant à eux, le résultat de la différenciation ultime de magmas basiques. Ses minéraux constitutifs sont principalement du quartz, des micas (biotite ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases. Ils peuvent contenir également de la hornblende, de la magnétite, du grenat, du zircon et de l'apatite. On dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granite différentes. Les roches volcaniques correspondantes sont les rhyolites.

La composition chimique moyenne du granite est : 74,5 % de SiO₂, 14 % de Al₂O₃, 9,5 % de (Na₂O, K₂O), 2 % d'oxydes (Fe, Mn, Mg, Ca). Le granite est une roche acide (riche en silice) et dense (densité moyenne : 2,7). Les plus gros monolithes granitiques du monde se



trouvent dans le parc de Yosemite, en Californie. En réalité, le terme granite est souvent pris dans le sens plus large des granitoïdes, roches plutoniques avec plus de 20 % de quartz, indépendamment de la nature du ou des feldspaths qu'on y trouve. La granitisation désigne ainsi l'ensemble des phénomènes géologiques conduisant à la formation d'un granitoïde.

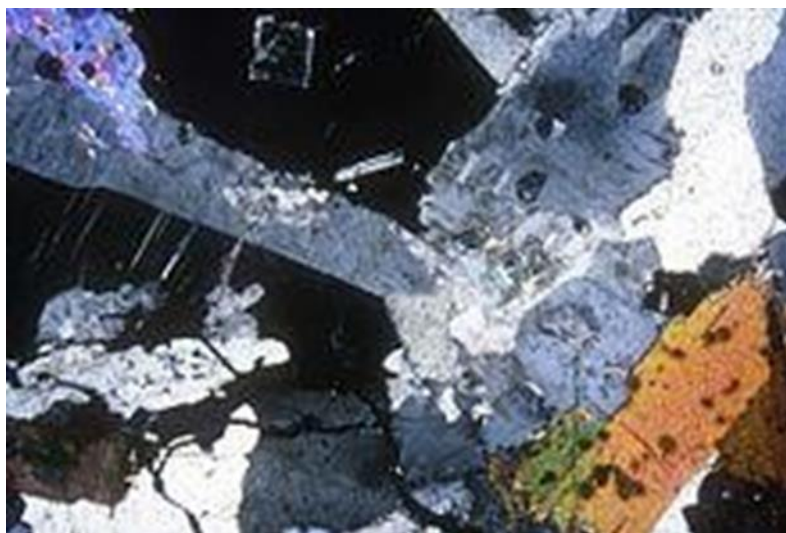


Figure 1: Lame mince de granite au microscope en lumière polarisée analysée

2.4. Aperçu sur les granites du Nord et de l'Extrême-Nord Cameroun

La classification générale des granites les classe en cinq (05) types : les granites calco-alcalins, les granites tholéitiques, les granites alcalins, les leucogranites, et les granites d'anatexie. Au Nord Cameroun (Tcholliré) (Nomo Negue et *al.*, 2015) ont mis en évidence les granitoïdes, les granites à biotites et amphiboles. A l'Extrême-nord, on peut citer les travaux de (Tchameni et *al.*, 2015) sur le pluton de Mokong qui présentent un pluton principalement composé de deux faciès granitiques, à savoir granite magmatique à épidoite et du granite à biotite, les travaux de (Nguetnkam et *al.*, 2008) sur l'altération différentielle des granites en zone tropicale ; une altération qui conduit à la formation des beidellites et à la formation d'un vertisol chromique, et les travaux de Daouda Dawai. (2014) sur le pluton de Guider et de Bossoum.



2.5. Généralités sur les vertisols

Les vertisols sont localisés sous une gamme variée de conditions climatiques, géomorphologiques et lithologiques, ceci explique leur vaste répartition géographique (Dudal 1967 ; Dudal et *al.*, 1988 ; Temga 2008, Basga et *al* 2015).

En effet, les vertisols se forment sous des climats tropicaux et subtropicaux à deux saisons contrastées qui, suivant les saisons alternativement humides puis sèches, voient leurs matériaux gonfler ou se rétracter (Dudal 1967 ; Duchaufour, 1977 ; Dudal et *al.*, 1988 ; Grunwald, 2003, Temga et *al* 2008). La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 500 et 1130 mm et la température moyenne est supérieure à 26°C (Dudal, 1967).

En ce qui concerne leur topographie, les vertisols topomorphes sont toujours observés en position basse, à drainage externe réduit ou sur des pentes variantes entre 1 et 2 %, tandis que les vertisols lithomorphes et hydromorphes peuvent occuper des positions plus hautes (Boulvert, 1968 ; Bocquier, 1973 ; Podwojewski, 1988 ; Nguetnkam, 2004 ; Azinwi, 2005).

Du point de vue lithologique, les vertisols se développent préférentiellement sur des roches mères basiques d'origine métamorphique, volcanique ou sédimentaire, ou sur des matériaux colluviaux et alluviaux anciens (Dudal, 1967 ; Podwojewski, 1988 ; Blockuis, 1993 ; Bùhmann, et *al.*, 1995 ; Aydinalp, 2001). Les roches mères sont en général de caractère basique (Raunet, 2003) ; là où les roches ne sont pas basiques, des alcalino-terreux peuvent être apportés par lixiviation des parties hautes vers les parties basses (Dudal, 1967 ; Grunwald, 2003). Les vertisols ne supportent généralement qu'une végétation de savane arbustive ou herbacée (Dudal, 1967 ; Grunwald, 2003).

2.6. Généralités sur les pyroclastites basaltiques

Etymologiquement, le terme pyroclastite est composé de *pyro* qui signifie « feu » et *clasto* qui renvoi à « cassure ». Les pyroclastites sont des roches composées principalement où uniquement de matériaux volcaniques. Selon la taille des fragments Granados H. (2002) ; Perez F.J. et Fernandez J.L. (2015), on définit :

- **Des cendres** : particules d'un diamètre inférieur à 2 millimètres constituées de fragments de laves pulvérisées, trempés sous forme vitreuse, leur coloration très variable dépend essentiellement de la teneur en fer et du degré d'oxydation ;



- **Des lapillis** : particules dont le diamètre varie entre 2 et 64 millimètres formés le plus souvent par de la lave bulleuse, mais parfois aussi que par des débris des roches antérieures consolidées ;
- **Des scories** : qui sont des éléments de lave vésiculeuse, sans forme particulière ; elles se constituent par projection au niveau de la cheminée, mais elles apparaissent aussi par fragmentation de la pellicule consolidée qui recouvre les coulées et qui se dissocie généralement au cours de la progression.

Le plateau de l'Adamaoua est une structure volcano-tectonique en horst limitée au nord par les failles de l'Adamaoua et au Sud par les failles du Djérem et de Mbéré (Dumont, 1987). Lasserre (1961) a regroupé les formations volcaniques sur le plateau de l'Adamaoua en trois séries d'émissions par rapport aux observations de Gèze (1943) dans l'ouest du Cameroun :

- (1) La série basaltique ancienne d'âge crétacé terminal (Lasserre, 1961) ;
- (2) La série intermédiaire à dominance trachytique et phonolitique ;
- (3) La série basaltique récente.

La série ancienne, fortement latérisée, représente les 3/5 de la surface couverte par les formations volcaniques. Elle serait de type fissural et ne présente plus d'appareils volcaniques visibles. La série intermédiaire à dominance trachytique et phonolitique d'âge Miocène (Nkouandou et *al.*, 2008) est représentée par 35 necks, dômes et dômes-coulées. La série basaltique récente d'âge Mio-Pliocène (10,0 à 7,0±0,2 Ma et 11,39±0,03 à 9,28±0,03 Ma) (Gouhier et Nougier, 1974 ; Marzoli et *al.*, 1999 ; Nkouandou et *al.*, 2008) est représentée par trois types de coulées basaltiques dont :

- (1) Les coulées inférieures ;
- (2) Les coulées supérieures essentiellement constituées de basalte (avec les ankaramites pour les coulées supérieures), affleurent respectivement dans les bas-fonds et aux sommets des collines ;



- (3) Les coulées intermédiaires constituées de basalte, hawaïite et mugéarite affleurent sur les pénéplaines et les flancs des collines

3.Méthodologie

3.1. Travaux préliminaires

La phase préliminaire consistait en un rassemblement des données antérieures réalisées et de faire une prospection des sites d'étude. Il s'agit de collecter les données sur le cadre naturel des zones d'étude d'une part (localisation, climat, hydrographie, géologie, végétation, pédologie et socio-économie) et les travaux sur l'étude des sols d'autre part. des cartes topographiques ont été utilisées et ont permis d'apprécier les points d'ouverture des puits pédologiques et les toposéquences.

Les travaux de terrain se sont déroulés en deux (02) étapes :

- ❖ Une phase d'exploration dans les secteurs d'études ont permis :
 - D'entrer en contact avec les autorités des différentes zones d'étude afin de leurs présenter le but des travaux de recherche ;
 - De mener une étude prospective afin d'identifier les zones de faibles productions et les techniques culturales de la zone d'étude ;
 - D'identifier les matériaux géologiques à proximité de la zone d'étude ;
- ❖ Une campagne de terrain dans les secteurs d'études qui ont permis :
 - Choix des toposéquences et ouverture des puits pédologiques ;
 - De caractériser sur le plan morphologique les sols des zones d'étude et de procéder à l'échantillonnage des différents horizons des profils pédologiques ouverts pour une caractérisation plus détaillée ;



- De réaliser l'échantillonnage systématique des horizons de surface des sols (0-25 cm) nécessaire pour les expériences d'incubation en pots.

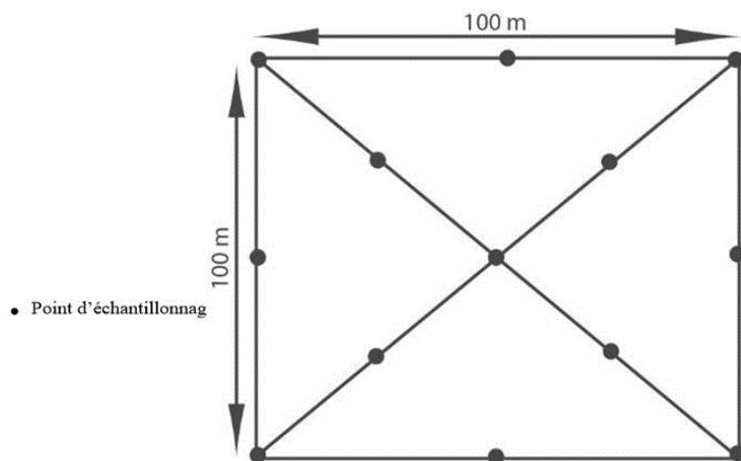


Figure 2 : Méthode d'échantillonnage systématique par quadrillage et en diagonale

L'échantillonnage des sols s'est fait au niveau des horizons culturaux (0 à 25cm). Il a été réalisé sur plusieurs parcelles peu productives. Chaque parcelle couvre environ 10 000 m² (Fig. 2). L'échantillonnage composite consistait à prélever systématiquement les sols à chaque 25m sur les pourtours et les diagonales de la parcelle de manière à obtenir un mélange représentatif de ce dernier. Sur chaque point d'échantillonnage, environ 2kg de sol ont été prélevés à l'aide d'une barre à mine et d'une pelle. L'ensemble des échantillons de sol prélevés ont été transportés jusqu'au site expérimental pour une étude cinétique.

3.2. Les Etudes d'incubation

Les études d'incubation sont réalisées à travers le suivi de certaines propriétés chimiques et physico-chimiques du sol (pH, CEC, somme des bases échangeables et taux de saturation) au bout de 1, 2 et 3 mois d'incubation. Les méthodes utilisées sont décrites ci-dessous.



3.2.1. Préparation des sols, du matériel fertilisant et mise en place du dispositif expérimental

3.2.1.1. Préparation des sols

L'ensemble des échantillons prélevés sur terrain ont été mélangés et séchés. Après destruction de tous les agrégats, cet ensemble est tamisé à l'aide d'un tamis de 2 mm ; celui-ci a été retourné 10 fois pour être homogène, ensuite l'ensemble a été quarté. Une fois quarté, les deux diagonales ont été mélangées pour former deux tas (Fig. 3). Chaque tas de terre est retourné dix fois et reparti dans 30 pots. Chaque pot contient 1 Kg de terre. L'ensemble est pesé à l'aide d'une balance sensible. Le premier tas forme une série A et le second la série B. Nous aurons ainsi 2 séries d'expérience ayant chacune 30 sachets plastiques d'un kilogramme de terre ceci pour chaque zone d'étude (Fig. 3).

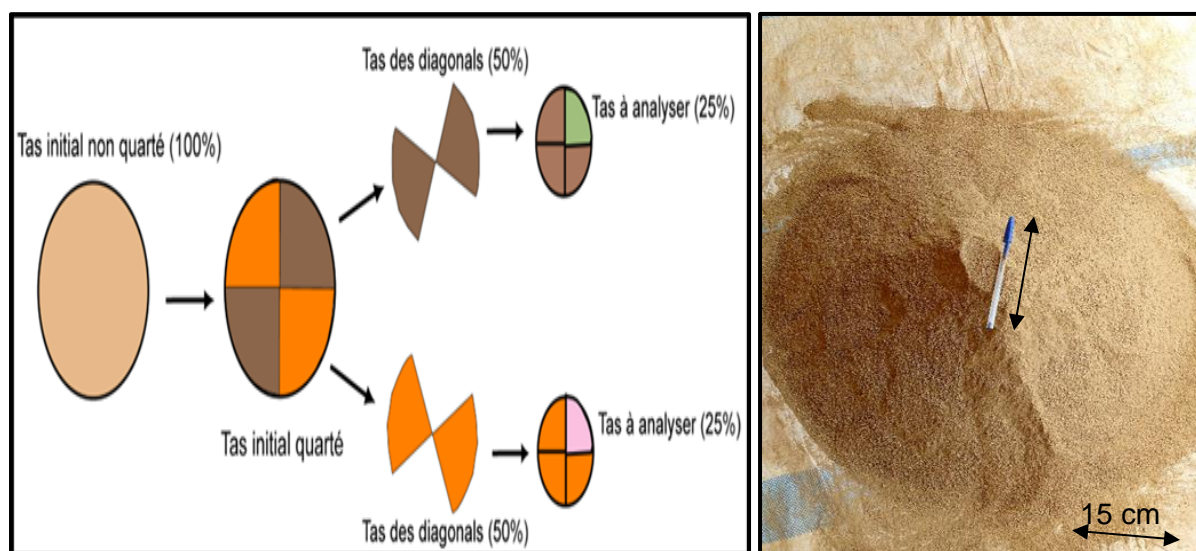


Figure 3: Principe de quartage et d'homogénéisation du sol

3.2.1.2. Préparation du matériel fertilisant

Les matériaux prélevés sur le terrain ont été acheminés à l'IRGM (Institut de recherche géologique minière) à Garoua, pour être pulvérisées à l'aide d'un broyeur électrique. Le dosage de pétrofertilisants s'est fait suivant trois traitements, à savoir le traitement de 10%, 20 % et 30%. Il s'agit précisément d'apporter respectivement 100, 200 et 300g de pétrofertilisants par pot d'un kg de sol ; ceci grâce à une balance sensible (CAMRI) (Fig. 4, 5, 6 et 7).

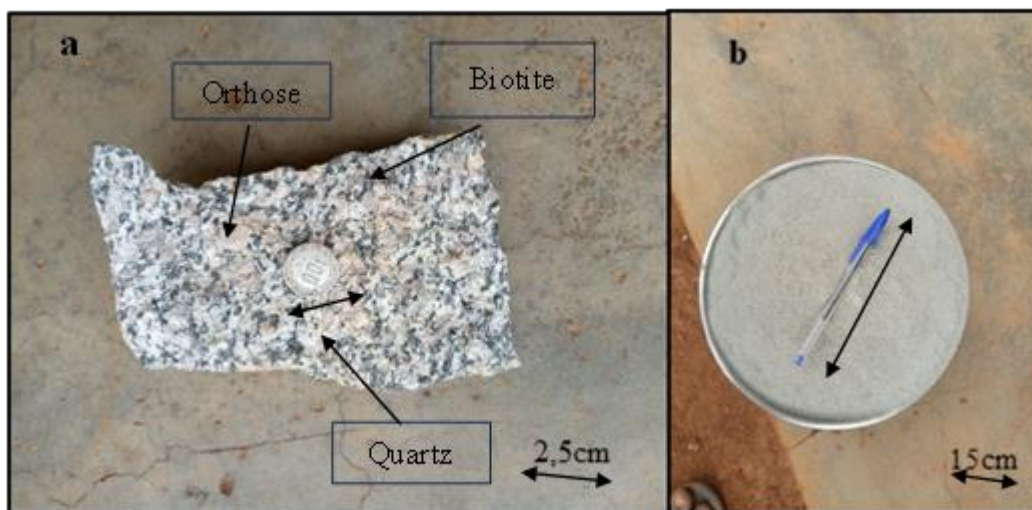


Figure 5 : granites de Gamboura a) avant b) après broyage

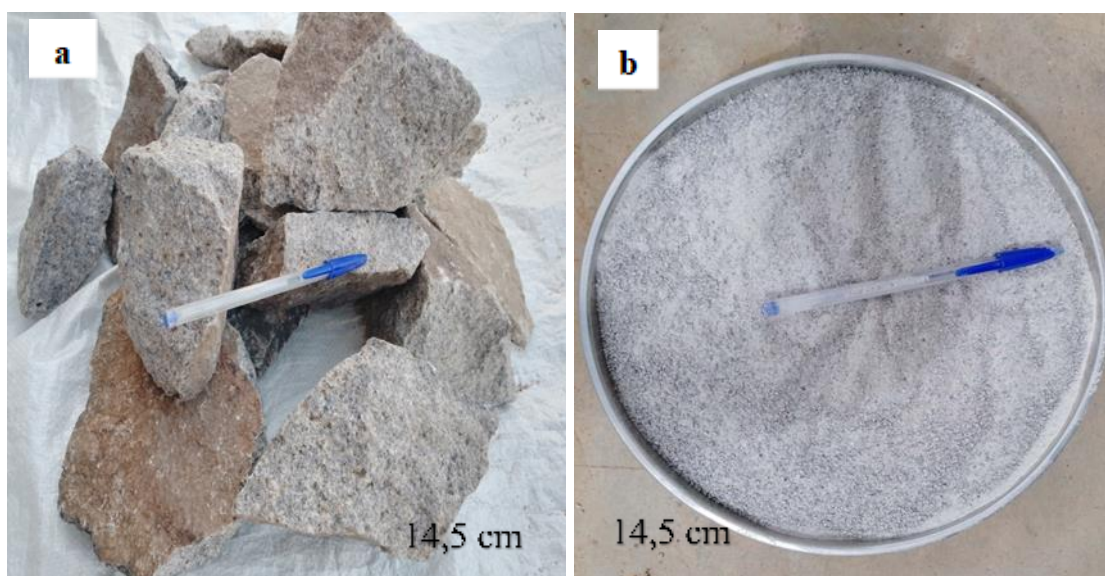


Figure 4: granites de Lara a) avant broyage b) après broyage



Figure 6: vertisols avant et après broyage

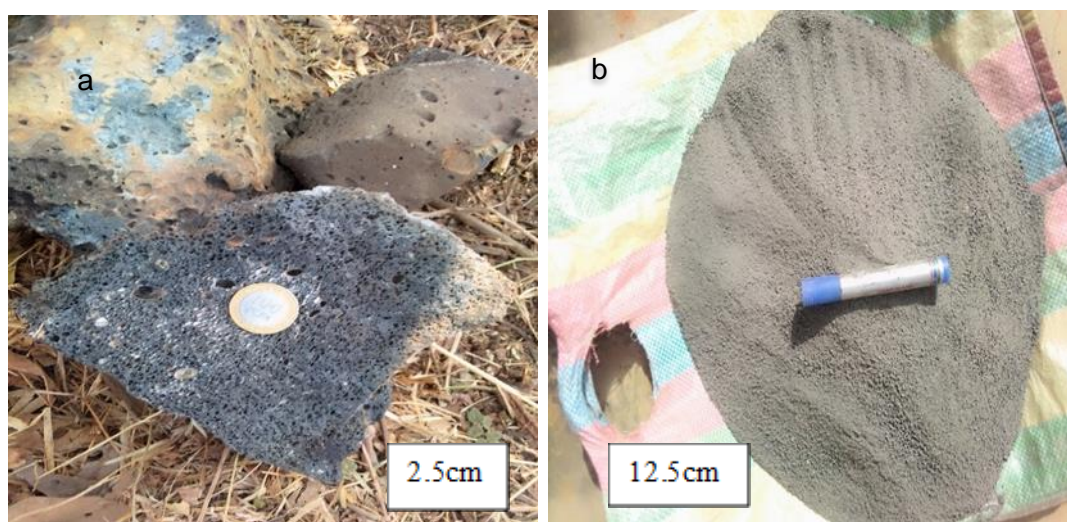


Figure 7: pyroclastites basaltique de Dibi a) avant broyage b) apres broyage

3.2.2. Préparation du dispositif expérimental

Après le dosage et l'homogénéisation, les différents pots sont classés dans un espace bien aménagé, à l'abri de la pluie et des poussières ; ils sont tous soumis aux mêmes conditions et subissent le même traitement d'arrosage. Les sols sont arrosés à la capacité au champ. Les différents pots ont été disposés selon le dispositif suivant : 30 pots par série d'expérience (A et B) ; soit 60 pots pour les 2 séries d'expériences plus 2 pots contenant le sol témoin (échantillons (Fig. 8 et 9).

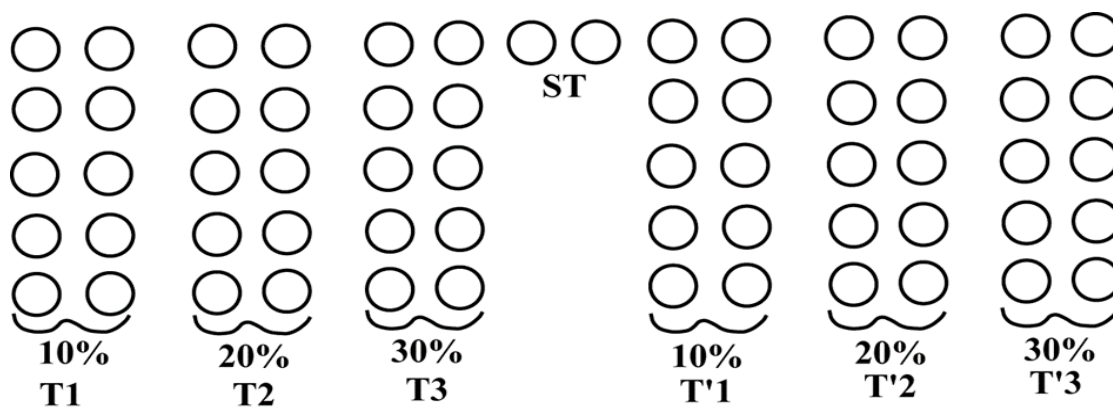


Figure 8: Dispositif expérimental



Figure 9: exemple de la mise en place du dispositif expérimentale mis en place

Expérience 1 (SERIE A) : Reminéralisation des sols appauvris de Gamboura par l'utilisation des granites finement broyés. Trois traitements ont été réalisés en fonction des taux de dosage prévu en plus du sol témoin.

1er traitement : sol Témoin + 100 g de granites ;

2eme traitement : sol Témoin + 200 g de granites ;

3ème traitement : sol Témoin + 300 g de granites.

Expérience 2 (SERIE B) :

1er traitement : sol Témoin + 100 g de granites ;



2ème traitement : sol Témoin + 200 g de granites ;

3ème traitement : sol Témoin + 300 g de granites.

Code des échantillons (voir annexes)

3.3. Méthode de laboratoire

Après la mise en place du dispositif expérimental, 3 séries d'échantillons de sol ont été envoyés au laboratoire d'analyses des sols et de chimie de l'environnement de l'Université de Dschang pour les analyses physico-chimiques. Une première série de 7 échantillons (sol témoin plus 6 échantillons de sols en incubation ayant subis différents traitements) envoyée exactement après 1 mois d'incubation plus 13 échantillons des profils, puis 2 séries de 6 échantillons de sols en incubation traités différemment ont été envoyées successivement après 2 et 3 mois d'incubation.

3.3.1. Analyse physico-chimique : Mesure du pH

Le pH d'un sol s'obtient à partir d'un pH-mètre muni d'une électrode de verre et d'une électrode de référence. Le mode opératoire consiste à introduire 5g des terres dans un flacon d'une capacité d'au moins 50ml et y ajouter 25ml d'eau distillée. Agiter $60\text{mn} \pm 10\text{mn}$ et puis laisser au repos pendant $60\text{mn} \pm 10\text{mn}$. Tester le pH-mètre en surveillant la température afin de la maintenir à $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$; étalonner l'appareil à l'aide des solutions tampons à pH 4 et pH 7 et introduire l'électrode dans le surnageant de l'échantillon en attendant que la lecture soit stable. Nettoyer avec de l'eau distillée puis sécher avec du papier l'électrode après son retrait de la solution. Prendre l'échantillon suivant pour la mesure.

3.3.2. Détermination de la teneur en carbone organique et de la matière organique

La technique utilisée pour déterminer la teneur en carbone organique totale contenue dans les déchets a été celle de Walkley et Black (1934). Le dosage consiste à oxyder le carbone de la matière organique contenu dans l'échantillon par un excès de bichromate de potassium (1N) en milieu fortement acide (H_2SO_4). Le titrage retour du $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ par le sulfate ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) permet de calculer la quantité de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ qui a été neutralisé par le carbone organique. Le point d'équivalence est indiqué par la diphenylamine $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ qui vire au



vert. Les teneurs sont déduites et le pourcentage de carbone organique mesuré dans les déchets ont été estimé à partir de la formule empirique suivante :

$$\%C_{org} = 4 (a-b) / a \times p \text{ on en déduit donc que } \%MO = \%CO \times 1,724$$

p : Masse de déchet (g) ou prise d'essai (g)

b: Volume du sulfate de fer versé (mL)

a: Volume du sel de mohr (mL) ajouté au témoin

0,2 g d'échantillon a été pris comme prise d'essai.

3.3.3. Dosage de l'azote total

L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl par minéralisation de l'échantillon de masse égale à 0,1 g par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (sélénium) à 400°C pendant deux (2) heures. Une alcalinisation des produits de la réaction s'effectue ensuite par une solution de NaOH de concentration 400 g/l, une distillation et un titrage de l'ammoniac libéré s'est fait en dernière étape à l'aide d'une solution d'acide sulfurique de concentration connu (0,01N). L'azote total Kjeldahl est donné par :

$$NTK (\%) = ((V-V_0) \times C \times 14 \times f / M) \times 100$$

V : volume de H₂SO₄ qui sert pour le titrage de l'échantillon ;

V₀ : volume de H₂SO₄ qui sert pour le titrage du blanc (témoin) ;

C : Concentration de la solution de l'acide sulfurique pour le titrage de l'ammoniac ;

f : Facteur de correction de la solution d'acide sulfurique ;

M : masse de l'échantillon en g.

3.3.4. Analyses chimiques

a) Capacité d'échange cationique (CEC)

➤ Principe

Elle se détermine selon la méthode de Metson par ajout de l'acétate d'ammonium à pH 7 suivant trois phases :

❖ La saturation du complexe adsorbant par l'ion NH₄⁺ ;

Le lavage des terres à l'alcool éthylique pour éliminer l'excédent des ions NH₄⁺ ;



❖ Le dosage des cations après désorption quantitative à partir de la solution de KCl. La CEC effective s'obtient donc par spectrométrie en sommant les bases échangeables et l'Al échangeable.

➤ **Mode opératoire**

❖ Introduire une prise d'essai de 10,00g des terres fines (5,00g pour les sols argileux ou humifères) ;

❖ Y ajouter 40ml de l'acétate d'ammonium ;

❖ L'agiter pendant 1heure sur un agitateur ;

❖ Le laisser se reposer pendant une nuit

❖ L'agiter à nouveau à 4000trs/min pendant 10min

❖ Filtrer le surnageant dans une fiole jaugée de 200ml et la compléter jusqu'au trait de jauge avec l'acétate d'ammonium ;

❖ L'agiter à nouveau et puis le filtrer ;

❖ Répéter le jaugage et le filtrage 4 fois jusqu'à ce que le volume se rapproche de 200mL

❖ Et enfin compléter le filtrat contenant les bases échangeables dans la fiole jusqu'au trait de jauge avec l'acétate et les résultats sont exprimés en Cmol/kg.

b) Bases échangeables

➤ **Principe**

Il consiste à extraire les cations Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ du sol par ajout d'une solution d'acétate d'ammonium. L'ion NH_4^+ , ajouté en excès, déplacent ces cations adsorbés en saturant le complexe adsorbant. Ces cations extraits sont dosés par la technique de photométrie à flamme.

➤ **Mode opératoire : Ca, Mg, K et Na**

❖ Régler le photomètre à flamme ;

❖ Mesurer l'émission des étalons et des échantillons et choisir une série d'étalonnage par rapport à la somme des bases échangeables des sols :



Série I : SBE<5mécq/100g (Sols tares acides ou sableux) Série II : SBE>5mécq/100g (sols à pH>5,7 à 6,0)

c) Phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est dosé selon la méthode Joret-Hébert, par extraction à l'oxalate d'ammonium et dosage calorimétrique (selon la Norme NF X31-161).

La somme des bases échangeables et le taux de saturation sont déduits par calcul :

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} \quad (1)$$

$$V = S/T \quad (2)$$

S : somme des bases échangeable

T : capacité d'échange cationique

V : taux de saturation

3.3.5. Détermination de quelques indices de fertilité

3.3.6. Indice de Forestier (I_F)

L'indice de Forestier met en relation la richesse chimique d'un sol à travers le rapport entre la somme des bases échangeable au carré (S²) sur ses caractéristiques physiques A + L (Argile + limon) % (Forestier, 1994). Trois types de critère d'appréciation de fertilité d'un sol existe :

- ❖ Les sols pauvres : (S²/ A + L) < 0,3.
- ❖ Les sols moyennement : 0,3 < (S²/ A + L) < 1.
- ❖ Les sols riches : (S²/ A + L) > 1.

3.3.7. Equilibre de la balance cationique Ca²⁺/Mg²⁺/ K⁺

L'équilibre de la balance cationique permet de savoir qu'elle est l'élément dominant dont sa teneur pourra diminuer ou augmenter la présence de l'autre (Fopoussi et al., 2018). Pour le calculer, on pose S= Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ avec S somme des bases échangeables. Puis % Ca =



$(100 \times \text{Ca}) / \text{S}$; $\% \text{Mg} = (100 \times \text{Mg}) / \text{S}$; $\% \text{K} = (100 \times \text{K}) / \text{S}$. L'équilibre optimal est 76/18/6.

3.3.8. Coefficient de richesse relative

Le coefficient de richesse relative (CRR) est calculé pour le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), et le potassium (K^+). Pour obtenir par exemple celui de Ca^{2+} , est déterminé à partir des résultats de la balance cationique calculée. Le pourcentage de Ca^{2+} calculé est divisé par le pourcentage de Ca^{2+} de la balance cationique optimale, c'est-à-dire $\% \text{Ca}/76$. Pour le Mg^{2+} et K^{2+} on procède de la même manière $\% \text{Mg}/18$ et $\% \text{K}/6$.

4. Résultats

4.1. Caractéristiques morphologiques des sols de Gamboura

Il est question dans cette partie de présenter les caractères macromorphologiques et physico-chimiques des sols de Gamboura. Pour y parvenir, des profils pédologiques ont été ouverts sur le terrain pour la description morphologique et les différents horizons ont été identifiés et décrits suivant plusieurs paramètres : la Couleur, la texture, la structure, la présence ou non des racines, d'activités biologiques et la limite avec les horizons sus-jacents. Les horizons échantillonnés ont fait l'objet des analyses physico-chimiques pour une étude plus détaillée.

4.1.1. Profil au sommet

Le premier profil a été réalisé au sommet, aux coordonnées géographiques suivantes : 10.2935° de latitude Nord ; 13.6638° de longitude Est et d'altitude 760 m. La profondeur du puits est de 194 cm. ce profil est ouvert sur un champ de maïs recouverte d'une végétation herbeuses et à *Faidherbia albida* (fig. 10).

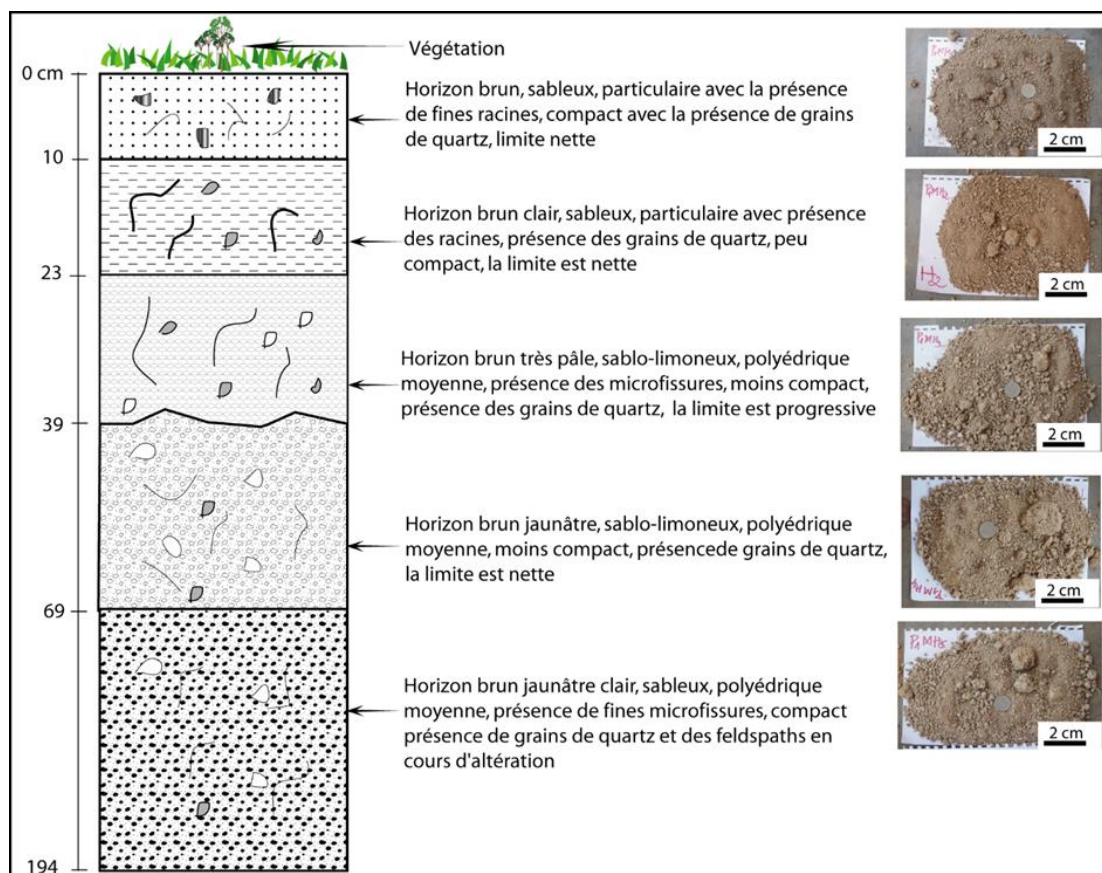


Figure 10: Organisation morphologique des sols du profil au sommet et horizons de ce profil

4.1.2. Profil à mi-pente

Le deuxième profil a été ouvert à mi-pente aux coordonnées géographiques suivantes : 10,2942° de latitude Nord ; 13,6643° de longitude Est et d'altitude 755 m. Le puits a une profondeur 220 cm. Ce profil est réalisé sur un champ de maïs et la végétation est herbeuse à arborée. La description du profil présente du haut en bas la succession suivante :

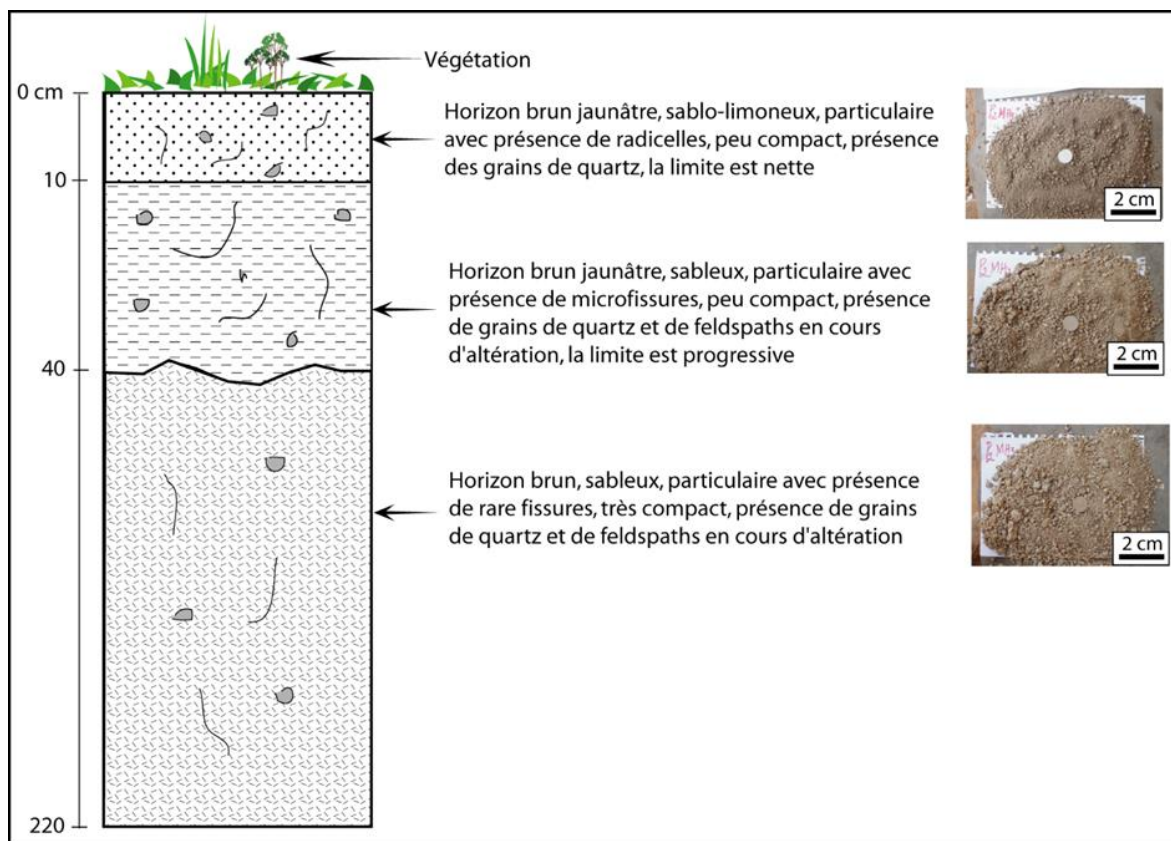


Figure 11: Organisation morphologique des sols du profil à mi pente et horizons de ce profil

4.1.3. Profil en bas de pente

Le troisième profil a été réalisé en bas de pente et aux coordonnées géographiques suivantes : 10,2949° de latitude Nord ; 13,6652° de longitude Est et d'altitude 745 m à une profondeur de 323 cm. Ce profil est ouvert sur un champ d'arachide et la végétation est herbeuse à arborée (fig. 12). La description du profil présente du haut en bas la succession suivante :

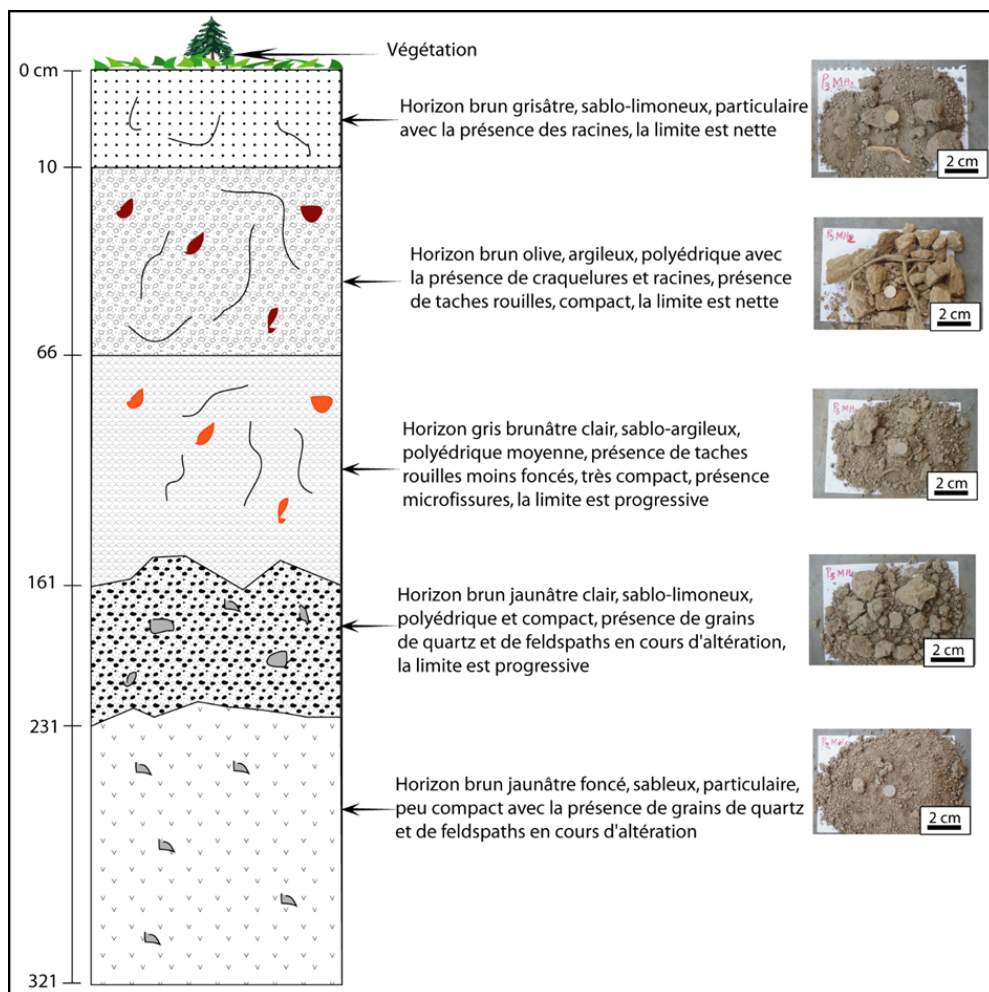


Figure 12 : Organisation morphologique des sols du profil en bas de la pente et horizons de ce profil

En résumé, la description macromorphologique des profils de cette toposéquence a permis de distinguer des sols moins épais et moins différenciés à moyennement différenciés avec 05 horizons au sommet et en bas de pente et 03 horizons à mi- pente. Le profil de bas de pente présente des horizons d'accumulation AB_t . Les sols sont dans l'ensemble sableux, sablo-argileux, particuliers à polyédrique. Présentent des faibles traces d'activités biologiques, la couleur des sols varie entre brun et brun jaunâtre clair. La réalisation d'un profil topographique (Fig. 13) permet de ressortir les différents profils pédologiques et les différents horizons qui montrent une concordance entre les différents horizons de chaque profil pédologique. Tous les



derniers horizons (horizons 3, 5) sont caractérisés par la présence de fragments des roches magmatiques tel que le granite en cours d'altération poussée. Le socle sur lequel s'est formé ses sols est un socle granitique. La description macromorphologique de ces sols, permet de conclure que, ses sols sont des sols peu évolués (régosols).

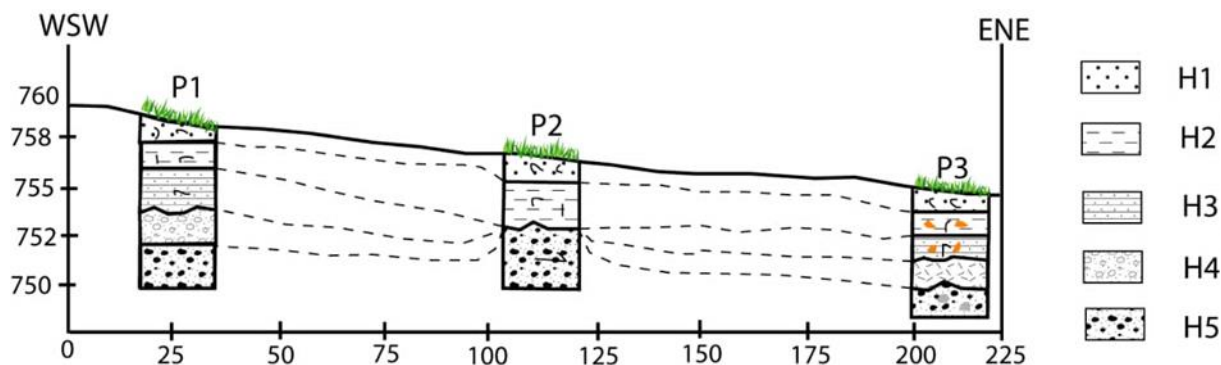


Figure 13: Profil topographique présentant les différents puits : (H1 : Horizon 1, H2 : Horizon 2, H3 : Horizon 3, H4 : Horizon 4, H5 : Horizon 5)

4.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Gamboura

4.2.1. Variation de la granulométrie en fonction de la profondeur

- ❖ La teneur en sable est supérieure aux teneurs en argile et en limon dans tous les profils ;
- ❖ La teneur en argile et les limons augmentent avec la profondeur (P1 et P2) ;
- ❖ Les teneurs en sable diminuent avec la profondeur (P1 et P2) et augmentent pour P3 (fig. 14).

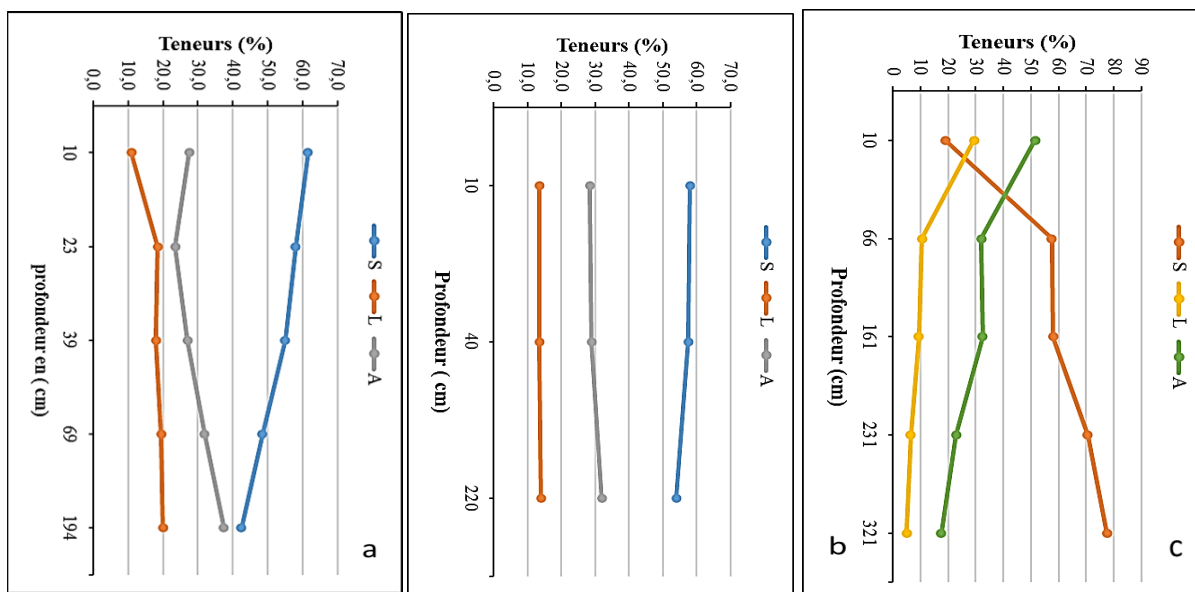


Figure 14 : variation de la granulométrie dans les sols de Gamboura

4.2.2. Variation du pH en fonction de la profondeur

- ❖ Le pH diminue avec la profondeur dans le premier profil (7,7 - 6,2) ;
- ❖ Le pH évolue à dent de scie dans le deuxième profil ;
- ❖ Le pH augmente avec la profondeur dans le troisième profil (5,8 – 6,5) fig 15.

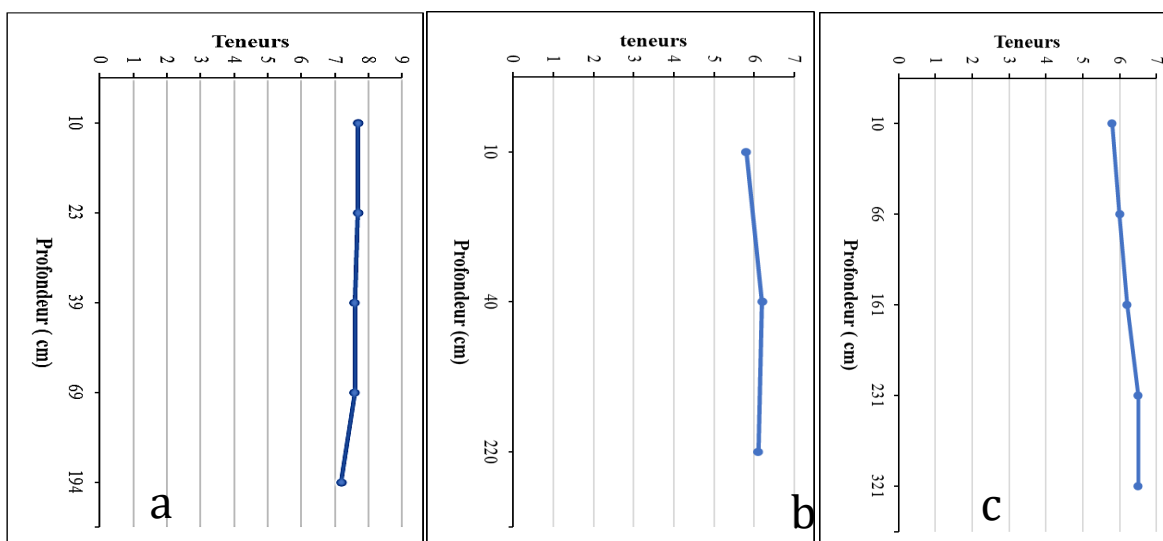


Figure 15: variation du pH



4.2.3. Variation de la CEC, SBE et le taux de saturation V%

- ❖ CEC, SBE et V% augmentent avec la profondeur dans le premier profil ;
- ❖ CEC, SBE et V% diminuent avec la profondeur dans le deuxième profil ;
- ❖ CEC, SBE et V% diminuent avec la profondeur dans le troisième profil (fig. 16)

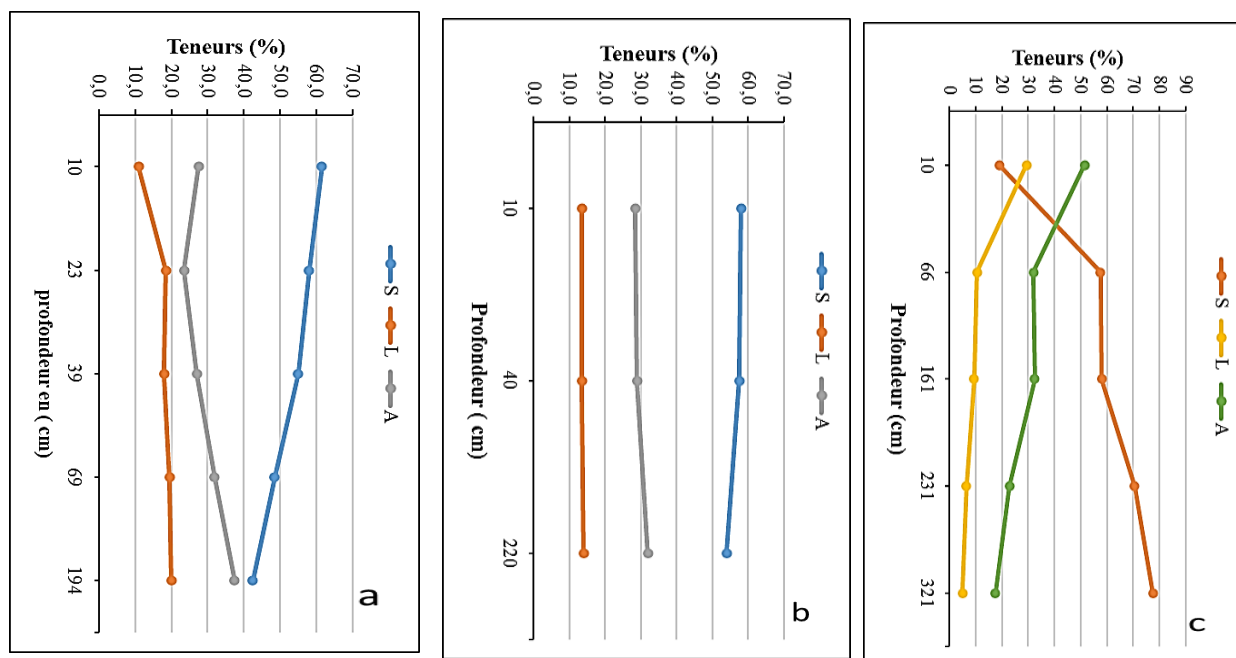


Figure 16: variation de la CEC, SBE et le taux de saturation (V%)

4.3. Caractérisation morphologique des sols de Lara

4.3.1. Profil au sommet

Ce puits est situé à 10°13'4,8'' de latitude Nord et de 14°35'44,9'' de longitude Est. Il a pour altitude de 420 m ; il est moyennement épais de 150 cm. L'environnement de ce puits pédologique présente certaines espèces végétales telles que, *Piliostigma thonningii* (bourri), *acacia albida* (couéri), *Ziziphus mauritiana* (dëëre en langue vernaculaire), et des couvertures herbeuses sèches. Il présente 04 horizons structurés comme suit, du haut vers le bas (fig. 17).

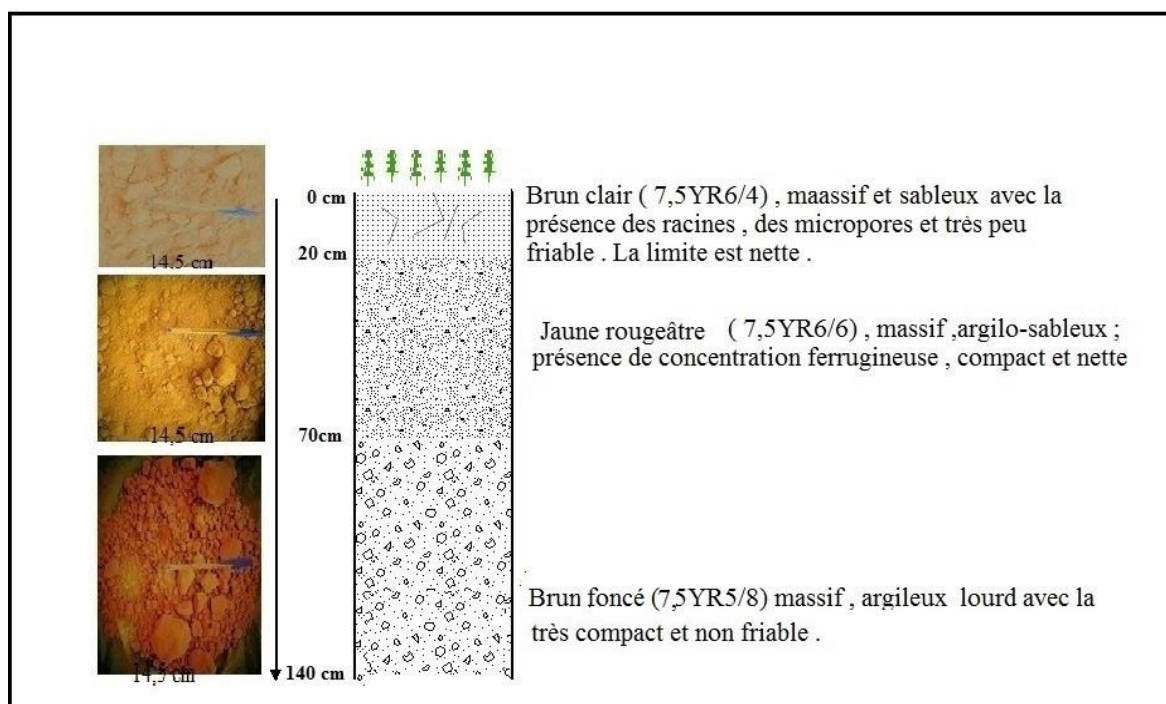


Figure 17: Organisation morphologique des sols du profil au sommet et horizons de ce profil

4.3.2. Profil à pente

Le profil est situé à 10°12'48,3'' de latitude Nord et de 14°35'20,9'' de longitude Est et d'altitude 410 m. Les espèces végétales qui occupent l'environnement sont *le Piliostigma thonningii* (*bourri* en langue vernaculaire), *acacia albida* (*coúri*), *Ziziphus mauritiana* (*děěre*), *Gardema akouala* (*mbaow*). Il dispose quatre (04) horizons du haut vers le bas (fig. 18).

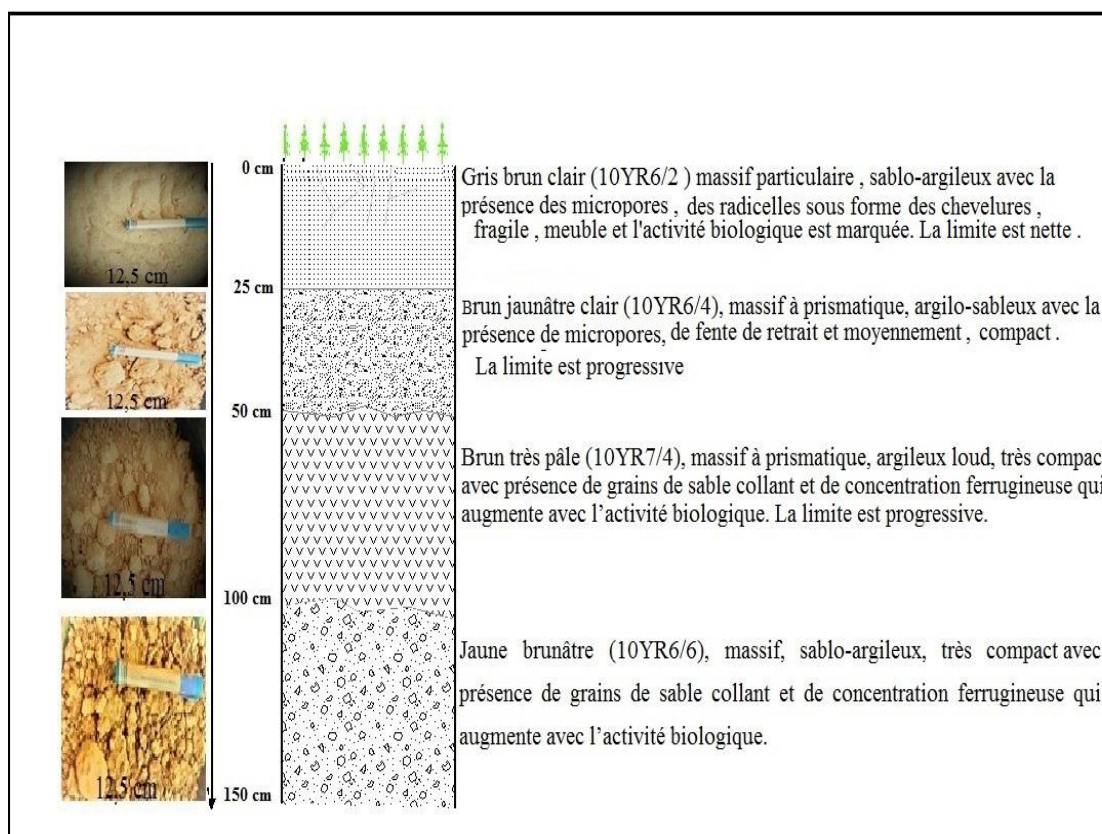


Figure 18: Organisation morphologique des sols du profil à pente et horizons de ce profil

4.3.3. Profil à mi-pente

Le présent profil est des coordonnées $10^{\circ}12'23,5''$ de latitude Nord et de $14^{\circ}35'15,8''$ de longitude Est et d'altitude 400 m. Les flores qui se développent sur ces sols sont : *Zyziphus mauritiana* (dǎěre), *Piliostigma thonningii* (bourri), *acacia albida* (coúri), *parkia bigloba* (liuw). Il a une épaisseur de 160cm. En surface, on note la présence des fissures et aussi les fentes de retrait ou de dessiccation le long du profil. Il comprend quatre horizons variables de haut en bas, ses différents horizons sont décrits comme suit (fig. 20).

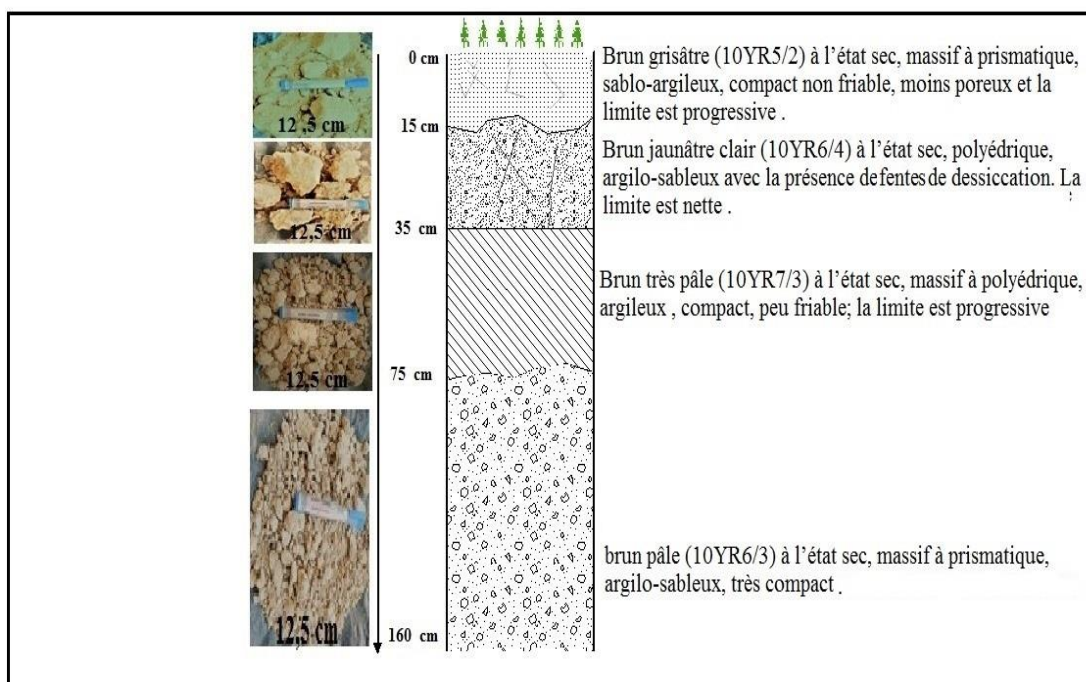


Figure 19: Organisation morphologique des sols du profil à mi-pente et horizons de ce profil

4.3.4. Profil en bas de pente

Ce profil est situé des coordonnées $10^{\circ}11'47,5''$ de latitude Nord et de $14^{\circ}35'09,9''$ de longitude Est et d'altitude 390 m. Les flores qui se développent sur ces sols sont : *tamarindus indica* (bããre) ; *Zyziphus mauritiana* (dëëre) ; *Piliostigma thonningii* (bourri). En surface, on note la présence des fissures et aussi les fentes de retrait ou de dessiccation le long du profil. Il présente 04 horizons du haut vers le bas (fig. 20).

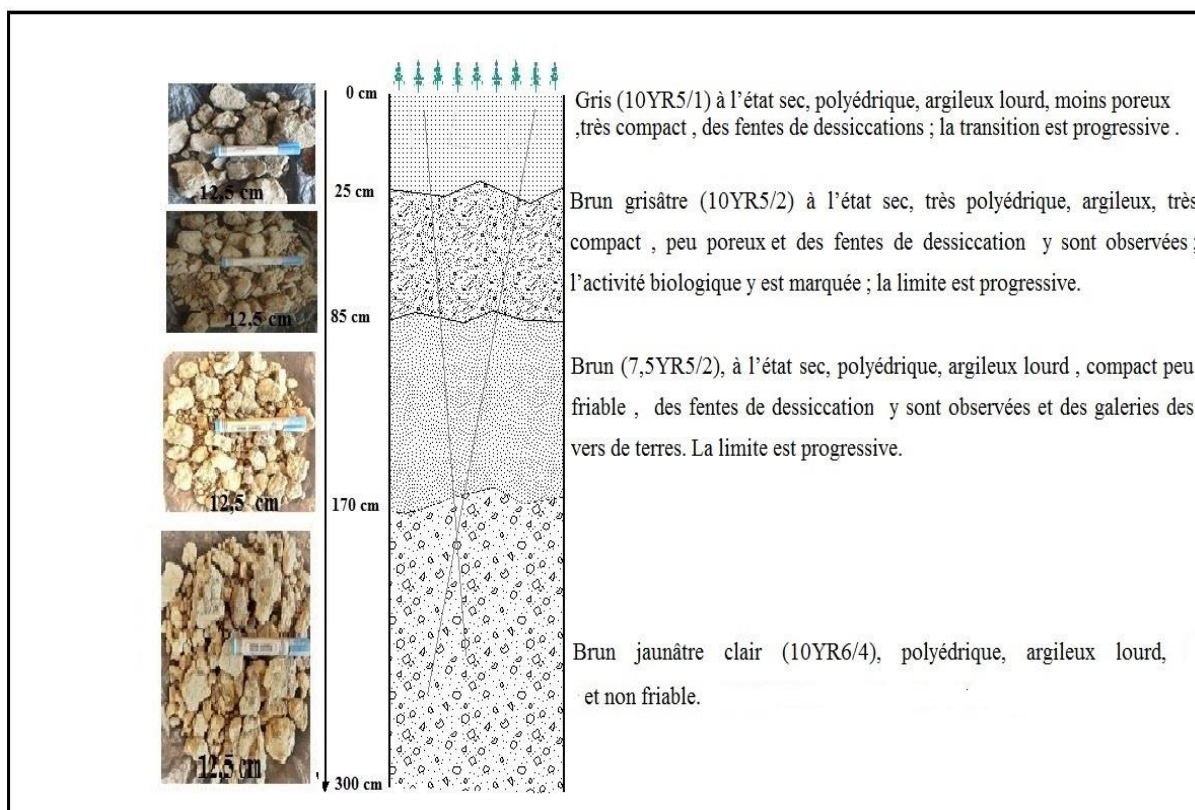


Figure 20: Organisation morphologique des sols du profil en bas de pente et horizons de ce profil

En définitif, la description macromorphologique a permis de distinguer deux types des sols : les sols ferrugineux tropicaux (lessivés et non lessivés) et les vertisols (dégradés et non dégradés). Les sols ferrugineux tropicaux sont les plus répandus et peu productifs dans cette zone d'étude que les vertisols. Les sols de Lara sont dans l'ensemble sablo-argileux à argileux lourd, polyédriques et massif par endroit, présence d'activités biologiques, la couleur des sols varie entre le brun clair, le brun foncé, jaune rougeâtre, le gris et brun pâle. La réalisation d'un profil topographique (fig.21) permet de ressortir les différents profils pédologiques et les différents horizons qui montre une concordance entre les différents horizons de chaque profil pédologique.

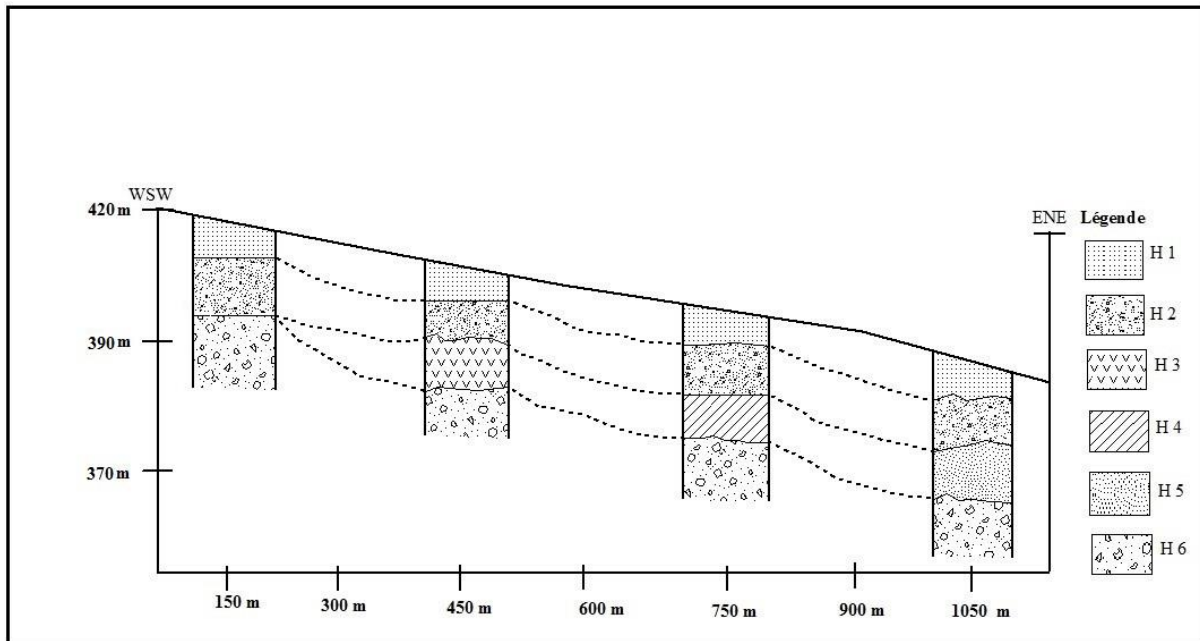


Figure 21: disposition des puits suivant la toposéquence

4.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Lara

4.4.1. Variation des teneurs en argile, limon et sables suivant la toposéquence en fonction de la profondeur

- Les proportions en argile varient et augmentent de la surface vers la profondeur dans le profil situé au sommet (ESP1) ;
- Le profil pédologique situé à pente (ESP2P) montre que les teneurs en sable sont importantes et varient en dent de scie ;
- Les teneurs en argile sont importantes dans le profil pédologique à mi- pente (ESP3MP) ;
- Les proportions en argile dans le profil pédologique en bas de pente (ESP4BP) sont importantes et varient de façon antagoniste avec le sable le long du profil (fig. 22 et 23).

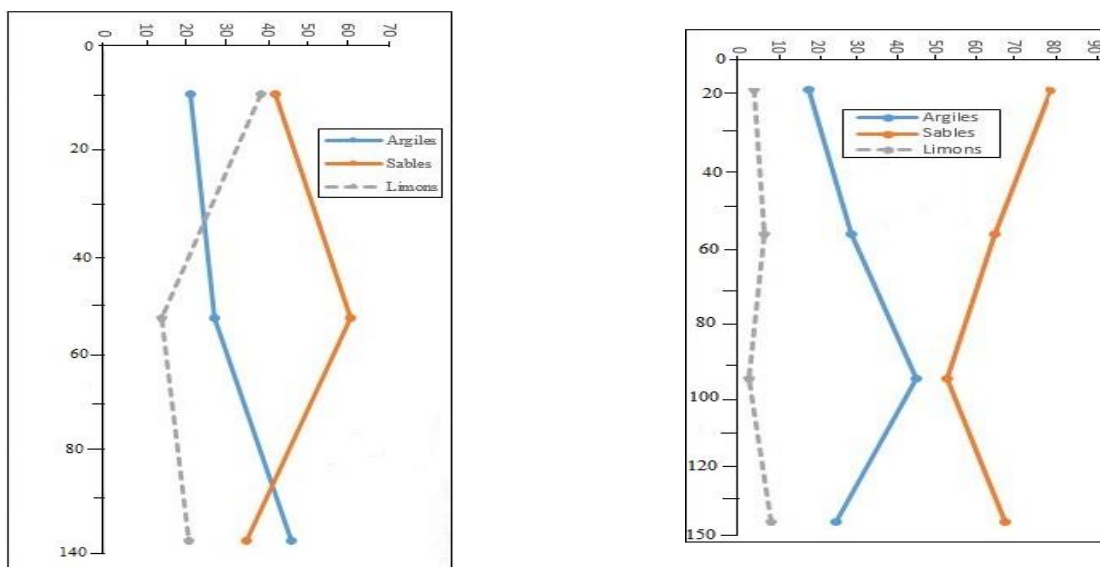


Figure 22: Variations d'argiles, de limons et de sables le long des profils ESP1S et ESP2P en fonction de la profondeur.

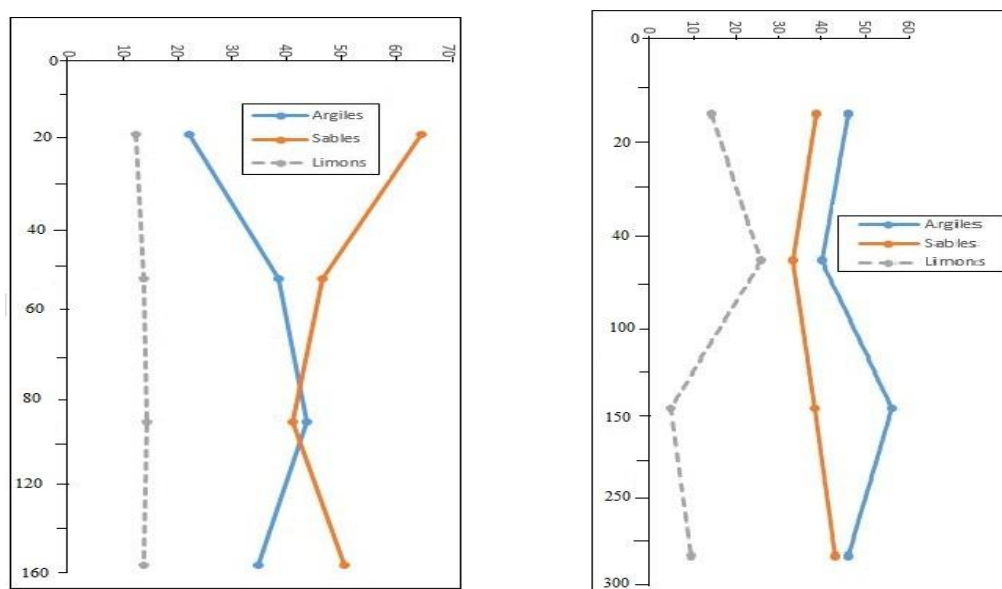


Figure 23: Variations d'argiles, de limons et de sables le long des profils ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.



- Le pH des trois horizons au sommet (ESP1S) est faiblement acide et varie en fonction de la profondeur ;
- Dans le profil ESP2P (à pente), le pH des quatre (04) horizons est faiblement acide et varie très peu en fonction de la profondeur ;
- Dans le profil ESP3MP, le pH est acide à la surface et devient basique avec la profondeur ;
- Le pH du profil ESP4BP (en bas de pente) est neutre et reste plus ou moins constant le long du profil (fig. 24).

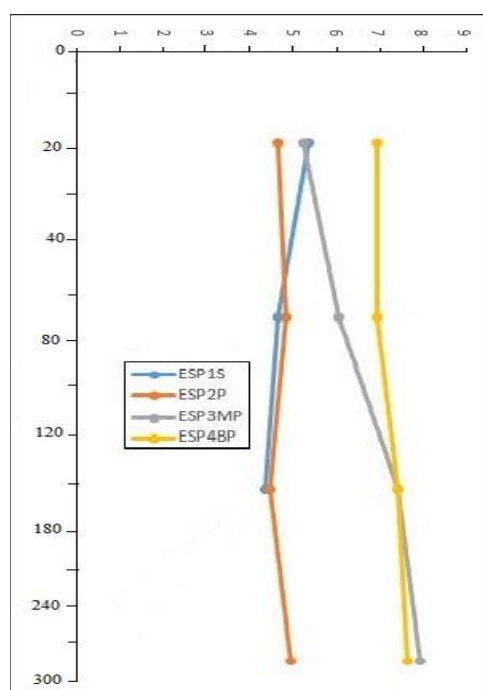


Figure 24 : Variations du pH le long des profils ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.

4.4.2.CEC et somme des bases échangeables (SBE)

- Les valeurs en capacité d'échange cationique (CEC) sont moyennes dans le profil ESP1S et évoluent de façon synchrone avec la SBE ;
- Dans le profil ESP2P, les valeurs en capacité d'échange cationique (CEC) sont moyennes et évoluent de façon synchrone avec la SBE ;
- Les valeurs en capacité d'échange cationique dans le profil ESP3MP évoluent de façon synchrone avec la SBE ;
- Le profil ESP4BP, les valeurs en capacité d'échange cationique évoluent de façon synchrone avec la SBE (fig. 25).

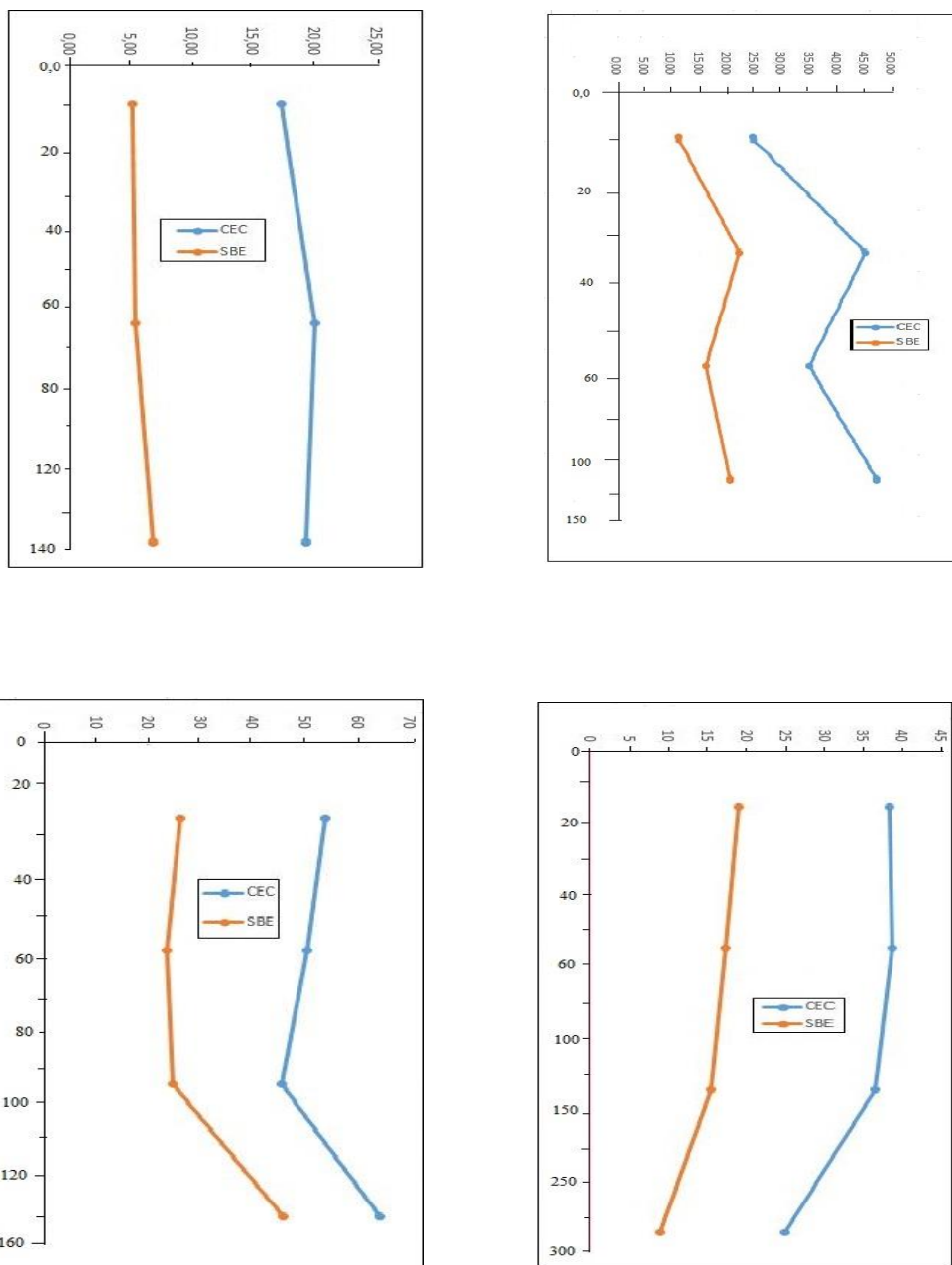


Figure 25: Variations de la somme des bases échangeables et du CEC dans les profils ESP1S, ESP2P, ESP3MP et ESP4BP en fonction de la profondeur.



4.5. Caractérisation morphologique des sols de Tchatibali

4.5.1. Profil de Kama

Le relief de sol Kama est une plaine sableuse occupée par une savane arbustive. Le sol est formé par une formation sédimentaire de couleur grise en surface, des coordonnées géographiques 14°55'36,6'' de latitude Nord, 14°55'44,9'' de longitude Est, 367±4 d'altitude. Des espèces végétales sont observées aux alentours à savoir *Ficus*, *Zyziphus mauritiana* (*děere*), *Balanites aegyptiaca* (*mbããga*), *Parkia biglobosa* (*liuw*), *Hyphene thebaica* (*haare*) et des herbes sèches qui couvrent les sols (fig. 26).

Le profil de Kama a été creusé en zone plate. Ce profil a une profondeur de 2 m et présente une succession de (04) quatre horizons suivants :

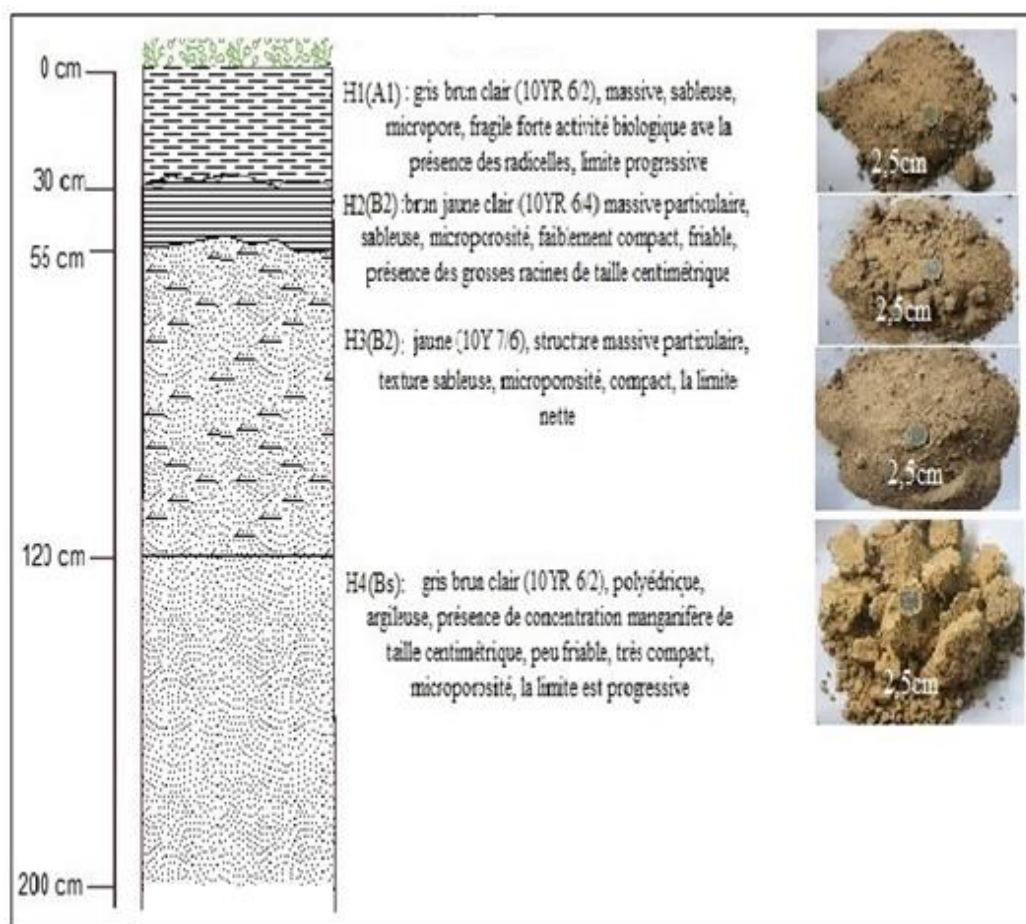


Figure 26 : Profil de Kama



4.5.2. Profil de Youaye-ni-mbogoue

Le relief du sol de Youaye ni mbogoue est une plaine alluviale occupée par une savane arbustive. L'environnement est occupé par, *Faidherbia albida* (coúri) *Zyziphus mauritiana* (nděere), *Ficus* et des couvertures herbeuses sèches. Le sol a une couleur grise en surface et de coordonnées géographiques 10°2'38'' de latitude Nord, 14°57''1,67'' de longitude Est, 355±2m (fig. 27).

Ce profil a une profondeur de 200 cm et présente une succession de (04) quatre horizons :

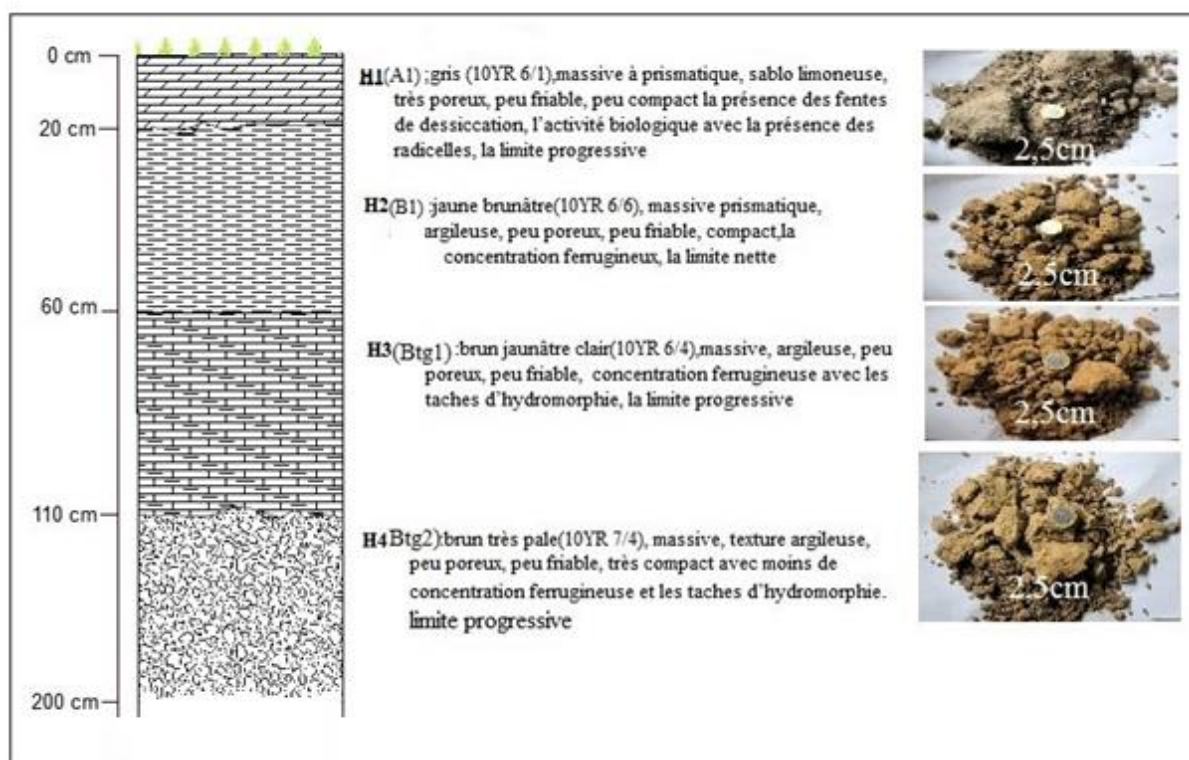


Figure 27: Profil de Youaye ni mbogoue.

4.5.3. Profil de Guitare

Le sol de guitare a une couleur gris brun clair en surface, le relief est une plaine sableuse. Le profil a pour coordonnées géographiques 10°2'40'' de latitude, de 14°56'27'' de longitude Est, 358±3 m (fig. 28).



Ce profil a une profondeur de 200 cm et présente une succession de (04) quatre horizons :

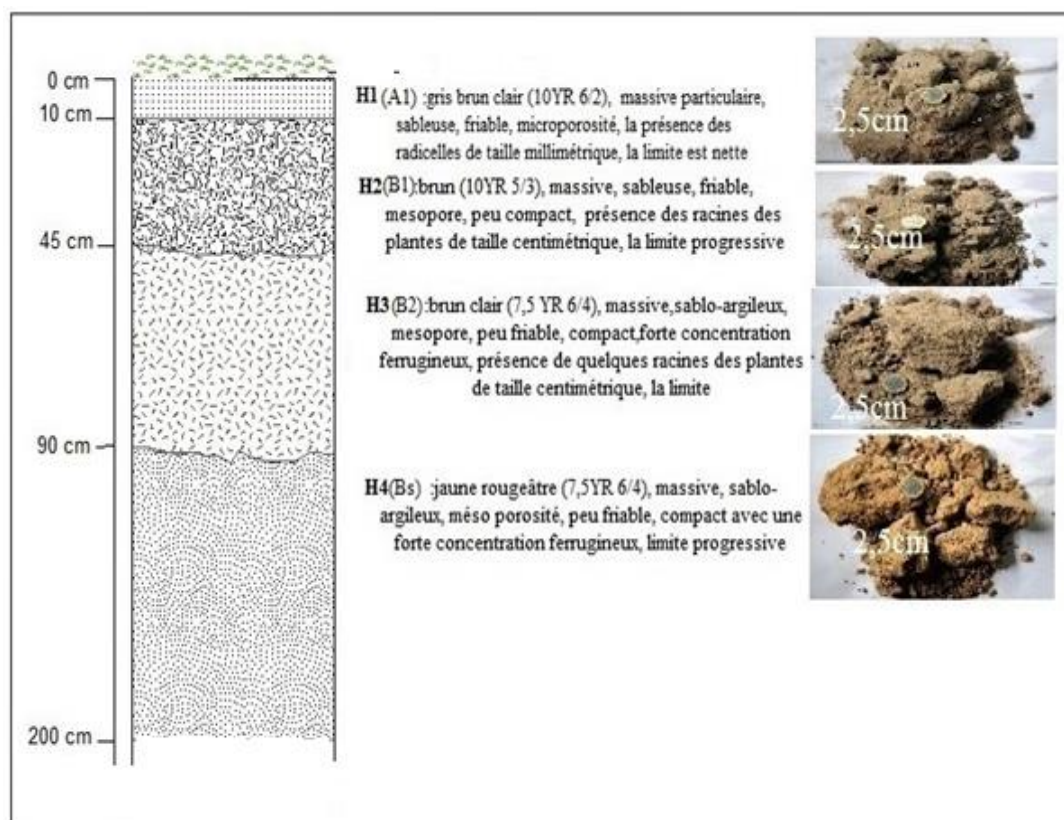


Figure 28 : Profil de Guitare

4.5.4. Profil de Djaolane

Le profil de Djaolane a été creusé dans un champ de Karal, sur un vertisols, dont les coordonnées géographiques sont 10°2'41,3'' de latitude Nord, 14°53'23,3'' de longitude Est et 344±5m d'altitude.

Le sol de Djaolane a une couleur gris-foncé en surface et présente des fentes de dessiccation à la surface jusqu'à un certain centimètre de profondeur et a un microrelief de type gilgai et présente 3% à mi pente (fig. 29). L'environnement est occupé par le prenic inondé et *federbia albida*, **Gardema akouala** (*mbaow*) *glocesens* ; *Piliostigma tonningii* (*boúrri*) ; *Tamarintus indica* (*bããre*) ; *Acacia sieberiana* (*ciěň*) *Hyphene thebaica* (*haare*).



Ce profil a une profondeur de 170cm et présente une succession de trois horizons suivants :

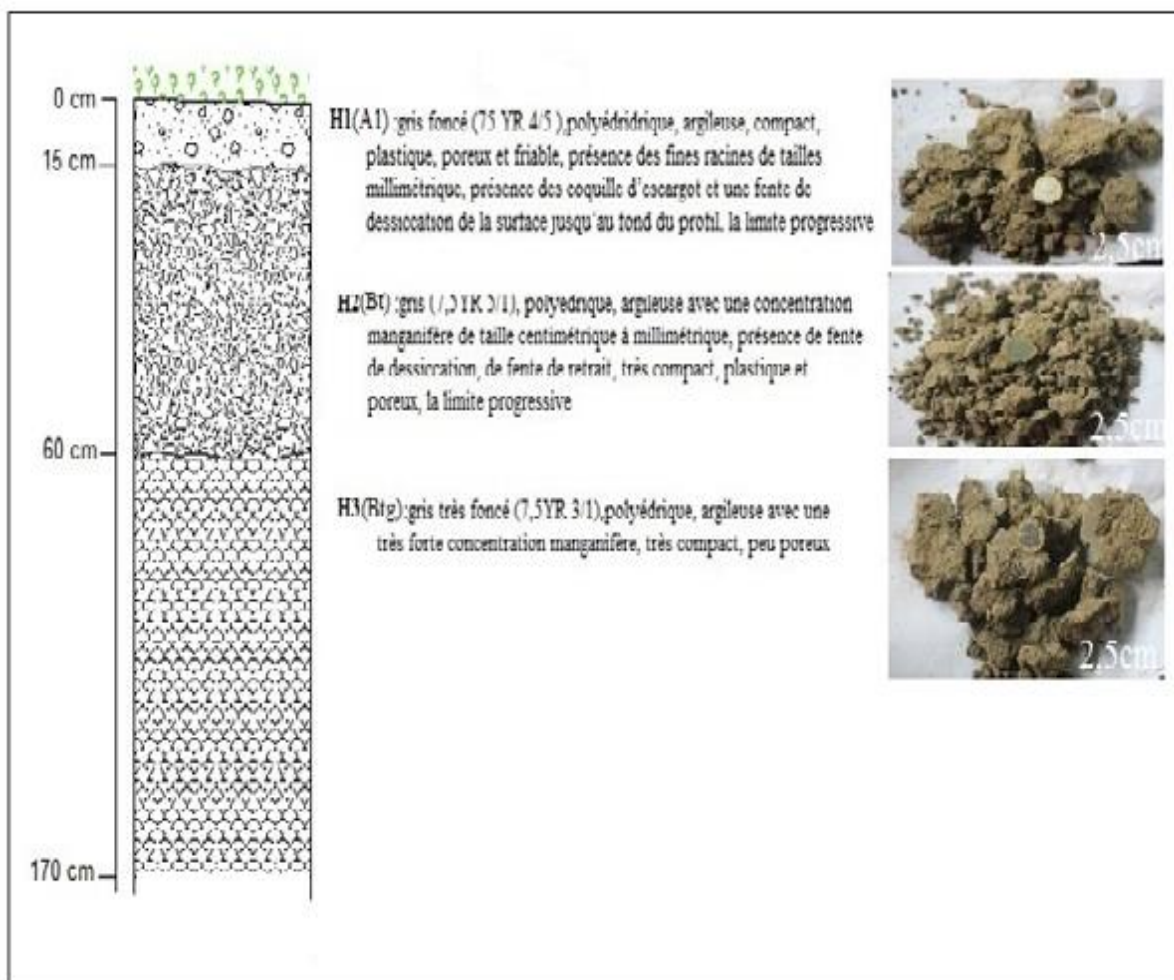


Figure 29: Profil de Djaolane

4.6. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Tchatibali

4.6.1. Profils de Kama

- Dans le profil PK, l'analyse granulométrique montre que la fraction sableuse est plus élevée dans le premier horizon et varie dans chaque profondeur ;
- Le profil PK a un pH neutre pour le premier horizon à acide pour les trois derniers horizons ;



- La capacité d'échange cationique (CEC) est moyenne dans les trois horizons de profil PK ;
- La somme des bases échangeables (S) quant à elle, diminue en fonction de la profondeur (fig. 30 et 31).

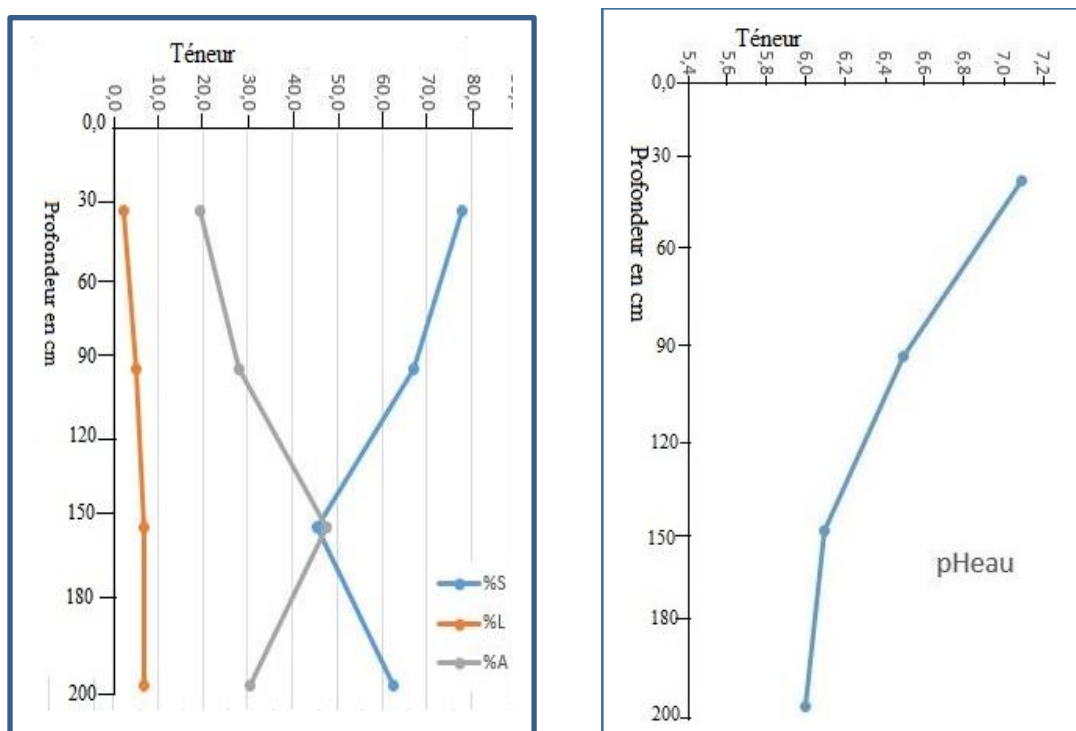


Figure 30 : Variation du sable, de limon, d'argile et du pH en fonction de la profondeur pour le profil PK

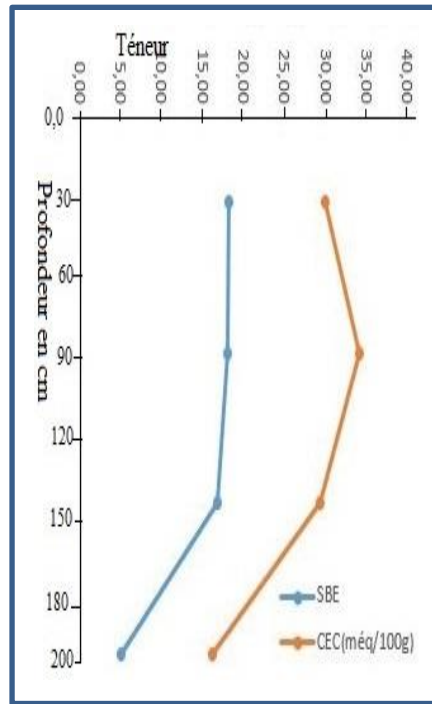


Figure 31 : Variation du CECet SBE en fonction de la profondeur du profil PK.

4.6.2. Profil de PY

- Le résultat d'analyse granulométrique montre que dans le premier horizon A₁, la teneur en sable est forte, très faible teneur en limon et en argile ;
- Le pH du profil PY est acide, neutre à alcalin et croît avec la profondeur ;
- La capacité d'échange cationique est globalement moyenne dans tout le profil ;
- La somme des bases échangeables (S) en méq/100 g est moyenne à faible le long du profil (Fig. 32 et 33).

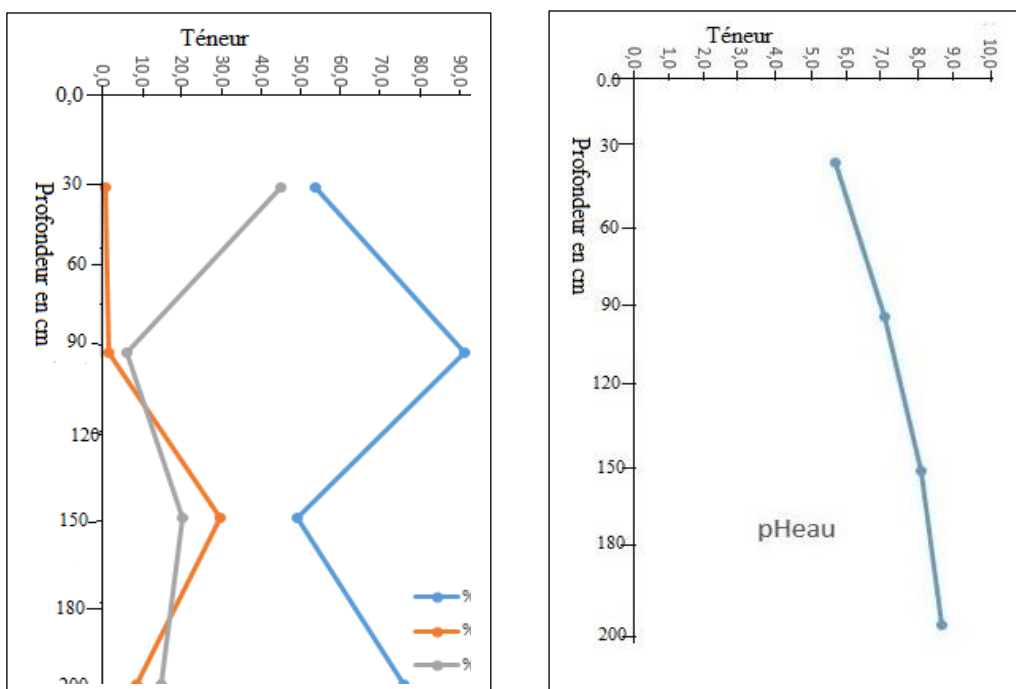


Figure 32 : Variation du sable, de limon , d'argile et du pH en fonction de la profondeur du profil PY.

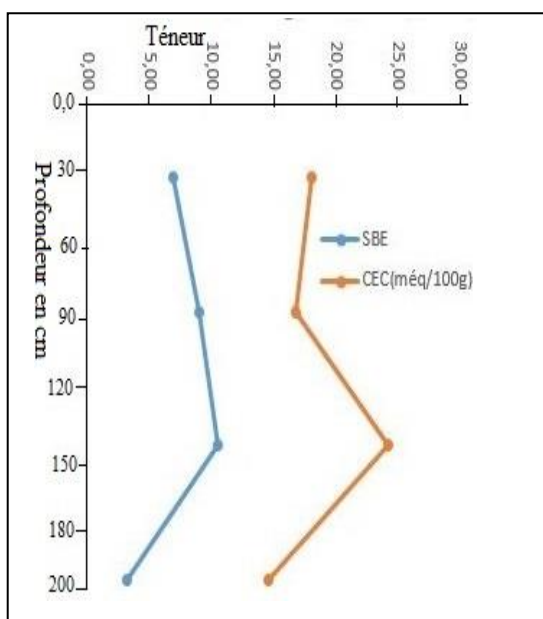


Figure 33 : Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PY.



4.6.3. Profil PG

- Les analyses granulométriques montrent qu'elles ont une teneur en sable légèrement élevée, une valeur en limon légèrement faible et une teneur en argile légèrement moyenne ;
- Les valeurs de pH du profil de Guitare révèlent que l'horizon A₁ est faiblement alcalin, B₁ est faiblement acide et les deux derniers horizons (B₂ et B_s) sont légèrement alcalins respectivement (Fig. 34) ;
- La capacité d'échange cationique est croissante à partir de la deuxième jusqu'au dernier horizon. Moyenne dans le deux derniers horizon (Fig.35) ;
- La somme des bases échangeables (S) donne une valeur moyenne dans le dernier horizon et faible dans les deux horizons.

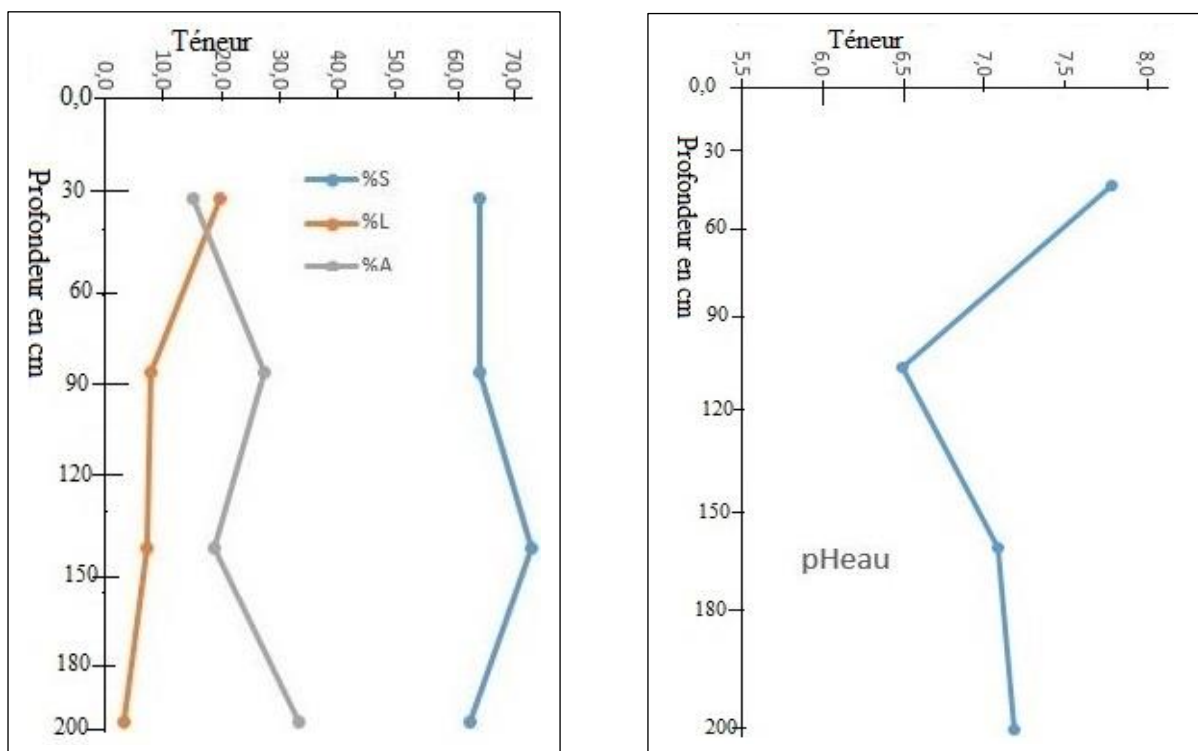


Figure 34 : Variations du sable, limon, de l'argile et pH en fonction de la profondeur du profil PG.

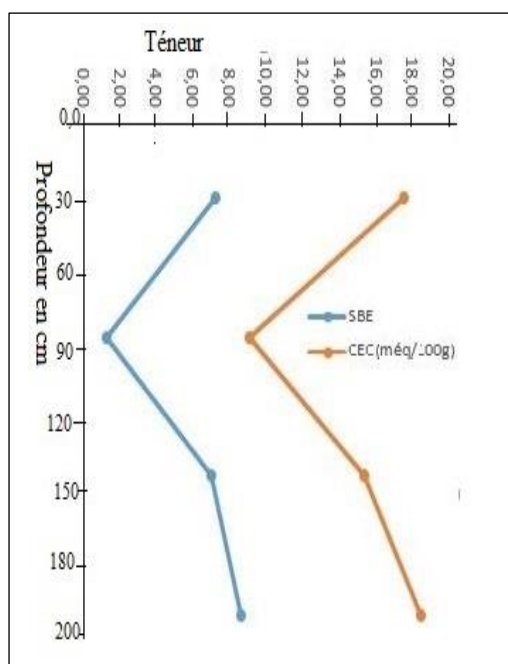


Figure 35: Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PG.

4.6.4. Profil PJ

- Les analyses granulométriques montrent que l'horizon A₁ a une teneur moyenne en sable, une valeur en limon légèrement moyenne et une teneur moyenne en argile ;
- Les valeurs de pH du profil PJ révèlent que l'horizon A₁ et Bt sont faiblement alcalin, et le dernier horizon Btg est faiblement acide (Fig. 36) ;
- La capacité d'échange cationique est croissante du haut vers le bas dans les horizons du profil (Fig. 37) ;
- La somme des bases échangeables (SBE) est moyennement dans les trois horizons et donne une valeur optimum de 8,47 még/100 g dans le deuxième horizon.

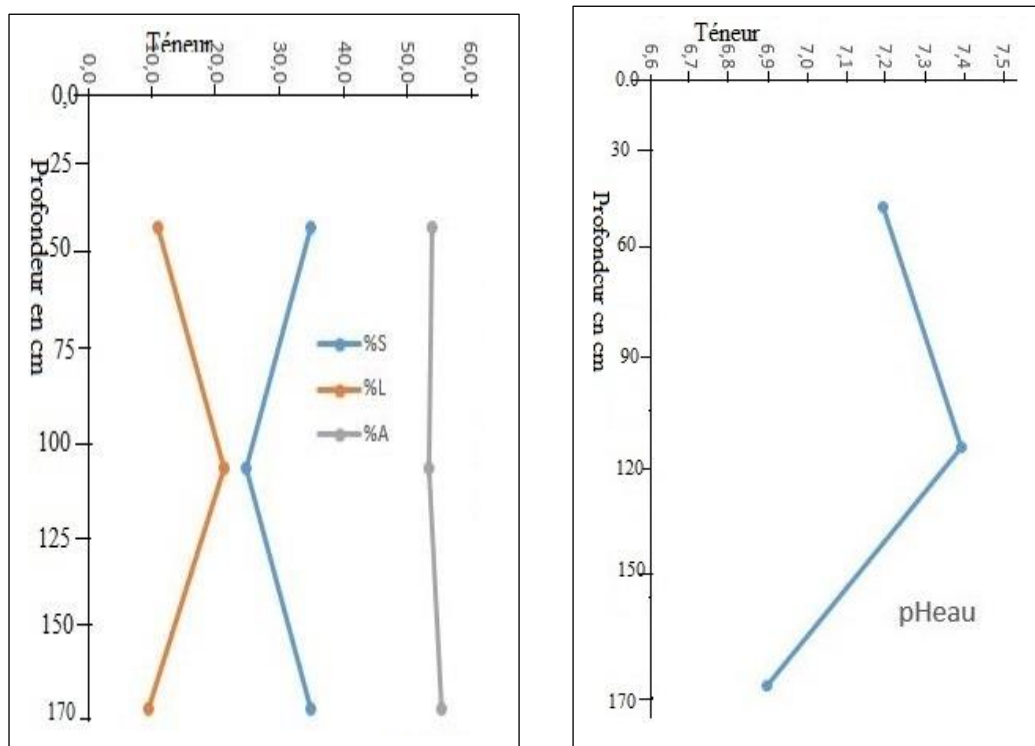


Figure 36 : Variations du sable, limon, d'argile et du pH en fonction de la profondeur du profil PJ

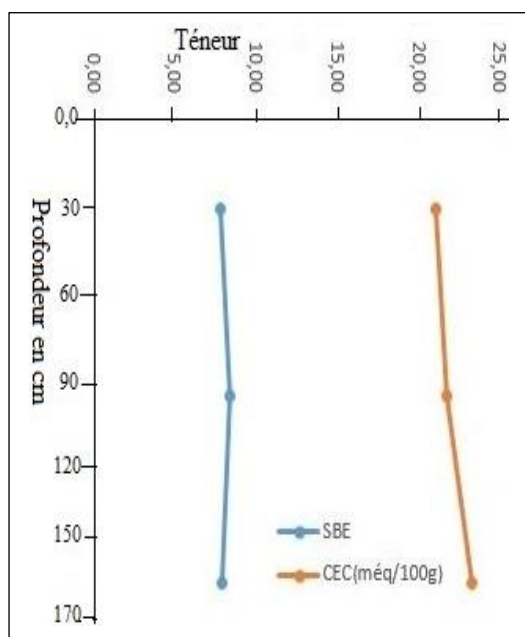


Figure 37 : Variations de la SBE et CEC en fonction de la profondeur du profil PJ.

4.7. Caractéristiques morphologiques des sols de Dibi

4.7.1. Profil au sommet

Le premier profil étudié est localisé par les coordonnées 7°7'59'' latitude Nord et 13°43'48'' longitude Est à 1204 m d'altitude. Les éléments grossiers observés à la surface sont pour la plupart des roches volcaniques de dimensions comprises entre 5 et 10 cm. La couverture pédologique est continue. L'environnement végétal est une savane caractérisée par une formation arbustive à deux niveaux (arbres de 2m et 1m) à tapis moyennement herbacée (fig. 38). Les horizons suivants ont été observés :

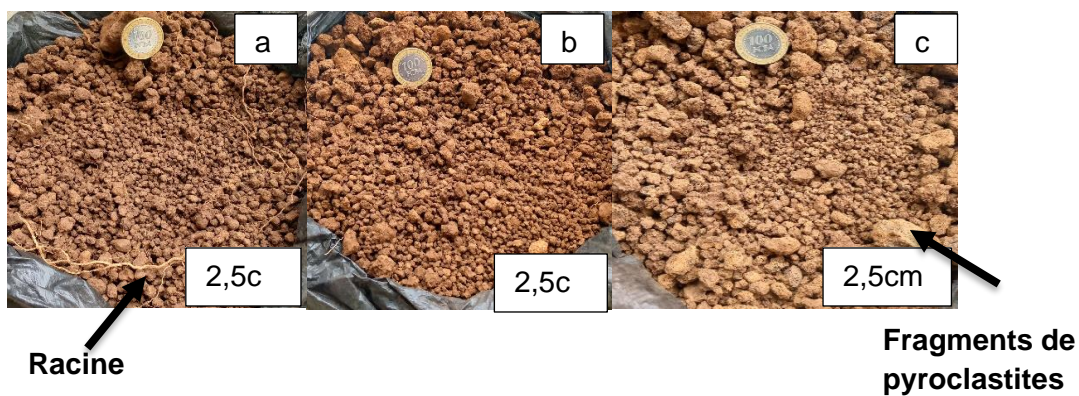
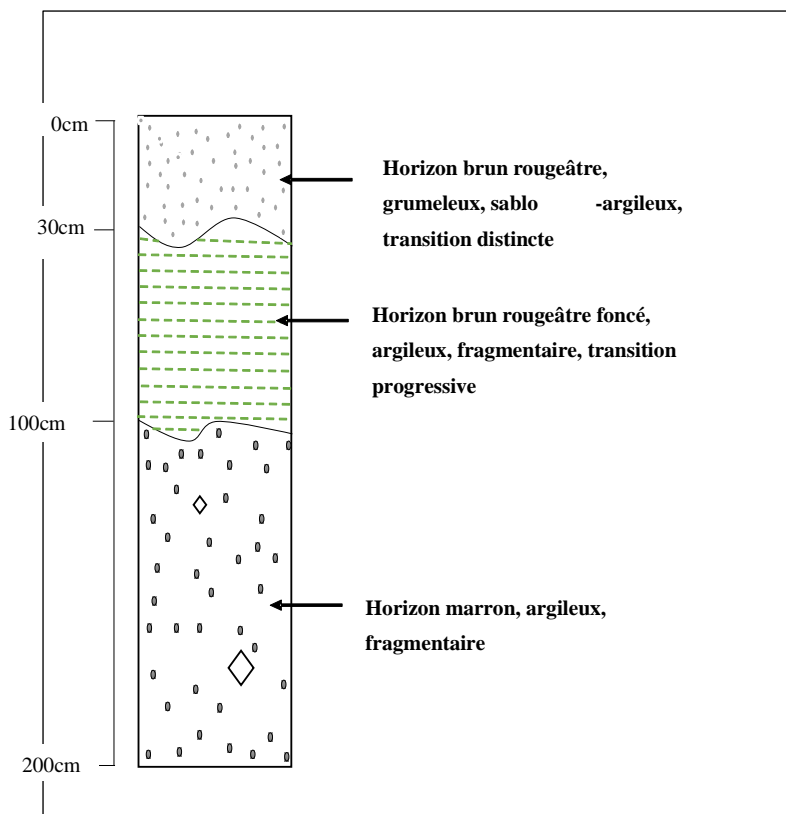


Figure 38 : Horizons pédologiques situés au sommet de la pente



4.7.2. Profil situé à mi-pente

Le deuxième profil localisé à 7°48'52'' de latitude Nord et 13°43'2,045'' de longitude Est à 1229 m d'altitude fait 280cm et comporte 3 horizons (fig. 39)

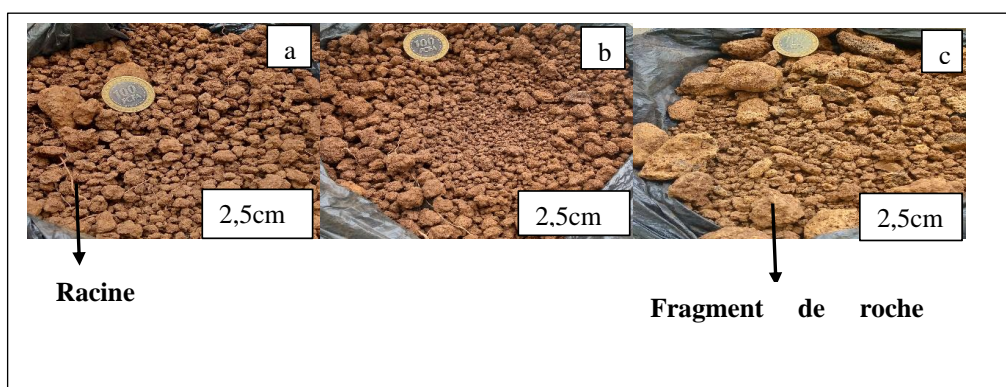
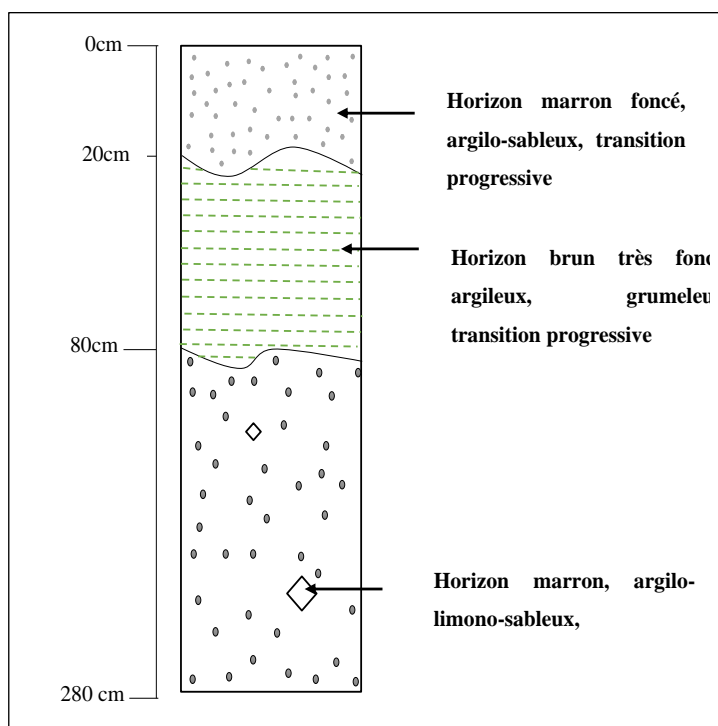


Figure 39: Horizons pédologiques situés au sommet de la pente



4.7.3. Profil situé en bas de pente

Le troisième profil qui est localisé aux coordonnées 7°8'54,068'' de latitude Nord, 13°43'365'' de longitude Est à 1229 m d'altitude comprend 4 horizons (fig. 40)

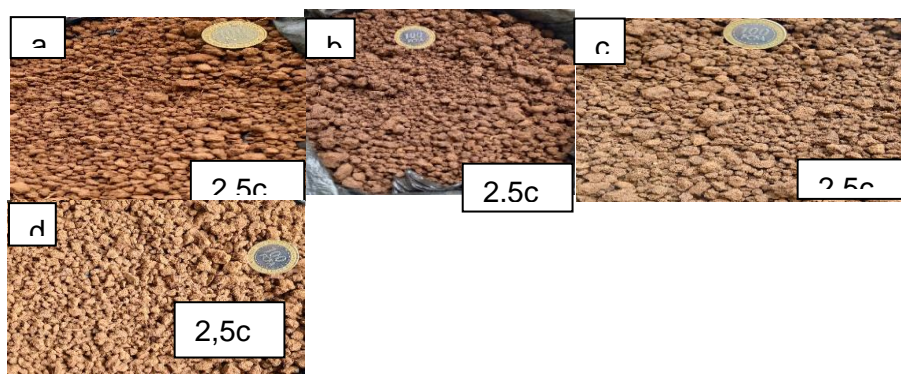
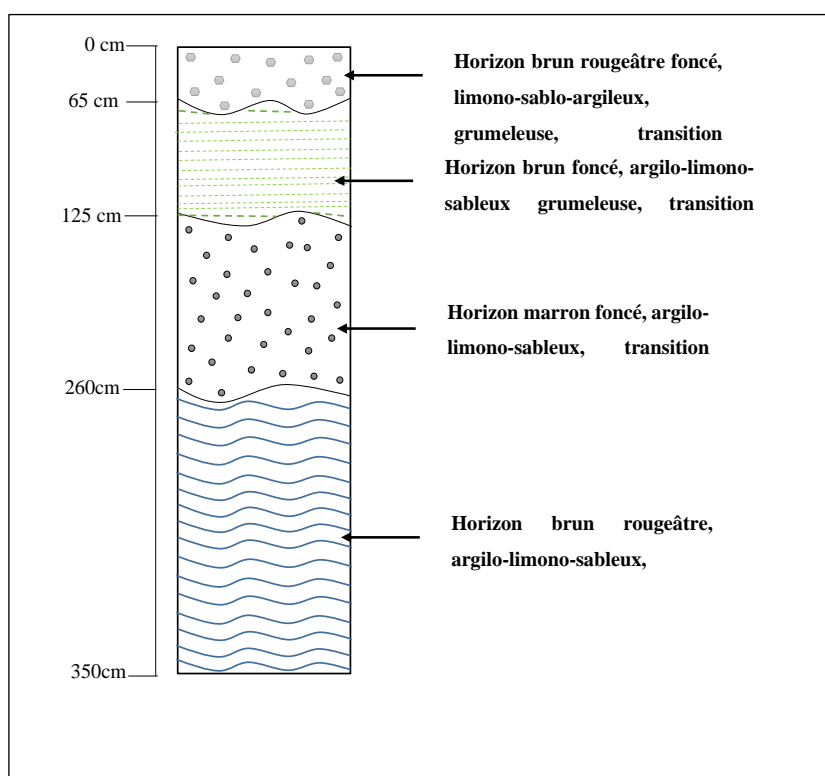


Figure 40: horizons pédologiques en bas de pente

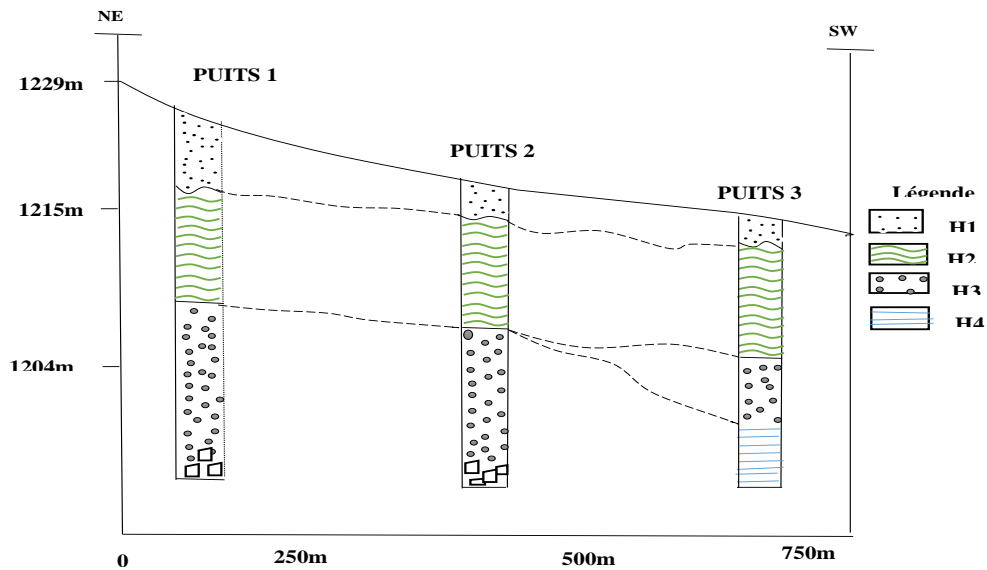


Figure 41 : disposition des puits suivant la toposéquence

4.8. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Dibi

4.8.1. Granulométrie pour les trois profils

- L'argile évolue avec la profondeur pour les trois profils ;
- Le sable diminue avec la profondeur pour les trois profils ;
- Le limon évolue avec la profondeur pour les trois profils (fig. 42).

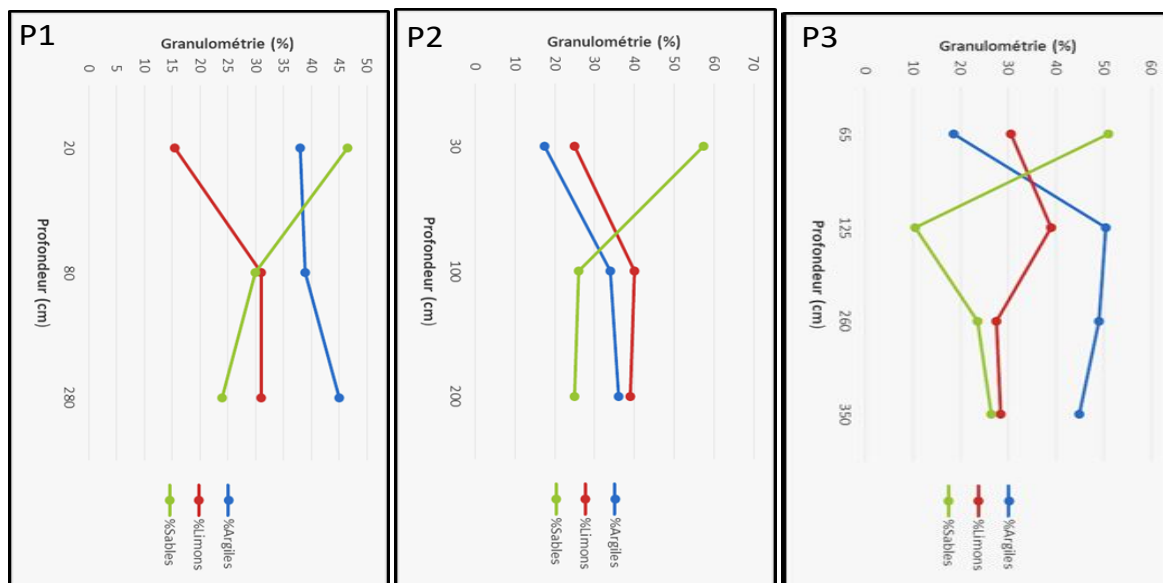


Figure 42: Evolution du taux d'argile, de limons et de sables le long du profil P1, P2 et P3

4.8.2. pH

- Le pH évolue de façon croissante sur les trois profils (fig. 43)

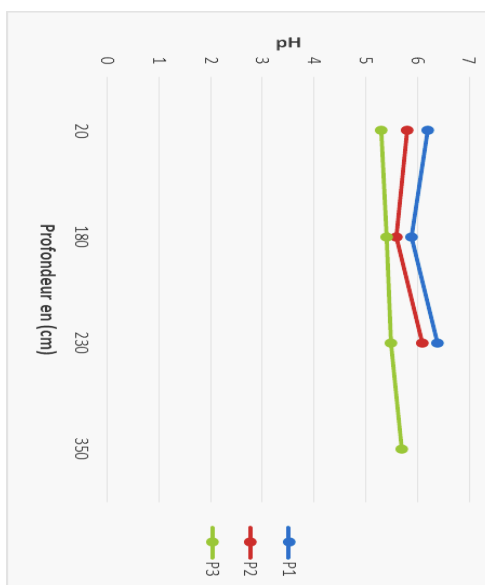


Figure 43: Evolution du pH le long des profils P1, P2 et P



4.8.3.CEC et SBE

- La SBE diminue avec la profondeur dans les profils 1 et 3 et augmente légèrement avec la profondeur dans le profil 2.
- La CEC augmente avec la profondeur dans les profils 1 et 3 et chute avec la profondeur dans le profil 2 (fig. 44).

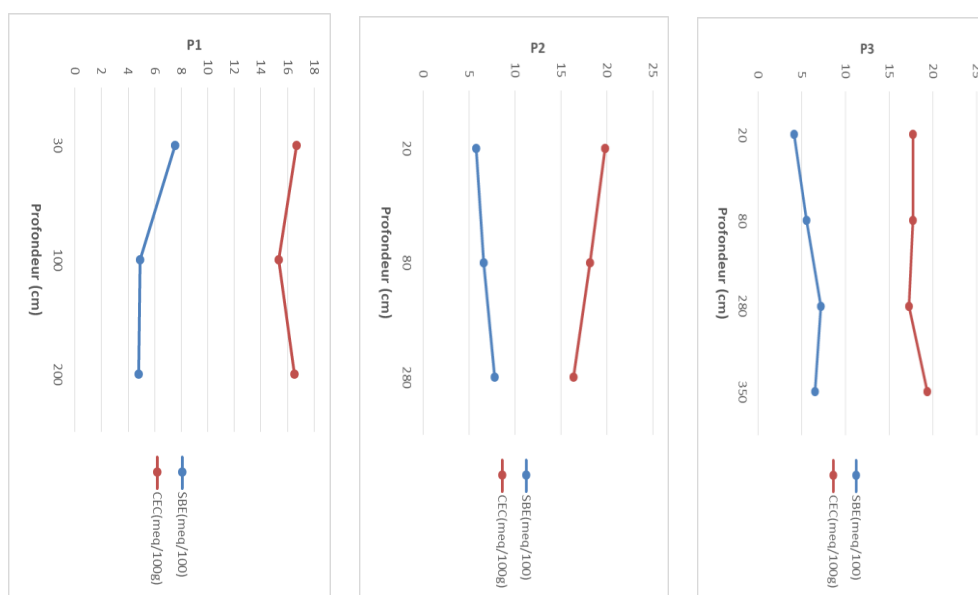


Figure 44: Evolution de la somme des bases échangeables, de la capacité d'échange cationique le long du profil P1, P2 et P3



5. Étude du potentiel fertilisants des matériaux géologiques locaux : essai d'incubation.

5.1. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura

Tableau 1: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 10% à bases des granites

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	KJ0	KJ1-10	KJ2-10	KJ3-10
*Ca cmol/kg	2,8	3,68	3,8	3,4
*Mg cmol/kg	1,36	2,16	0,84	2,48
*K cmol/kg	0,18	0,15	0,15	0,53
*Na cmol/kg	0,14	0,14	0,09	0,09
*T(CEC) cmol/kg	14,80	19,08	24,20	21,60
Somme des bases (cmol/Kg)	4,48	6,12	4,48	6,16
Taux de saturation	30,27	32,07	20,89	26,48
pH	6,3	6,4	6,9	5,5

5.1.1 Sommes des bases échangeables

L'apport des granites sur les sols de gamboura améliore significativement la somme des bases échangeables, le calcium, le magnésium et le potassium mais on note que le sodium ne varie et reste constant par rapport à la valeur dans le sol témoin (fig.45).

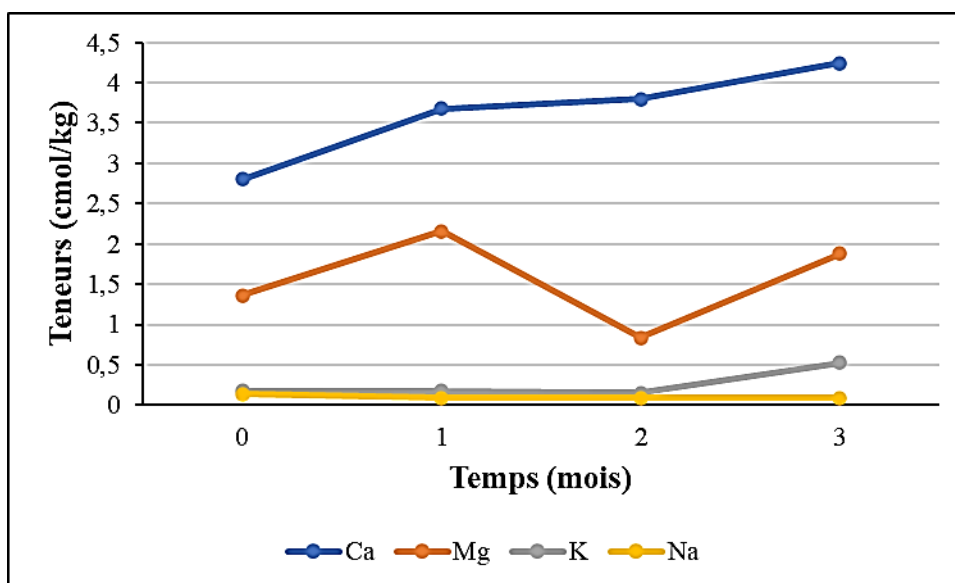


Figure 45: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% des granites au sol.

5.1.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 10% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois d'incubation, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le troisième mois, avec une valeur maximale le 2^e mois pour les trois paramètres (fig. 46).

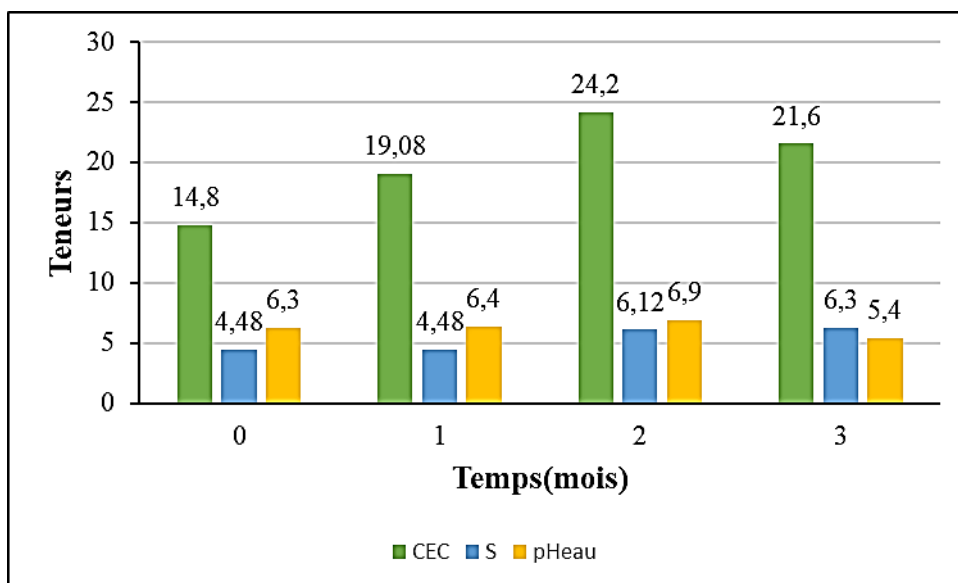


Figure 46 : Variation de la CEC de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 10% des granites au sol

5.1.3. Le taux de saturation

L’apport des granites améliore significativement le taux de saturation le 1,2 et 3^e mois d’incubation par rapport à la valeur dans le témoin avec une valeur maximal le premier mois d’incubation (fig. 47).

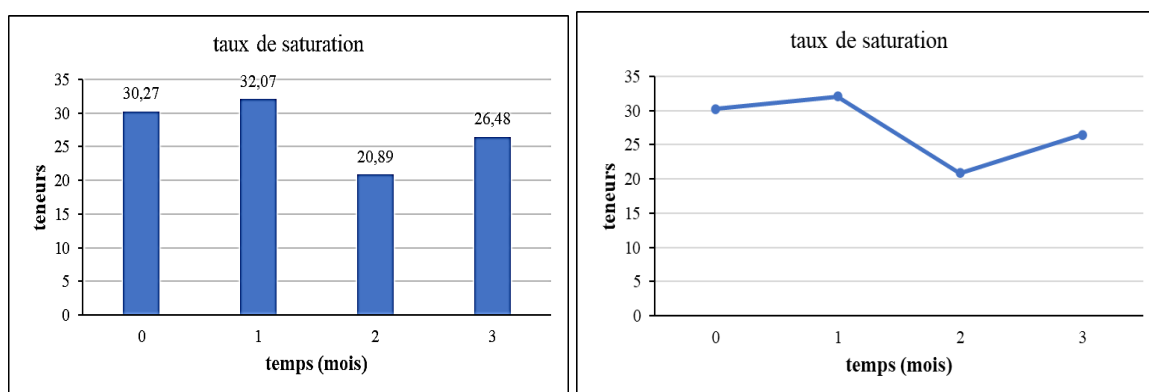


Figure 47 : Variation de la teneur en taux de saturation en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 10% des granites au sol



5.2. Amendement avec 20 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura

Tableau 2: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à bases des granites pour le taux d'application de 20% comparés à ceux du sol témoin

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	KJ0	KJ1-20	KJ2-20	KJ3-20
*Ca cmol/kg	2,8	4,04	3,44	3,78
*Mg cmol/kg	1,36	1,58	1,52	1,80
*K cmol/kg	0,18	0,2	0,15	0,53
*Na cmol/kg	0,14	0,14	0,11	0,09
*T(CEC) cmol/kg	14,80	18,3	21,42	17,56
Somme des bases (cmol/Kg)	4,88	6,3	5,22	6,6
Taux de saturation	30,27	32,42	24,38	35,35
pH	6,3	6,7	7,1	5,5

5.2.1. Sommes des bases échangeables

L'apport de granites pour le traitement de 20% accroît significativement le calcium, le magnésium par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin par contre le sodium, la valeur reste constante égale à celle dans sol témoin le premier mois et chute légèrement le deuxième et le troisième mois (fig. 48)

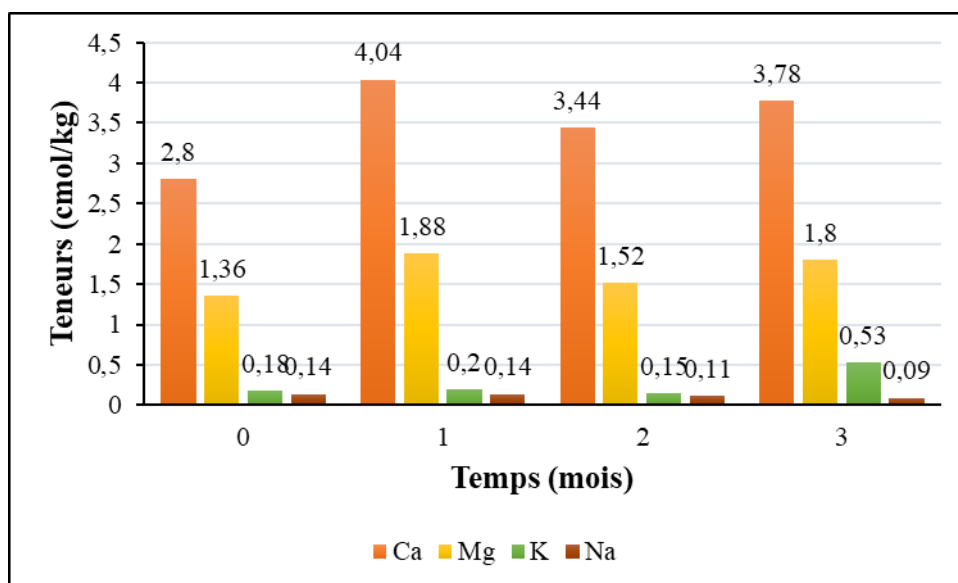


Figure 48 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% des granites au sol

5.2.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 20% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois De l'étude cinétique, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le troisième mois, avec une valeur maximale le 2^e mois pour les trois paramètres (fig. 49).

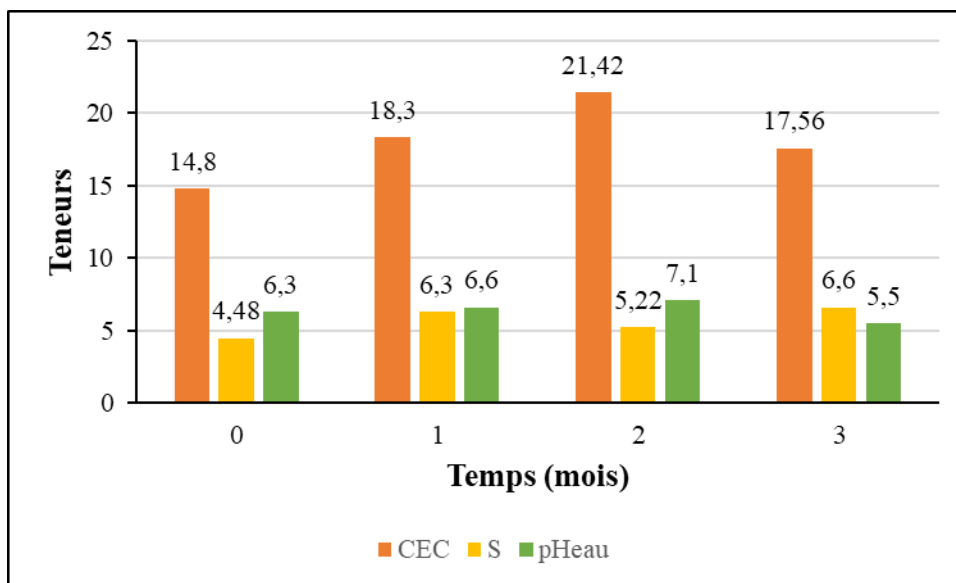


Figure 49 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% des granites au sol

5.2.3. Le taux de saturation

L'apport des granites améliore significativement le taux de saturation le 1,2 et 3^e mois d'incubation par rapport à la valeur dans le témoin avec une valeur maximal le premier mois d'incubation (fig. 50)

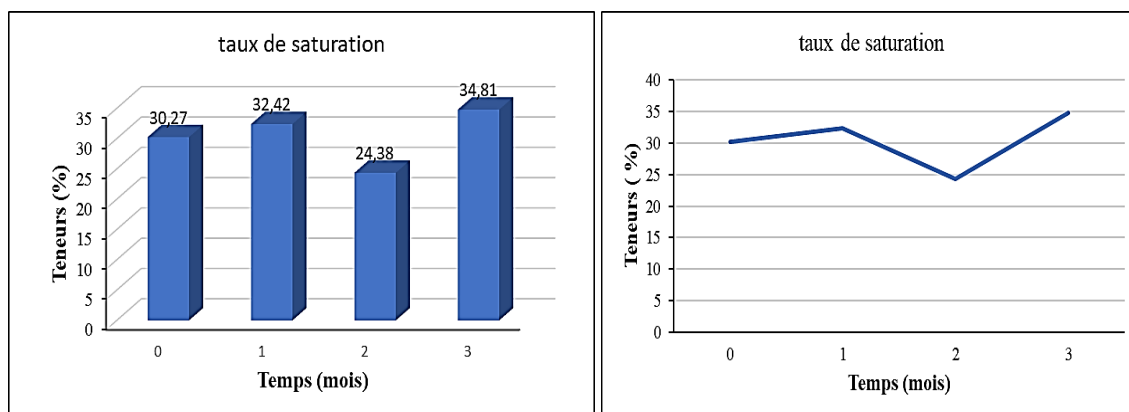


Figure 50 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de des granites au sol



5.3. Amendement avec 30 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Gamboura

Tableau 3: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à bases des granites pour le taux d'application de 30%, comparés à ceux du sol témoin

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	KJ0	KJ1-30	KJ2-30	KJ3-30
*Ca cmol/kg	2,8	5,2	3,24	3,4
*Mg cmol/kg	1,36	3,2	1,72	1,10
*K cmol/kg	0,18	0,18	0,12	2,09
*Na cmol/kg	0,14	0,14	0,09	0,09
*T(CEC) cmol/kg	14,80	22,2	22,12	16,86
Somme des bases (cmol/Kg)	4,88	8,7	5,17	5,1
Taux de saturation	30,27	33,18	23,69	36,83
Ph	6,3	6,75	6,9	5,5

5.3.1. La somme des échangeables

L'apport de granites pour le traitement de 30% accroît significativement également le calcium, le magnésium par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin par contre le sodium, la valeur reste constante égale à celle dans sol témoin le premier mois et chute légèrement le deuxième et le troisième mois (fig. 51)

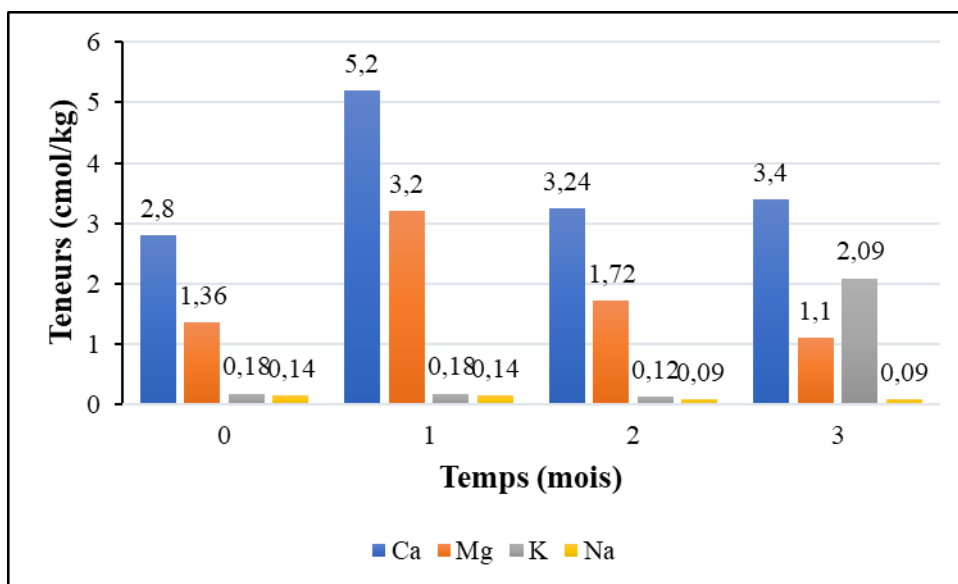


Figure 51 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% des granites au sol

5.3.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 30% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois De l'étude cinétique, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le troisième mois, avec une valeur maximale le 1^e mois pour les trois paramètres (fig. 52).

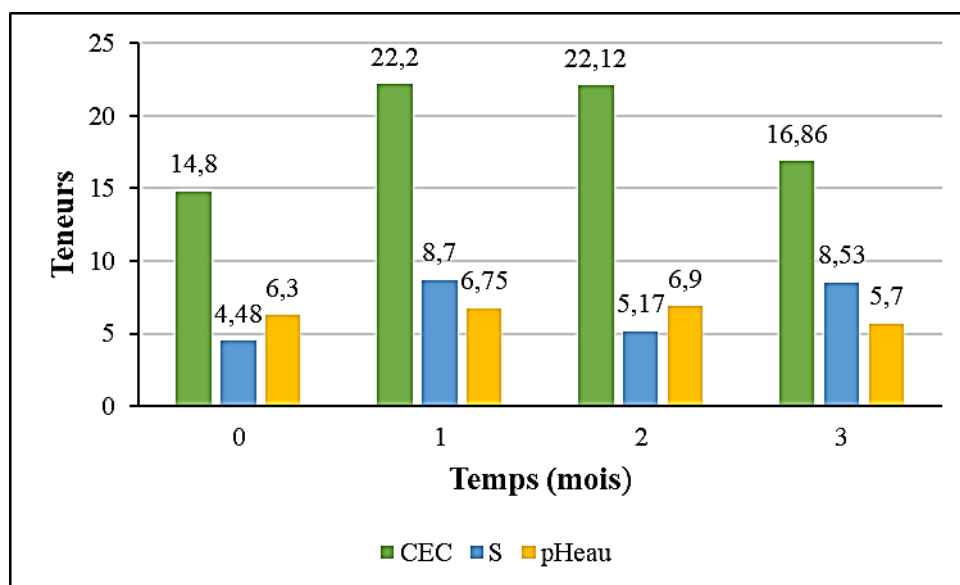


Figure 52: Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH, en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 30% des granites au sol

5.3.3. Le taux de saturation

L’apport des granites améliore significativement le taux de saturation le 3^e mois d’incubation par rapport à la valeur dans le témoin mais on note une légère chute le 1^e et 2^e mois par rapport à la valeur de référence (fig. 53).

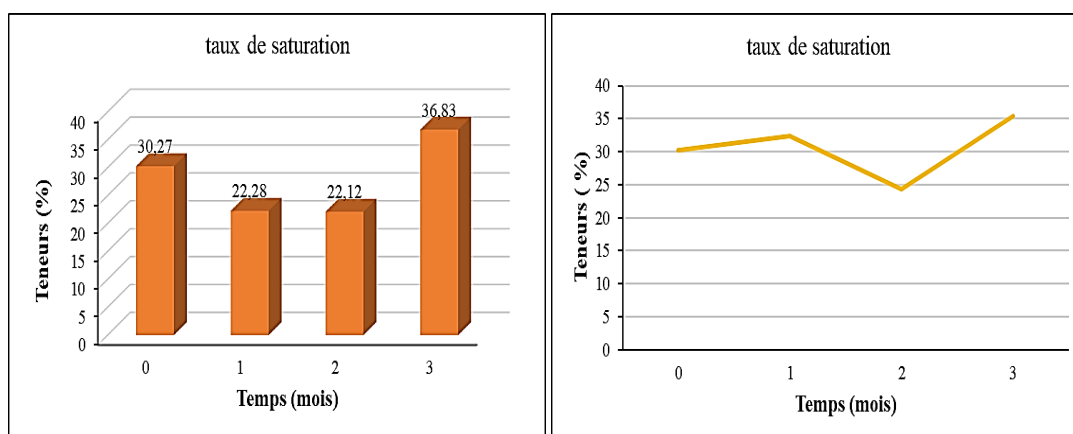


Figure 53 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 30% des granites au sol



5.4. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara.

Tableau 4: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 10% à base de granites comparés au sol témoin.

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	ST	BA1-10	BA2-10	BA3-10
*Ca cmol/kg	1,36	3,7	5,70	3
*Mg cmol/kg	1,16	3,84	2,29	1,26
*K cmol/kg	0,60	1	0,93	0,745
*Na cmol/kg	0,21	0,5	0,33	0,9
*T(CEC) cmol/kg	11,15	24,22	20,96	18,06
Somme des bases (cmol/Kg)	3,33	9	9,25	5,1
Taux de saturation	29,86	37,15	44,11	33,01
pH	6,1	6,6	7,05	5,5

5.4.1. La somme des bases échangeables.

L'apport de granites pour le traitement de 10% accroît significativement les cations basiques échangeables (le calcium, le magnésium, potassium et le sodium) par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin et ceci pour tous les mois d'incubation (fig. 54).

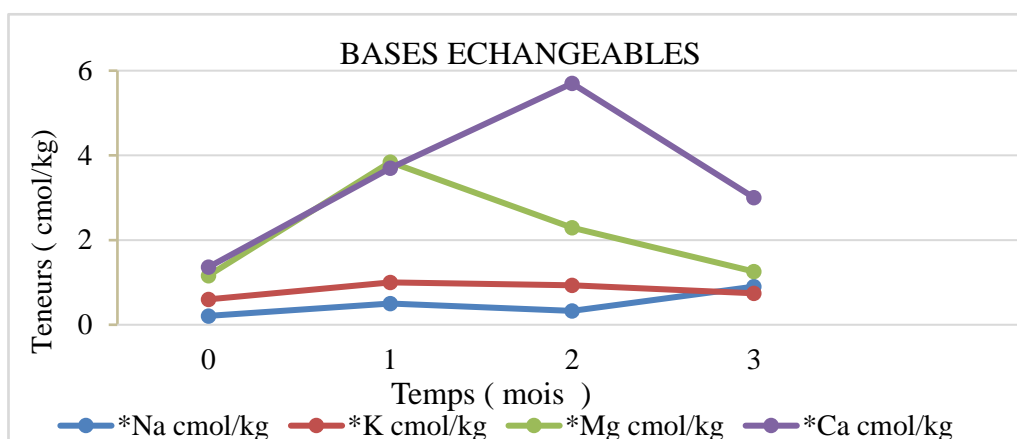


Figure 54 : Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de granites au sol.



5.4.2. La CEC, la SBE et pH

Pour le traitement de 10% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois De l'étude cinétique, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le troisième mois, avec une valeur maximale le 1^e mois pour La CEC et le 2^e mois pour la SBE et le pH (fig. 55).

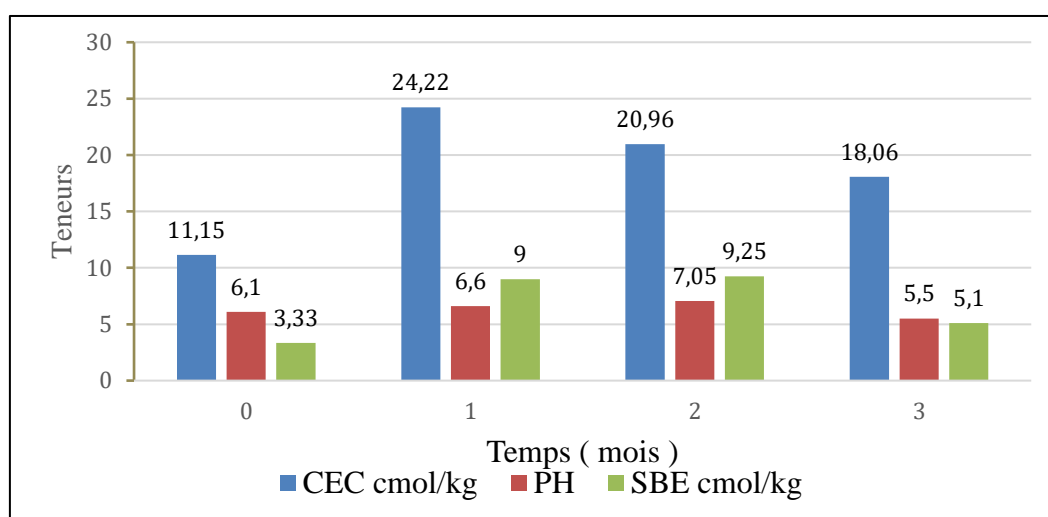


Figure 55 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de granites au sol



5.4.3. Le taux de saturation.

L'apport des granites améliore significativement le taux de saturation pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le deuxième d'incubation (fig. 56).

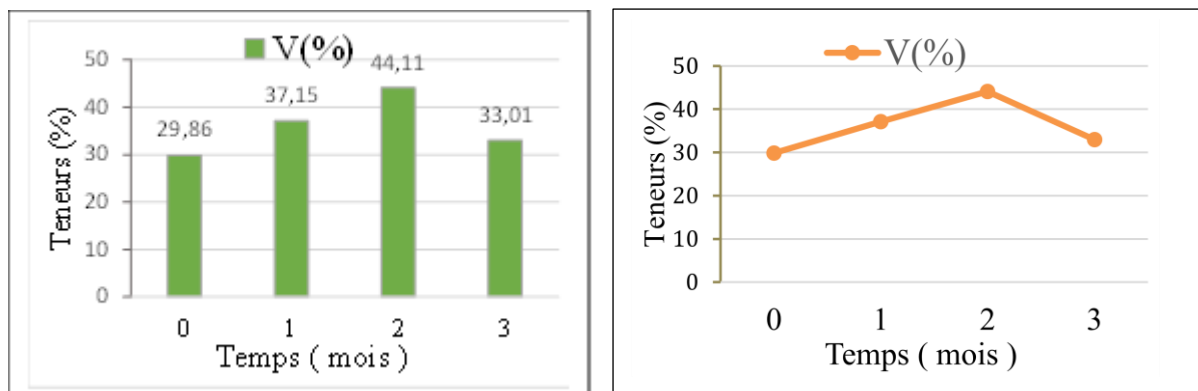


Figure 56 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de granites au sol.

5.5. Amendement avec 20 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara.

Tableau 5: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 20% à base de granites comparés au sol témoin.

Temps (mois)	0	1	2	3
	ST	BA1-20	BA2-20	BA3-20
Paramètres				
*Ca cmol/kg	1,36	3	4,92	3,18
*Mg cmol/kg	1,16	2,3	2,43	2,18
*K cmol/kg	0,60	0,37	1,1	0,64
*Na cmol/kg	0,21	0,3	0,31	0,9
*T(CEC) cmol/kg	11,15	19,7	21,24	18,06
Somme des bases (cmol/Kg)	3,33	6,54	8,76	5,98
Taux de saturation	29,86	33,20	44,87	40,87
pH	6,1	6,4	7,1	5,6



5.5.1. La somme des bases échangeables

L'apport de granites pour le traitement de 20% accroît significativement les cations basiques échangeables (le calcium, le magnésium, et le sodium) par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin, pour le potassium, on enregistre une légère baisse le premier d'incubation et une augmentation significative le deuxième et le troisième mois (fig. 57).

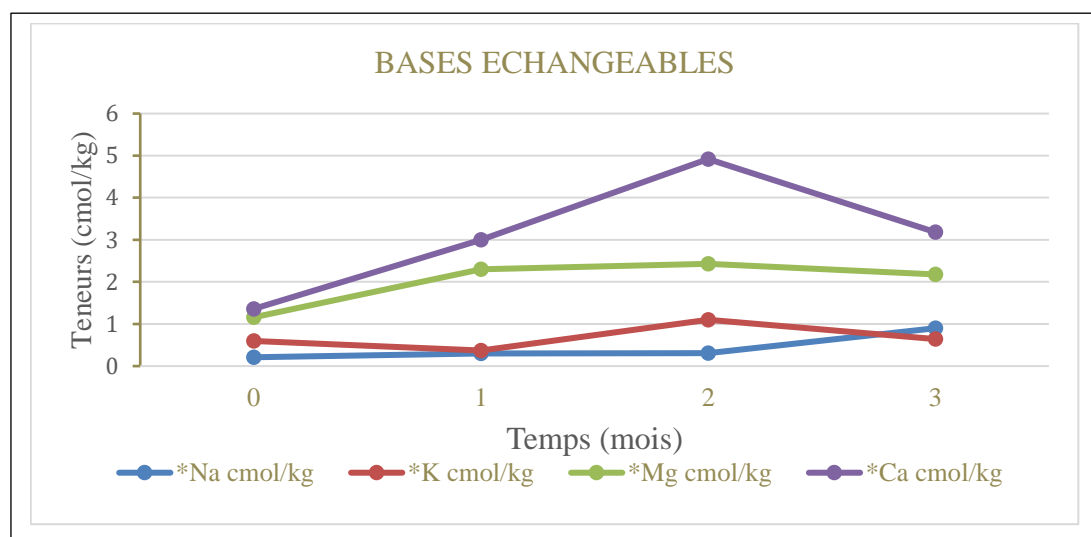


Figure 57: Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de granites au sol.

5.5.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 20% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois De l'étude cinétique, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le troisième mois, avec une valeur maximale enregistrée au deuxième mois de l'étude cinétique (fig. 58).

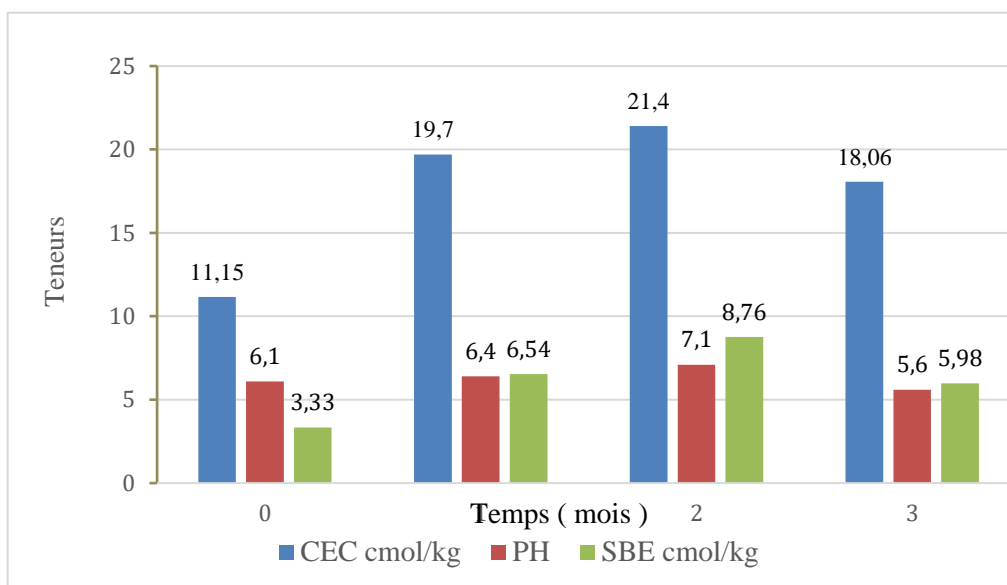


Figure 58: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 20% de granites au sol.

5.5.3. Le taux de saturation

L'apport des granites améliore significativement le taux de saturation pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le deuxième d'incubation (fig. 59).

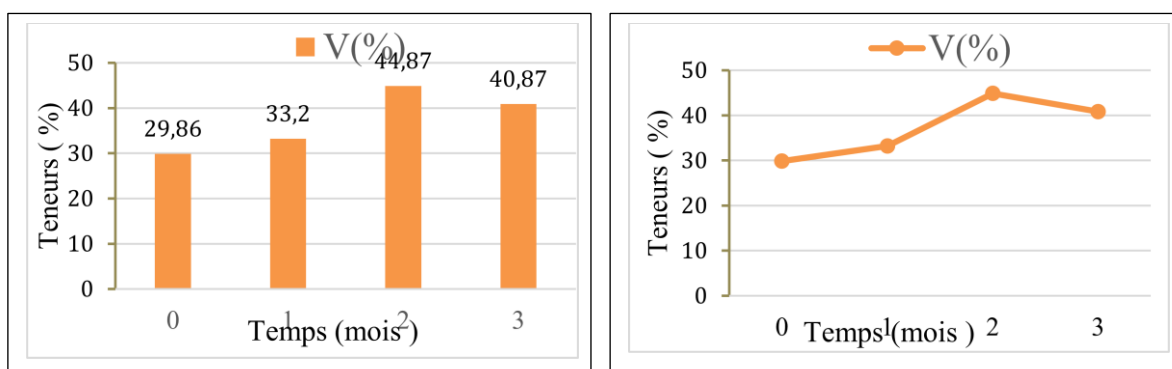


Figure 59: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 20% de granites au sol



5.6. Amendement avec 30 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Lara

Tableau 6: Résultats d'analyses au fil du temps des sols amendés à 30% à base de granites comparés au sol témoin.

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	ST	BA1-30	BA2-30	BA3-30
*Ca cmol/kg	1,36	4,52	5,24	3,18
*Mg cmol/kg	1,16	1,76	3,26	2,18
*K cmol/kg	0,60	1,7	1,46	0,64
*Na cmol/kg	0,21	0,4	0,44	0,9
*T(CEC) cmol/kg	11,15	21,5	21,24	21,13
Somme des bases (cmol/Kg)	3,33	7,82	8,76	10,39
Taux de saturation	29,86	36,37	49,24	33,12
pH	6,1	6,3	7,2	6,1

5.6.1. La somme des bases échangeables

L'apport de granites pour le traitement de 10% accroît significativement les cations basiques échangeables (le calcium, le magnésium, potassium et le sodium) par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin et ceci pour tous les mois d'incubation (fig. 60).

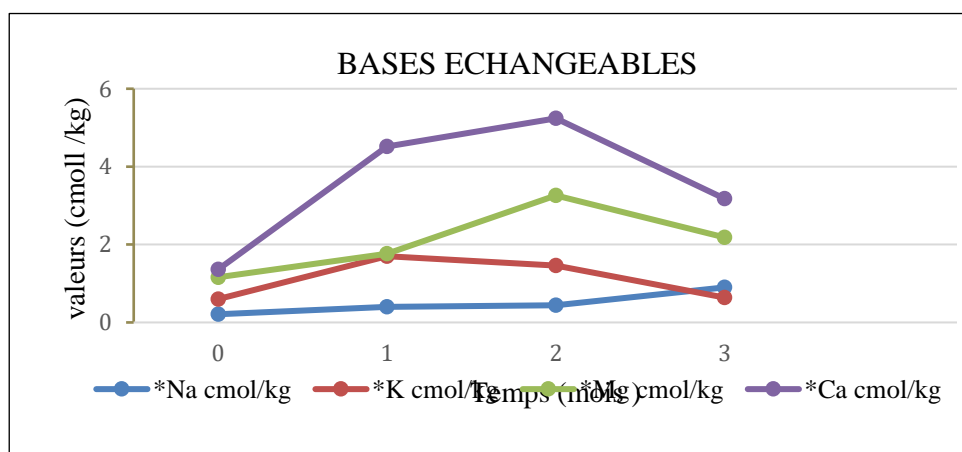


Figure 60: Courbes de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de granites au sol.



5.6.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 30% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des granites durant tous les mois. De l'étude cinétique avec une valeur maximale le deuxième mois pour la CEC et le troisième mois pour la SBE, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute égale à la valeur dans le sol témoin le troisième mois (fig. 61).

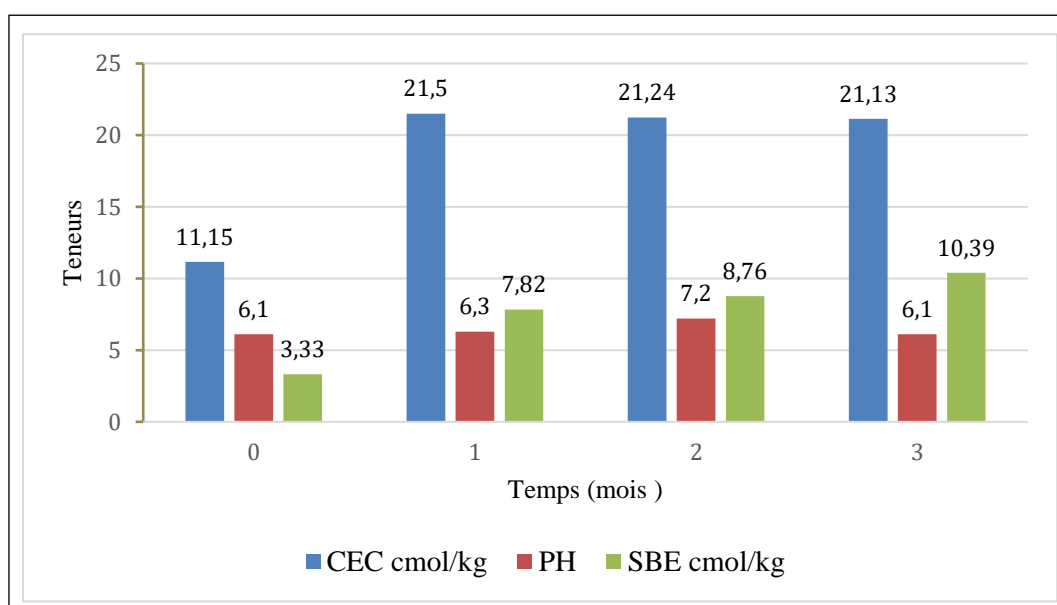


Figure 61: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 30% de granites au sol.



5.6.3. Taux de saturation

L'apport des granites améliore significativement le taux de saturation pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le deuxième d'incubation (fig. 62)

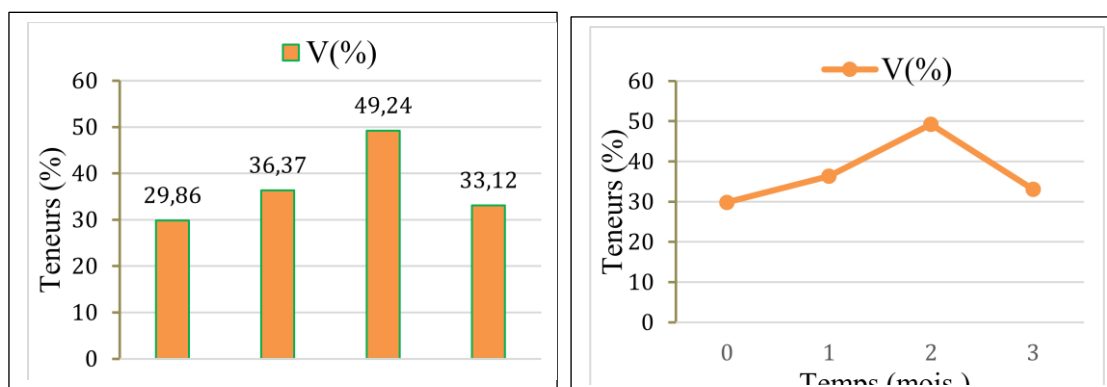


Figure 62 : Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 30% de granites au sol

5.7. Amendement avec 10 % de granite dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali.

Tableau 7: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 10%, comparés à ceux du sol témoin

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	ST	MA1-10	MA2-10	MA3-10
*Ca (cmol/kg)	1,76	6	4,5	3,04
*Mg (cmol/kg)	2,40	4,32	1,52	1,24
*K (cmol/kg)	0,22	0,1	0,2	0,745



*Na (cmol/kg)	0,21	0,14	0,1	0,075
CEC cmol/kg	13,54	18,7	21,84	16,72
SBE (cmol/Kg)	4,59	9,1	7,14	5,09
Taux de saturation	33,89	48,66	37,449	38,21
*pHeau	6,9	6	7,15	5,85

5.7.1. La somme des bases échangeables

L'apport des vertisols pour le traitement de 10% accroît significativement les cations basiques échangeables (le calcium et le magnésium) quant au potassium sa valeur reste constante le deux premier de l'étude d'incubation et croît significativement le troisième mois tandis que pour le sodium on note une régression durant les trois mois d'incubation par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin (fig. 63).

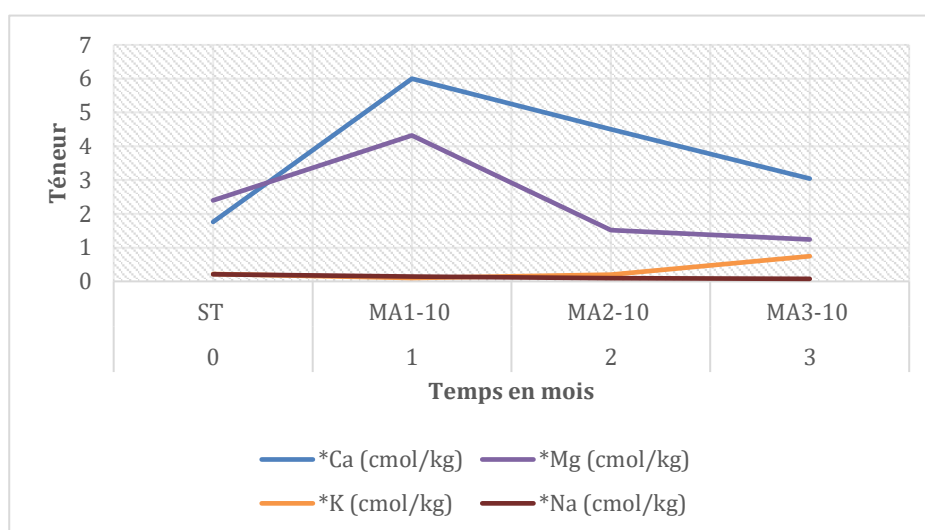


Figure 63: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 10% de vertisol au sol de Tchatabali



5.7.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 10% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des vertisols durant tous les mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le deuxième mois pour la CEC et le premier mois pour la SBE, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute par rapport à la valeur dans le sol témoin (fig. 64)

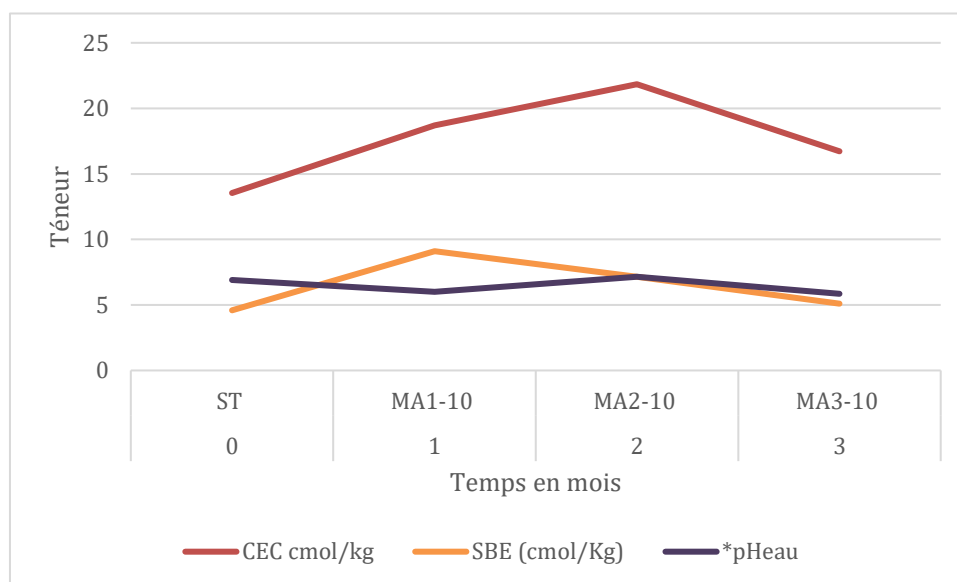


Figure 64: Variation du taux du CEC, du SBE, et du PH après un mois d'incubation de la dose de vertisol au sol de Tchatibali.

5.7.3. Taux de saturation

L'apport des vertisols au sol appauvri de tchatibali améliore significativement le taux de saturation pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le deuxième d'incubation (fig. 65).

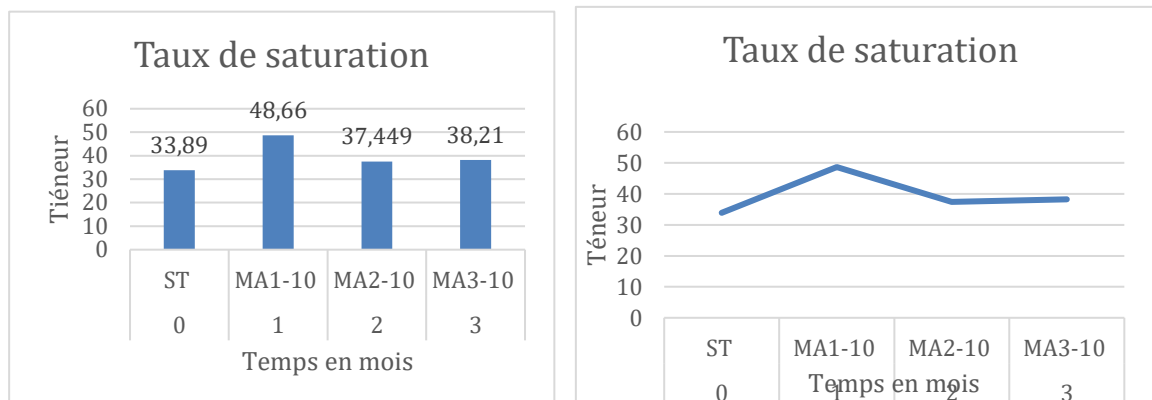


Figure 65: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de vertisol au sol de Tchatiba

5.8. Amendement avec 20 % des vertisols dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali

Tableau 8: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 20%, comparés à ceux du sol témoin.

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	ST	MA1-20	MA2-20	MA3-20
*Ca (cmol/kg)	1,76	3,4	5,1	3,14
*Mg (cmol/kg)	2,40	3,8	2,08	0,44
*K (cmol/kg)	0,22	0,1	0,2	0,535
*Na (cmol/kg)	0,21	0,14	0,1	0,055
CEC cmol/kg	13,54	19	21,98	20,455
SBE (cmol/Kg)	4,59	7,4	7,65	4,175



Taux de saturation	33,89	48,66	38,58	20,44
*pHeau	6,9	7,4	7,25	5,6

5.8.1. La somme des bases échangeables

L'apport des vertisols pour le traitement de 20% accroît significativement le calcium durant les trois mois d'incubation, le magnésium croît significativement le premier mois et régresse le deuxième et le troisième mois par rapport à la valeur dans le sol témoin quant au potassium on note une décroissance les deux premier mois de l'étude d'incubation et une croissance significative le troisième mois tandis que pour le sodium on note une régression durant les trois mois d'incubation par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin (fig. 66).

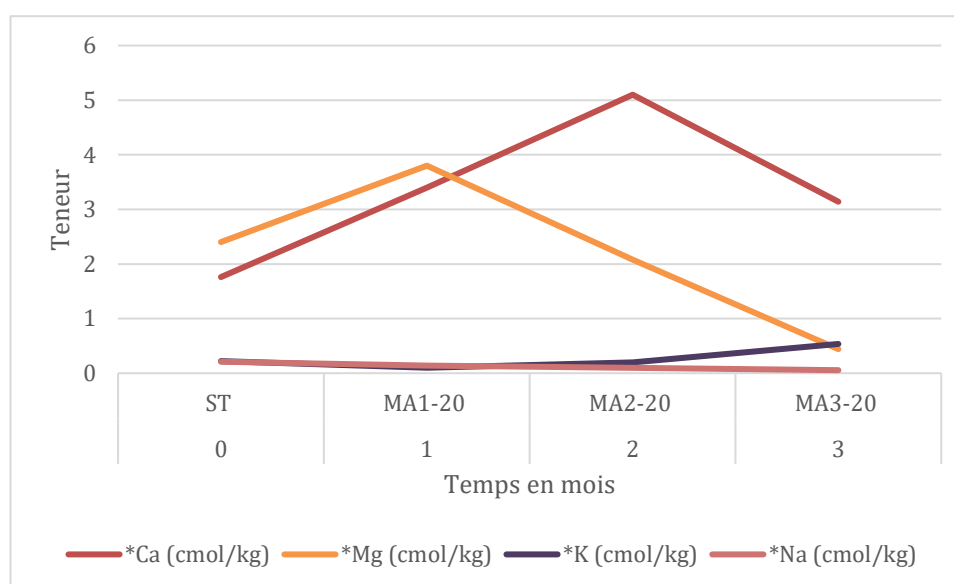


Figure 66: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 20% de vertisol au sol de Tchatibali.



5.8.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 20% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique augmente avec l'apport des vertisols durant tous les mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le deuxième mois pour la CEC, la SBE augmente le premier et le deuxième mois et chute légèrement le troisième mois, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute par rapport à la valeur dans le sol témoin (fig. 67).

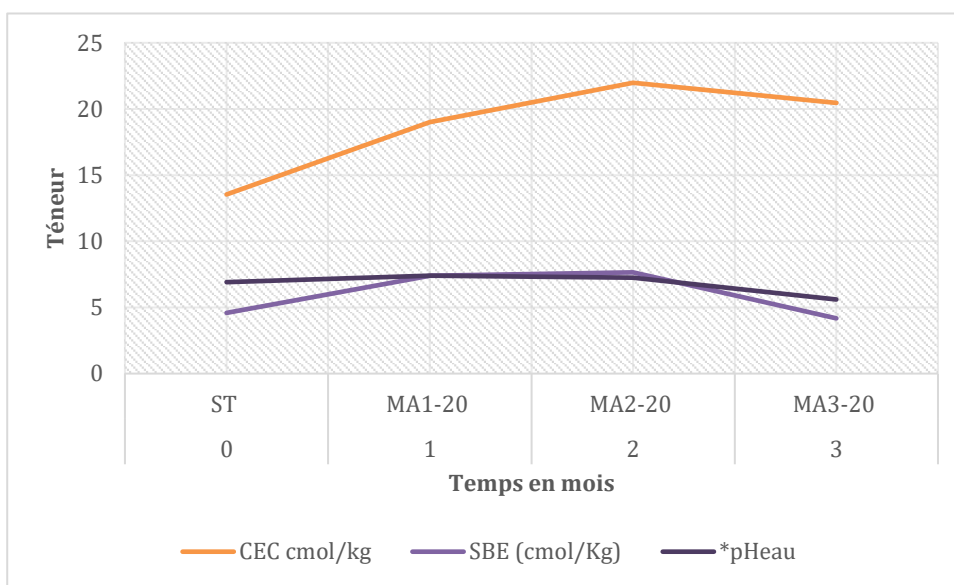


Figure 67: Variations du taux du CEC, du SBE, et du pH après les temps d'incubation de la dose de vertisol au sol de Tchatibali.

5.8.3. Taux de saturation

L'apport des vertisols au sol appauvri de tchatibali améliore significativement le taux de saturation pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le deuxième d'incubation (fig. 68).

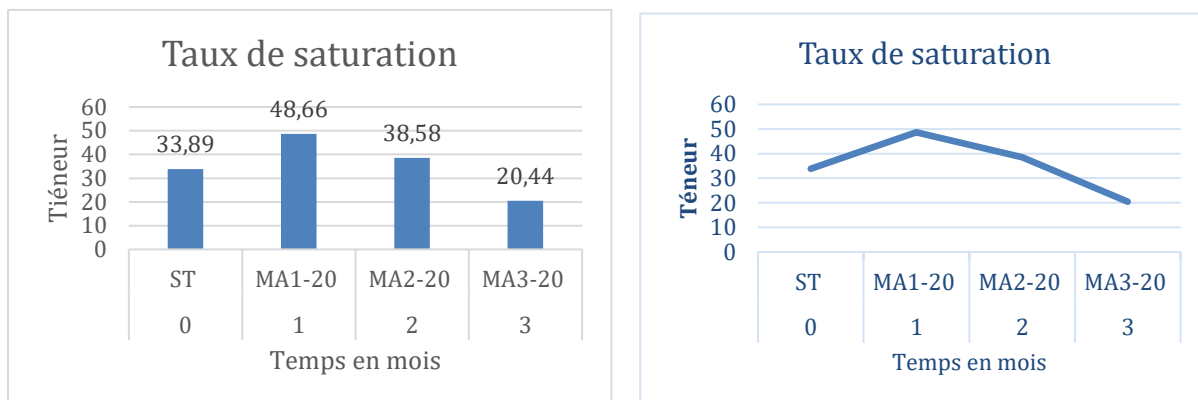


Figure 68: Variations du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de vertisol au sol de Tchatibali

5.9. Amendement avec 30 % des vertisols dans 1 kg de sol appauvri de Tchatibali

Tableau 9: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à base de vertisol pour le taux d'application de 30%, comparés à ceux du sol témoin.

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	ST	MA1-30	MA2-30	MA3-30
*Ca (cmol/kg)	1,76	1,1	6,2	3,72
*Mg (cmol/kg)	2,40	1	1	0,96
*K (cmol/kg)	0,22	0,1	0,2	1,16
*Na (cmol/kg)	0,21	0,14	0,1	0,025
CEC cmol/kg	13,54	11,1	22,74	16,465
SBE (cmol/Kg)	4,59	2,3	7,67	5,85
Taux de saturation	33,89	48,66	34,566	35,58



*pHeau	6,9	7,2	7,30	5,05

5.9.1. La somme des bases échangeables

L'apport des vertisols pour le traitement de 30% accroît significativement le calcium durant le deuxième et le troisième mois et une légère régression le premier d'incubation, le magnésium décroît durant tous les mois de l'étude cinétique tout comme le sodium par rapport à leur valeur dans le sol témoin quant au potassium on note une décroissance le premier mois premier de l'étude d'incubation et une croissance significative le troisième mois (fig.69).

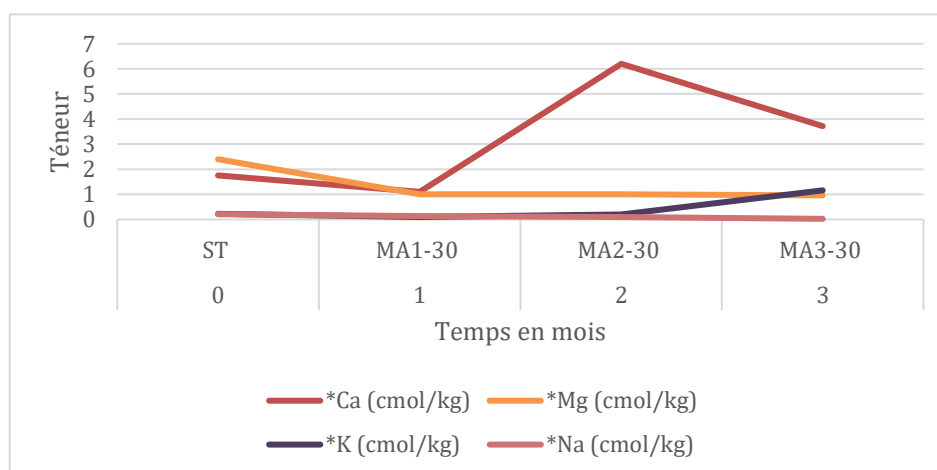


Figure 69: Variations de la somme des bases échangeables en fonction du temps d'incubation, pour le taux d'application de 30% de vertisol au sol de Tchatibali

5.9.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 30% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique augmente avec l'apport des vertisols durant 2^e et le 3^e mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le deuxième mois pour la CEC cependant on note une légère chute le 1^e mois, la SBE augmente le 2^e et 3^e mois et chute légèrement le 1^e mois, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation significative le 1 et 2^e mois d'incubation et une légère chute le 3^e mois par rapport à la valeur dans le sol témoin (fig. 70).

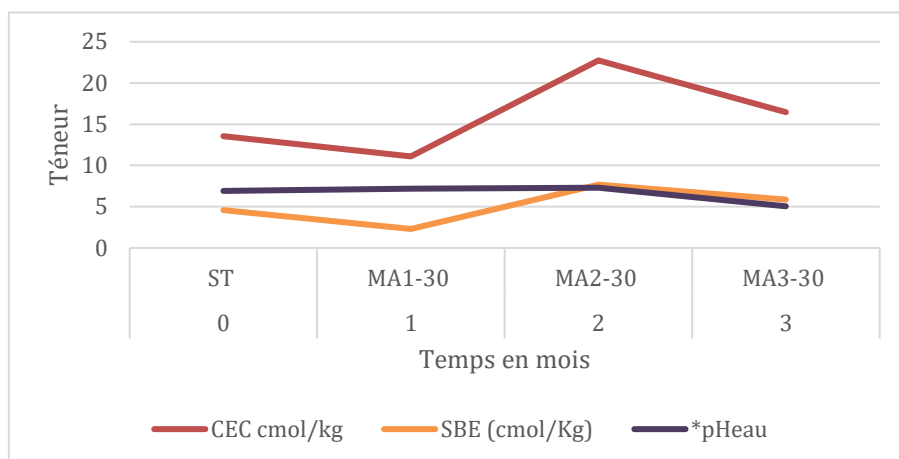


Figure 70: Variations du taux du CEC, du SBE, et du PH après les temps d’incubation de la dose de 30% de vertisol au sol de Tchatibali.

5.9.3. Taux de saturation

L’apport des vertisols au sol appauvri de tchatibali améliore significativement le taux de saturation pour le traitement de 30% et ceci pour tous les trois mois d’incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le premier d’incubation (fig. 71).

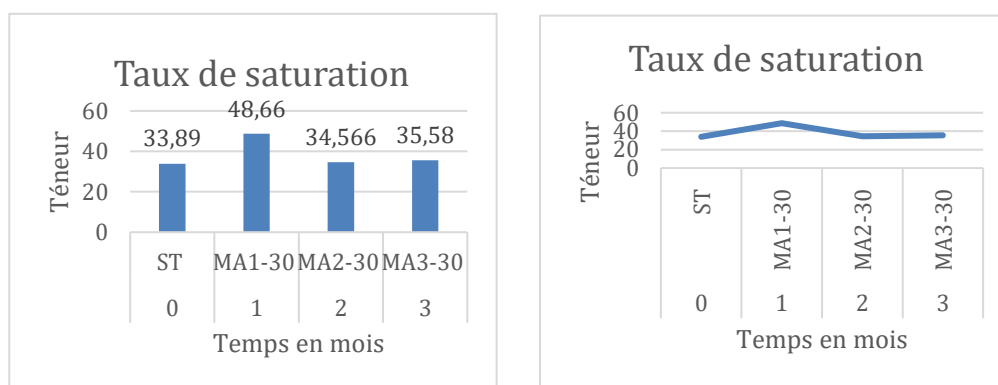


Figure 71: Variation du taux de saturation en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 30% de vertisol au sol de Tchatibali



5.10. Amendement avec 10 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi

Tableau 10: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 10% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin

Paramètres	Temps (mois)			
	0	1	2	3
	ST	P1A-10	P2B-10	P3C-10
*Ca méq/100g	1,52	5,12	2,86	3,3
*Mg méq/100g	0,08	1,28	1,72	2,28
*K méq/100g	0,15	0,16	1,8	1,84
*Na méq/100g	0,36	0,17	0,06	0,06
Somme des bases méq/100g	2,10	6,73	6,43	7,47
T(CEC) méq/100g	11,30	18,62	17,26	16,14
Taux de saturation	18,58	36,18	37,68	46,73
Ph	6,0	6,5	5,4	5,4

5.10.1. La somme des bases échangeables

L'apport des pyroclastites basaltique pour le traitement de 10% accroît significativement le calcium durant le deuxième et le troisième mois et une légère régression le premier d'incubation, le magnésium croît significativement durant tous les mois de l'étude cinétique par rapport à leur valeur dans le sol témoin quant au potassium on note une décroissance le premier mois de l'étude d'incubation et une croissance significative le deuxième et le troisième mois tandis que le sodium croit significativement durant tous les mois d'incubation(fig. 72).

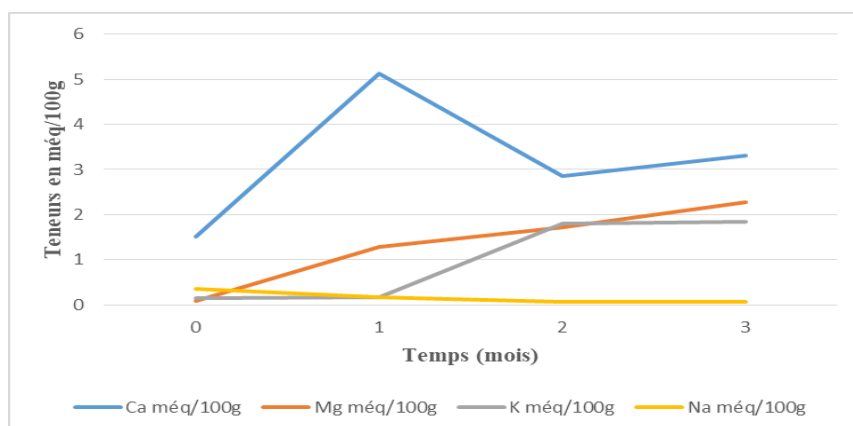


Figure 72 : Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de matériaux pyroclastiques au sol

5.10.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 10% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des pyroclastites durant tous les mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le premier mois pour la CEC et le troisième mois pour la SBE, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation le 1^e mois d'incubation et une légère chute par rapport à la valeur dans le sol témoin le 2^e et le 3^e mois (fig. 73)

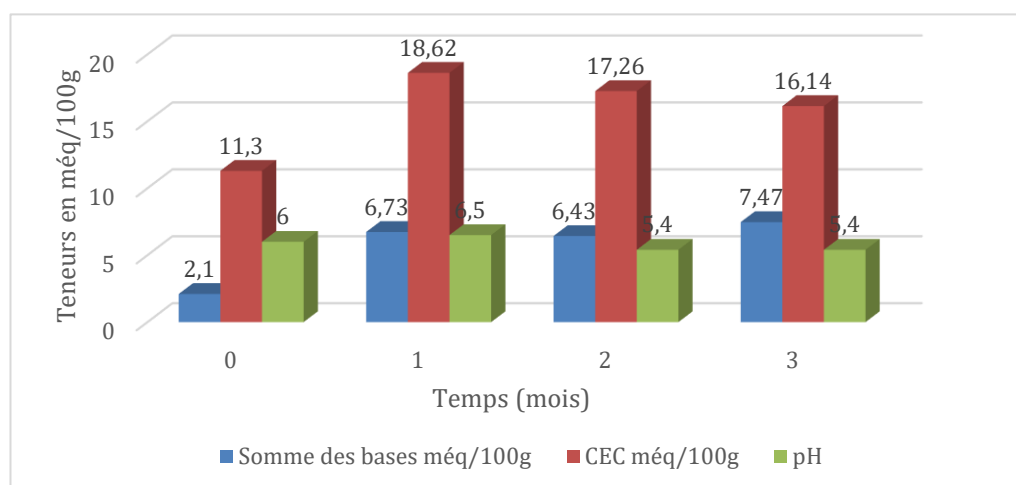


Figure 73 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 10% de pyroclastites au sol



5.10.3. Taux de saturation

L'apport des pyroclastites basaltique au sol appauvri de Dibi améliore significativement le taux de saturation pour le traitement de 10% et ceci pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le troisième mois d'incubation (fig. 74).

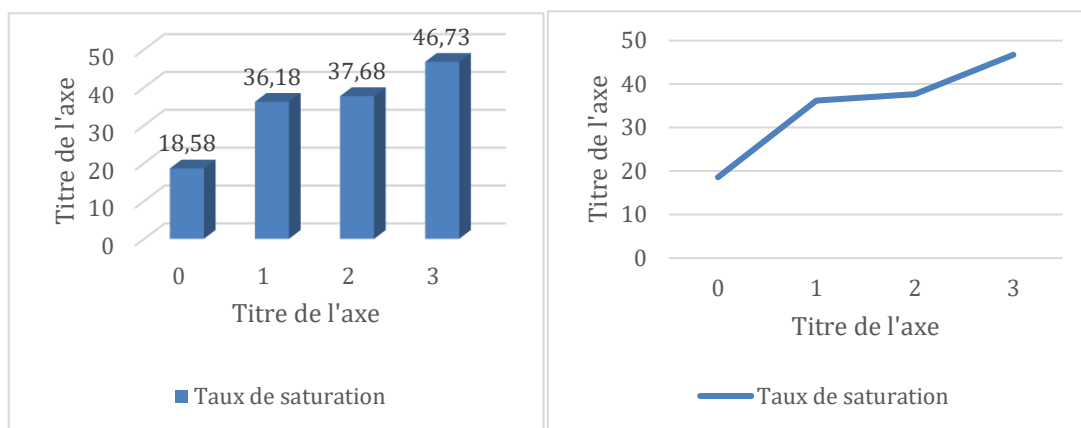


Figure 74: Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le dosage à 10% de pyroclastites au sol



5.11. Amendement avec 20 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi

Tableau 11: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 20% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	S	P1A-20	P2B-20	P3C-20
*Ca méq/100g	1,52	6,08	3,64	2,82
*Mg méq/100g	0,08	3,28	1,7	1,44
*K méq/100g	0,15	0,24	0,75	1,42
*Na méq/100g	0,36	0,32	0,06	0,06
Somme des bases méq/100g	2,10	9,92	6,15	5,74
T(CEC) méq/100g	11,30	21,60	16,61	16,2
Taux de saturation	18,58	47,34	37,67	35,53
Ph	6,0	6,5	5,5	5,3

5.11.1. La somme des bases échangeables

L'apport des pyroclastites basaltique pour le traitement de 20% accroît significativement le calcium, le magnésium et le potassium durant tous les mois d'incubation par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin tandis que le sodium décroît durant tous les mois d'incubation par rapport au sol témoin (fig. 75)

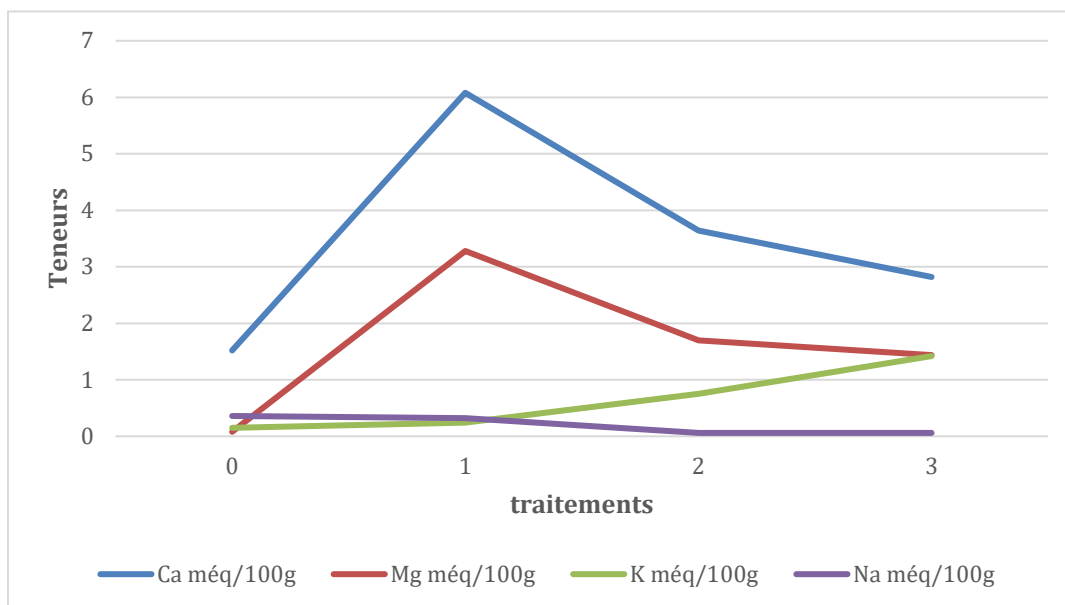


Figure 75: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 20% de matériaux pyroclastiques au sol

5.11.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 20% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des pyroclastites durant tous les mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le premier mois pour la CEC et le premier mois également pour la SBE, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation le 1^{er} mois d'incubation et une légère chute par rapport à la valeur dans le sol témoin le 2^e et le 3^e mois (fig. 76)

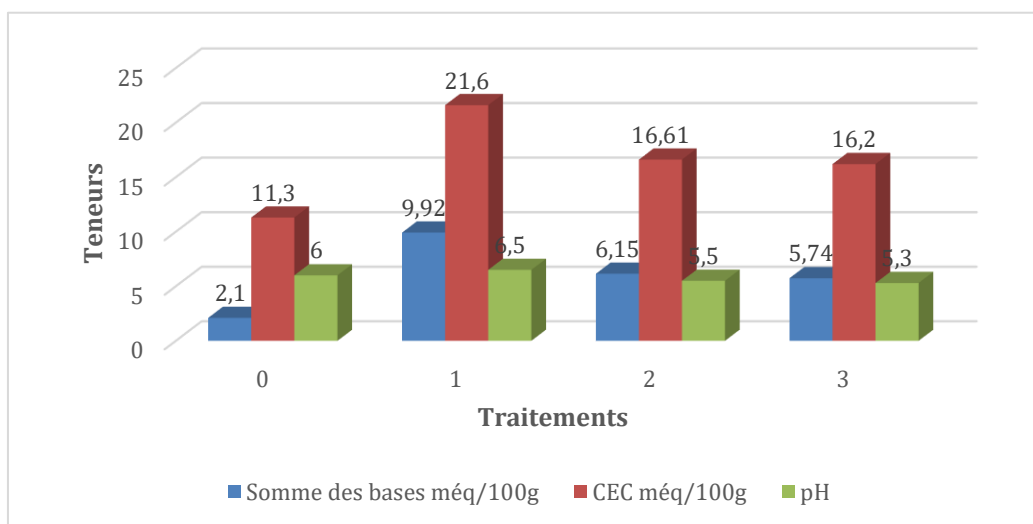


Figure 76 : Variation de la CEC, de la somme des bases échangeables et du pH en fonction du temps d’incubation pour le taux d’application de 20% de matériaux pyroclastiques au sol

5.11.3. Taux de saturation

L’apport des pyroclastites basaltique au sol appauvri de Dibi améliore significativement le taux de saturation pour le traitement de 20% et ceci pour tous les trois mois d’incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le premier mois d’incubation (fig. 77).

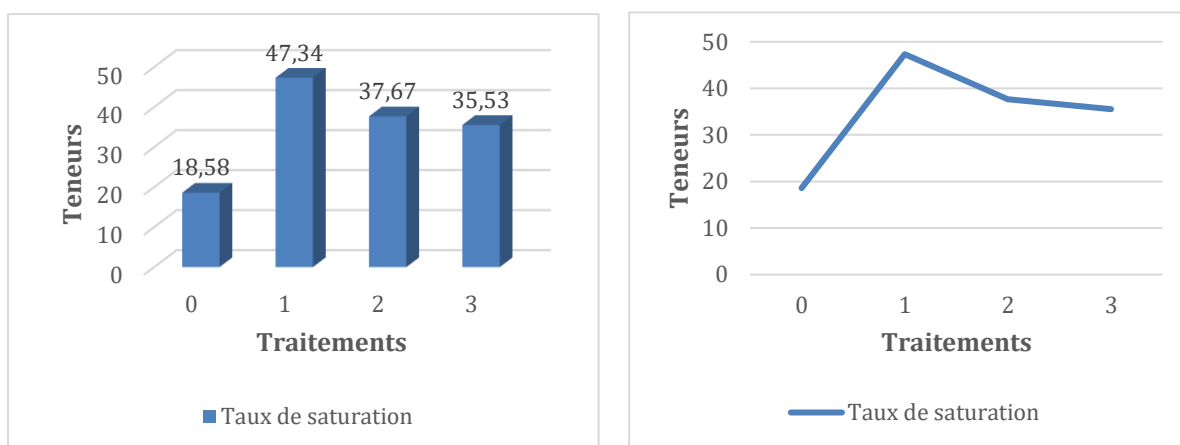


Figure 77: Variation du taux de saturation en fonction du temps d’incubation pour le dosage à 20% de pyroclastites au sol



5.12. Amendement avec 30 % des pyroclastites dans 1 kg de sol appauvri de Dibi

Tableau 12: Résultats d'analyse au fil du temps des sols amendés à 30% à base de pyroclastites basaltiques comparés à ceux du sol témoin

Temps (mois)	0	1	2	3
Paramètres	S	P1A-30	P2B-30	P3C-30
*Ca méq/100g	1,52	7,44	2,7	3,4
*Mg méq/100g	0,08	2,08	1,28	1,46
*K méq/100g	0,15	0,20	1,5	2,49
*Na méq/100g	0,36	0,28	0,04	0,02
Somme des bases méq/100g	2,10	10,00	5,52	7,36
T(CEC) méq/100g	11,30	21,02	15,09	18,68
Taux de saturation	18,58	47,61	36,88	39,56
pH	6,0	6,3	5,4	5,4

5.12.1. La somme des bases échangeables

L'apport des pyroclastites basaltique pour le traitement de 30% accroît significativement le calcium, le magnésium durant tous les mois d'incubation par rapport à la valeur de référence dans le sol témoin pour le potassium, on note une baisse tout le mois d'incubation tandis que le sodium décroît le premier mois augmente légèrement le deuxième mois et chute le troisième mois d'incubation par rapport au sol témoin (fig. 78)

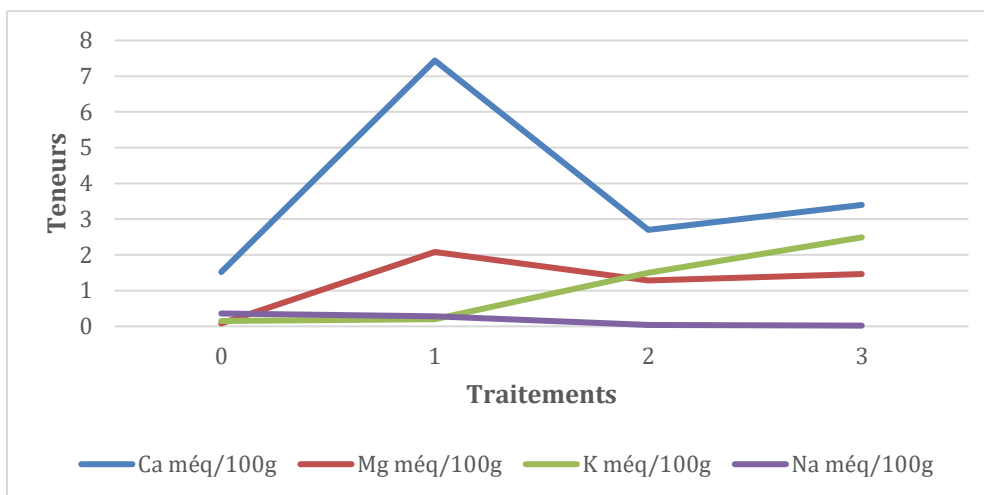


Figure 78: Courbe de variation de la concentration des bases échangeables en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol

5.12.2. La CEC, la SBE et le pH

Pour le traitement de 30% dans 1kg de sol, la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent avec l'apport des pyroclastites durant tous les mois de l'étude cinétique avec une valeur maximale le premier mois pour la CEC et le premier mois également pour la SBE, pour le potentiel d'hydrogène on note une augmentation le 1^e mois d'incubation et une légère chute par rapport à la valeur dans le sol témoin le 2^e et le 3^e mois (fig. 79)

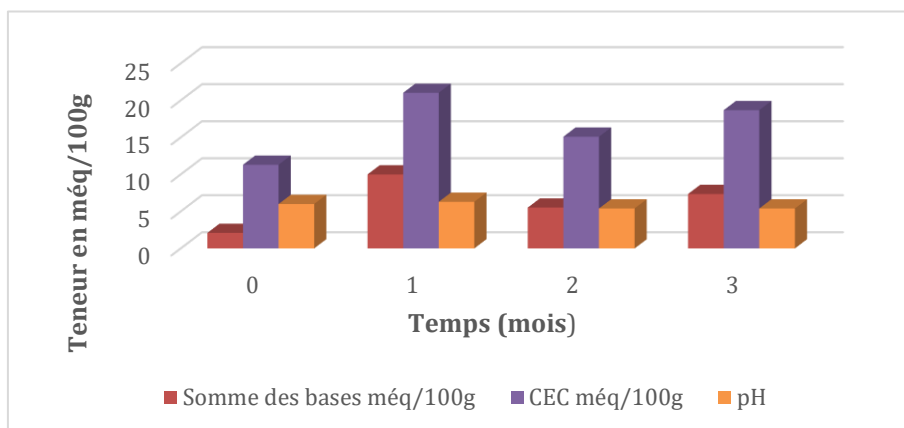


Figure 79: Variation de la somme des bases échangeables, CEC et du pH en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol



5.12.3. Taux de saturation

L'apport des pyroclastites basaltique au sol appauvri de Dibi améliore significativement le taux de saturation pour le traitement de 30% et ceci pour tous les trois mois d'incubation par rapport à la valeur dans le sol témoin avec une valeur maximale le premier mois d'incubation (fig. 80)

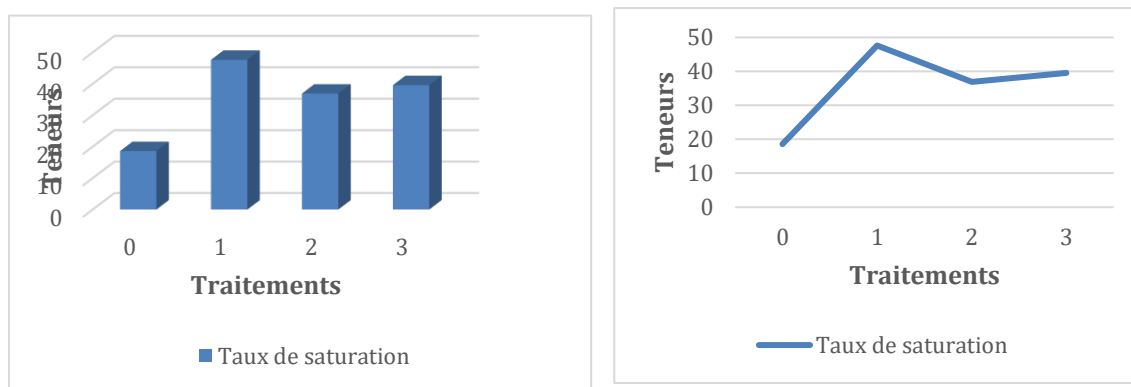


Figure 80 : Variation du taux de saturation en fonction du temps d'incubation pour le taux d'application de 30% de matériaux pyroclastiques au sol.

6. Discussion

Dans ce chapitre, les résultats des caractéristiques macromorphologiques et physico-chimiques naturelles et incubés des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi sont discutés.

6.1. Localité de Gamboura.

6.1.1. Morphologie des sols de Gamboura

Sur le plan morphologique, la partie superficielle des sols de Gamboura est moins épaisse, ses sols sont moins différenciés à moyennement différenciés (Brabant et Gavaud, 1985) Deux types de sol ont été identifiés : les sols bruns à brun jaunâtre clair (régosols) et les sols brun jaunâtre à jaune. La texture des sols de Gamboura est sableuse à sablo-argileuse dans l'ensemble cette texture n'est pas équilibrée, selon les travaux de Delaunois., 2008. La structure est particulière à polyédrique en passant par la structure grumeleuse, dans ses sols on



note une faible activité biologique cela est corrélé à une faible perméabilité et un faible développement racinaire, et à l'épanouissement de la pédofaune (Ruellend et Dosso, 1993).

6.1.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Gamboura

6.1.2.1. pH_{eau}

Le pH_{eau} des sols sous couvert naturel (KJ0) est de 6,3. L'abaque de classification du pH_{eau} du Memento de l'agronome (1993) permet de caractériser ces sols comme étant faiblement acide. Ceci est en accord avec la faible quantité de cations basiques échangeables mesurée dans ces sols (voir annexe).

6.1.2.2. Somme des bases échangeables

La somme des cations basiques échangeables est moyenne dans les horizons de surface pour le profil (01) et pour le deuxième profil par contre la SBE est fort pour les horizons du milieu. On constate que la somme des bases échangeables est faible vers la profondeur pour le profil de bas de pente Memento de l'agronome (1993).

6.1.2.3. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols témoins (KJ0) est de 14,80méc/100g (voir annexe). L'abaque de classification de cet élément du Memento de l'Agronome montre que la valeur de la CEC est moyenne (Memento de l'agronome, 1993). Il traduirait dès lors la capacité des colloïdes de ce sol à retenir à leur surface plus de cations basiques échangeables (Duchaufour, 1983).

6.1.2.4. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols témoins est de 30,27%. D'après le Memento de l'Agronome (1993), la valeur du taux de saturation est faible. Bernaert et Bitondo (2012) ont montré que pour un $V < 20\%$, le sol a un niveau de saturation très faible et pour des valeurs de V comprises entre 21 et 40%, le niveau de saturation est faible et pour toutes les valeurs comprises entre 40 et 60%, le niveau de saturation est moyen. Ainsi les sols sous couvert naturel sont moyennement faibles (voir annexe).



6.1.2.5. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)

La teneur en magnésium des sols témoins (point rouge Fig. 63) est de 1,36méq/100g ; ce sont donc des sols riches selon l'abaque de classification du magnésium du Memento de l'Agronome (1993). La valeur du potassium dans ces sols est de 0,18méq/100g ; cette teneur fait de ces sols des substrats riches en potassium (Memento de l'Agronome, 1993). La teneur de ces sols en calcium est de 2.80 méq/100g ; ce sont donc des sols riches en calcium (Memento de l'Agronome, 1993 ; Fopoussi et *al.*, 2018 ; Baize, 2010).

Selon le diagramme Mg-K de la (Fig. 63), on constate que les sols témoins (point rouge) sont situés au-delà du seuil de déficience du magnésium (0,3 méq/100g) ; ceci corrobore avec les observations faites par De Geuss (1967) et Coulter (1972) qui ont montré que le magnésium est rarement déficient dans des sols désaturés même à pluviométrie moyenne et bien drainés. De même, ces sols témoins sont situés au-delà du seuil de déficience du potassium (0,1 méq/100g). Ceci atteste de la capacité des sols de Gamboura à l'état naturel à assurer une nutrition potassique efficace des plantes (Boyer, 1982).

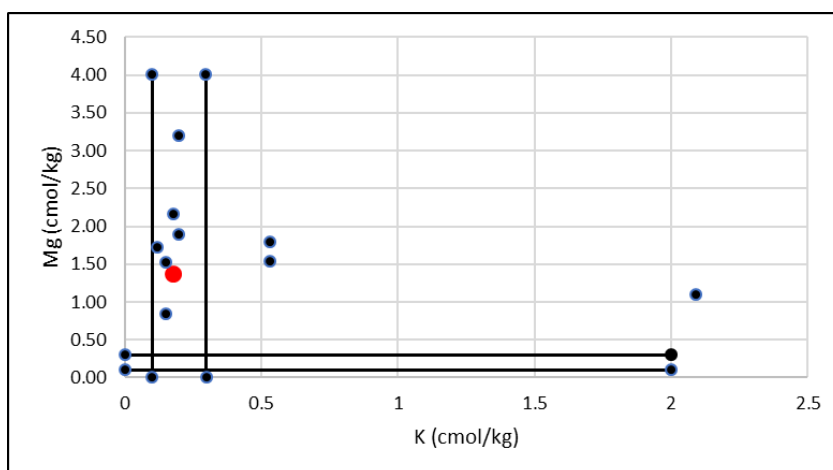


Figure 81: Seuil de carence et de déficience du potassium et Magnésium

D'après la figure 81 ; les sols témoins (point rouge Fig. 81) sont situés au-delà du seuil de déficience en calcium (0,5 méq/100g) et en magnésium (0.3 méq/100g). Ceci montre que les sols sous couvert naturel sont pourvus en calcium et en magnésium. Selon De Geuss (1967)



et Coulter (1972), le calcium et le magnésium sont deux éléments qui assurent le bon fonctionnement des sols et favorisent l'agrégation des particules et la nutrition des plantes.

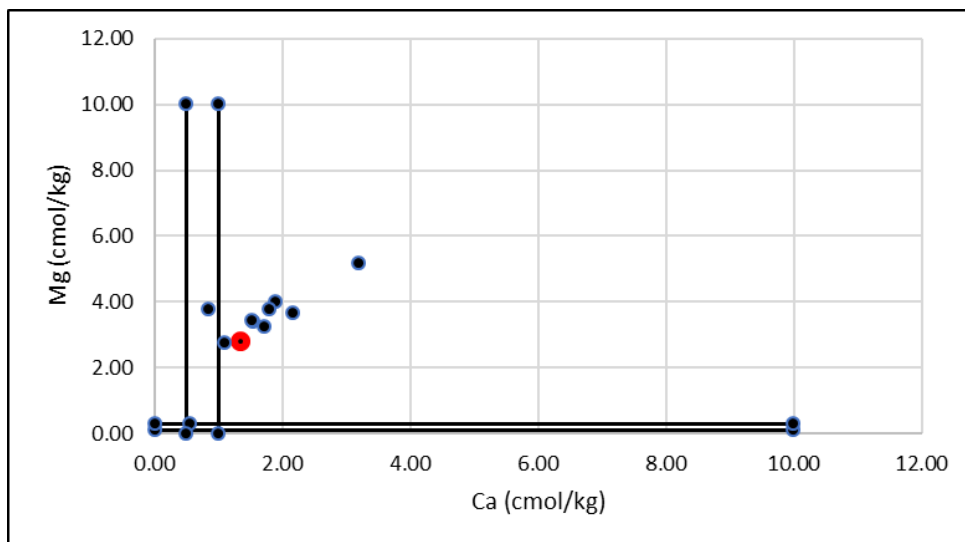


Figure 82 : Seuil de carence et de déficience du calcium et du magnésium

6.1.2.6. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K du sol témoin

Le rapport Ca/Mg est de 2,06. Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspondant à un rapport normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993, Jutras, 2012). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium est de ce fait normale dans les sols sous couvert naturel (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols, déjà fortement initiée par la matière organique (Boyer, 1982 ; Duchaufour, 1983 ; Huber et ; Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K est de 7,56. Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspondant à un rapport normal à optimum entre ces deux cations basiques échangeables (Memento de l'agronome, 1993). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Boyer (1982), qui a montré que la nutrition en potassium de la plante en présence du magnésium serait de ce fait normale, responsable d'un parfait équilibre physiologique de la plante. Ce qui est le cas dans les sols de Gamboura.

Le rapport (Ca+Mg) /K quant à lui est de 23,11. Il apparaît donc que le rapport (Ca+Mg) /K se situe dans l'intervalle qui traduit une suffisance de l'ensemble formé par le calcium et le



magnésium (>15) par rapport au potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). Le taux beaucoup trop fort du potassium dans ces sols sous couvert naturel par rapport à l'ensemble calcium-magnésium perturbe de ce fait la nutrition magnésienne et calcique de la plante, calcule détailler (voir annexe).

6.1.2.7. Équilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols témoins (**KJ0**) est de 4,48 méq/100g ; l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993) permet de dire que la somme des cations basiques échangeables du fait de cette valeur est faible. L'équilibre cationique Ca-Mg-K des sols témoins est de 64,51/31,33/4,14 (voir annexe). Cet état d'équilibre positionne ces sols dans le diagramme triangulaire Ca-Mg-K de la figure 66, dans la zone d'excès en calcium. Dans ce diagramme, le sol témoin n'est pas assez éloigné du point d'équilibre optimal. En comparant les valeurs de la balance cationique des sols témoins point par point à la balance optimale qui est de 76/18/6 (Martin, 1979 ; Boyer, 1982), on constate que la balance cationique des sols témoins est équilibrée et cet équilibre pourrait s'expliquer par la teneur élevée en calcium ; ceci est généralement le cas dans la plupart des sols bien drainés et désaturés des zones à forte pluviométrie (Boyer, 1982).

En effet, comme le montre le tableau 7, le coefficient de richesse relative du calcium est de 0,84 ; celui du magnésium est de 1,74 et celui du potassium est de 0,69 dans les sols témoins. Le coefficient de richesse relative du potassium étant le plus faible parmi les différents coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables en présence, le déséquilibre de la balance cationique des sols témoins est de ce fait provoqué ici par le magnésium dont les proportions dans l'ensemble se trouvent en excès par rapport à la teneur des autres cations basiques échangeables. Une telle situation a pour conséquence le masquage des autres cations basiques échangeables par celui dont la teneur est la plus importante, ne respectant alors plus la tendance optimale qui est de 76/18/6 (Boyer, 1982). Ceci est au demeurant de manière à perturber la nutrition de la plante en d'autres cations basiques échangeables ainsi qu'un bon fonctionnement des sols (Boyer, 1982).



6.1.2.8. Indice de Forestier des sols témoins

L'indice de Forestier calculé dans les sols témoins (**KJ0**) est de 0,52. La corrélation établie entre la somme des cations basiques échangeables et l'indice de Forestier de la figure 66 montre que, par cette valeur, les sols témoins se situent dans la zone de fertilité moyenne tel que préconisé par Forestier (1960) et Boulvert (1975). Les normes d'interprétations pour l'indice de forestier sont présentées dans le tableau 6. Il ressort de ce tableau que, par exemple pour $IF < 0,1$ la fertilité est mauvaise, pour IF de 0,1 à 0,5 la fertilité est médiocre, pour IF de 0,5 à 1 la fertilité est moyenne, pour IF de 1 à 2,5 la fertilité est bonne, pour IF de 2,5 à 5 la fertilité est très bonne et pour IF supérieur à 5 la fertilité est exceptionnelle. Ceci s'accorde parfaitement avec la quantité de cations basiques échangeables de mauvais niveau, attribut dérivant de l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993).

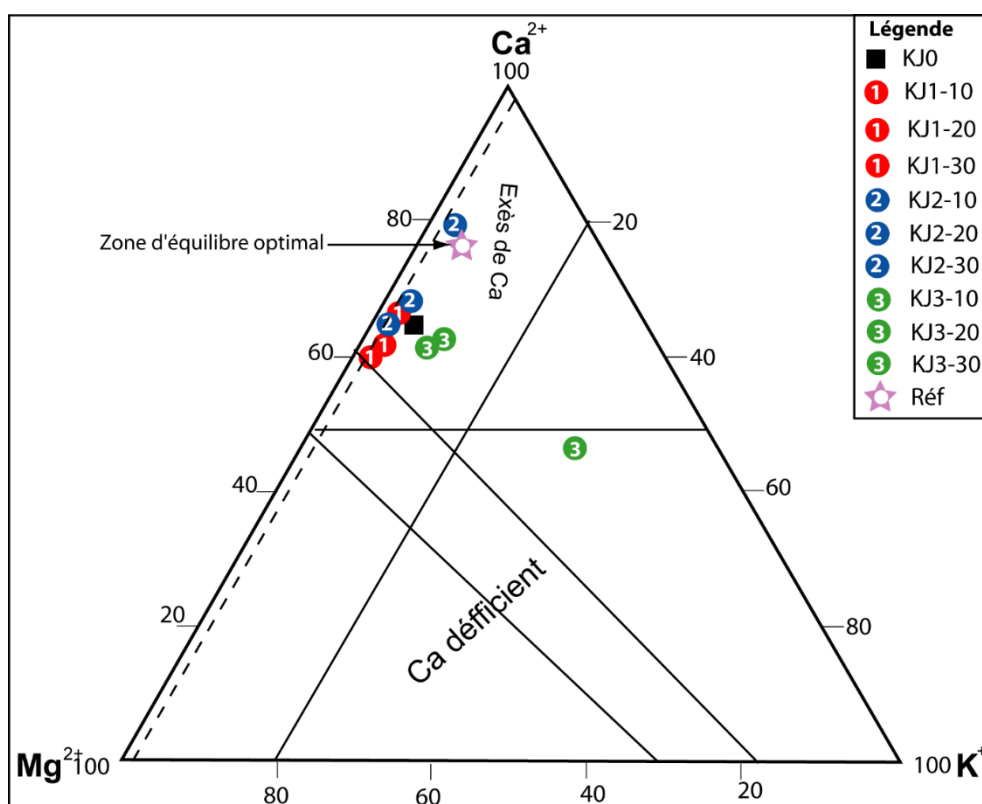


Figure 83: Diagramme Ca-Mg-K de Martin (1979) des sols incubés et témoins

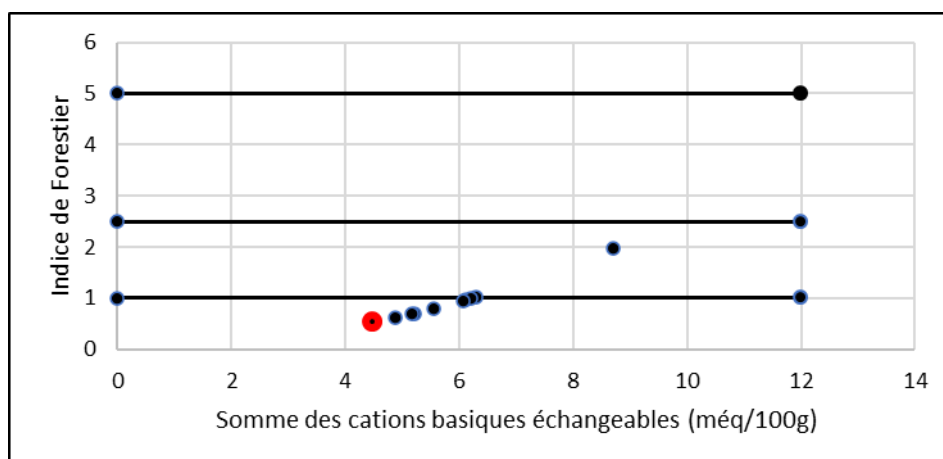


Figure 84 : Corrélation entre indice forestier et somme des bases échangeables

Tableau 13 : : Indice Forestier (1960)

	<0,1	De 0,1 à 0,5	De 0,5 à 1	De 1 à 2,5	De 2,5 à 5	>5
Indice de forestier	Fertilité Mauvaise	Fertilité Médiocre	Fertilité Moyenne	Fertilité Bonne	Fertilité Très bonne	Fertilité Exceptionnelle

6.1.3. Fertilité chimique des sols traités par la poudre de granite de Gamboura

6.1.3.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)

Les teneurs en calcium des sols traités par la poudre de granite après trois mois d'incubation sont comprises entre 2,78 à 5,2 méq/100g, celles en magnésium sont comprises entre 0,84 à 3,2 méq/100g et celles en potassium sont comprises entre 0,12 et 2,09 méq/100g. Au terme du traitement, les sols deviennent dans l'ensemble moyennement riches à très riches en ces trois cations basiques échangeables (Memento de l'Agronome, 1993).

À l'analyse du graphique Mg-K de la figure 63 et du graphique Ca-Mg de la figure 64, on constate que les sols traités avec les différentes doses sont situés au-delà des seuils de déficience du magnésium, du calcium et du potassium.



6.1.3.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K

Le rapport Ca/Mg dans les sols traités par le brayat du granite varie entre 1,63 et 4,52. Ce rapport est compris dans l'intervalle 1 à 25 ; il est donc normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium reste de ce fait normale (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols (Boyer, 1982 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K dans les sols traités avec le broyat de granite est comprises entre 0,53 à 16méq/100g (voir annexe). Il est de ce fait fortement insuffisant (Memento de l'Agronome, 1993). L'insuffisance de ce rapport est la conséquence d'un enrichissement plus important des sols en potassium par rapport au magnésium en réponse au traitement. Ceci est en accord avec la forte prédominance du potassium dans le milieu comparé au magnésium (Bressani, 1990 ; Weber, 1987). Il s'en suivra donc un problème de nutrition de la plante en magnésium, qui aura pour conséquence la difficulté pour la plante à fabriquer de la chlorophylle ; de même, il pourrait s'en suivre chez la plante une toxicité au potassium (Boyer, 1982).

Le rapport (Ca+Mg) /K quant à lui reste partout supérieur à 15. Il se situe alors dans l'intervalle traduisant une suffisance de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (>15) devant le potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci pourrait générer une carence en magnésium et en calcium (RESQUAD, 2016). La plante manifestera alors ses besoins non couverts en magnésium par une coloration verte jaunâtre, gage d'une faible aptitude à synthétiser de la matière organique nécessaire pour sa nutrition (Boyer, 1982).

6.1.3.3. Équilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols traités par le broyat de granite est partout comprise entre 4,88 et 8,70méq/100g (voir annexe) ; elle est faible à moyenne (Memento de l'agronome, 1993).

Le diagramme Ca-Mg-K de la figure 66 montre que les sols traités avec du broyat de granite se trouvent en grande partie dans le pôle calcique d'une part et une petite partie dans la zone de Ca déficient d'autre part. Il est à remarquer que plus le temps passe, plus le calcium est libéré dans les sols étudiés. Les sols incubés d'un (01) à trois (03) mois, se rapprochent du pôle calcique (Fig. 66). Ceci traduit un important déséquilibre de la balance cationique (Martin,



1979). Le coefficient de richesse relative du potassium dans les sols traités par le broyat de granite est plus faible par rapport aux autres coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables, le déséquilibre de la balance cationique des sols incubés est provoqué par le calcium (Martin, 1979 ; Weerasuriya et *al.*, 1993 ; Bonzi et *al.*, 2007).

6.1.3.4. Indice de Forestier des sols traités

L'indice de Forestier (1960) des sols traités avec le broya de granite varie entre 0,52 et 1,97. Forestier (1960) caractérise de tels sols comme ayant une fertilité chimique moyenne. Ceci pourrait s'expliquer par l'apport considérable des cations basiques échangeables contenu dans les granites (voir annexe).

6.1.3.5. pHeau

Le pHeau des sols traités avec du broyat de granite augmente fortement et se maintient entre 5,1 et 7,7 comme le montre l'annexe. Le pHeau augmente en dent de scie et reste moyennement alcalin à partir du deuxième mois de quantité de granite variable (Jutras, 2012 ; Memento de l'agronome, 1993).

5.1.3.6. Somme des bases échangeables

L'apport des granites induit l'amélioration de la somme des cations basiques échangeables des sols amendés qui passe de faible (KJ0= 4,48 méq/100g) à moyenne (8,70 méq/100g) Memento de l'agronome (1993).

6.1.3.6. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols traités avec la poudre de granite varie entre 16,86 et 24,2méq/100kg (voir annexe). Jutras, (2012) et l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'agronome (1993) ont montré que ce paramètre est moyen entre 10 et 25méq/100g, fort entre 25 et 40 méq/100g, et très fort au-delà de 40 méq/100g. De cette gamme de la CEC, on peut conclure que le traitement effectué a haussé la CEC des valeurs faibles à moyennes. Il traduit dès lors la capacité de ces sols à retenir suffisamment de cations basiques échangeables (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Ruellend et Dosso, 1993).



6.1.3.7. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols ayant reçu de la poudre de granite est moyen. Le taux de saturation varie après traitement de 20,17 et 39,14%. Ces valeurs sont faibles à moyennes (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci est la conséquence de l'apport de cations basiques échangeables dans le sol en réponse au traitement. Ce qui est en accord avec l'augmentation de l'indice de forestier des sols traités. Ces observations confortent de ce fait celles faites par Chan et *al.* (2007).

6.2. Localité de Lara.

6.2.1. Morphologie des sols de Lara

Sur le plan morphologique, deux types de sol ont été identifiés : les arenosols structure massive à particulaire ; forte teneur en sable, pH acide et la CEC est moyenne . Ces résultats sont similaires aux travaux de Hartemink et Huting, 2008 ; Romanens et *al.*, 2019 ; Nafissa, 2020 . Les teneurs élevées en sable traduiraient la mise en culture successives des sols. Les vertisols brun grisâtre à brun pâle et gris à brun jaunâtre. Cette couleur est contraire aux vertisols décrits par plusieurs auteurs (Ekodeck, 1976 ; Duchaufour, 1977 ; Nguetnkam, 2004 ; Azinwi, 2005 ; Djoufac et *al.*, 2006). Cette couleur pourrait être due par le phénomène de lessivage. Le pH des sols étudiés est neutre à légèrement alcalin (**Memento, 1991**), cette acidité pourrait être due par la nature des formations alluvionnaires des éléments à caractères basique (Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+}).

6.2.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Lara

6.2.2.1. Seuil de carence et de déficience (Ca , Mg, K)

La teneur en magnésium des sols témoins (point bleu, fig. 85) est de 1,16 cmol/kg ; ce sont donc des sols qui en sont riches selon l'abaque de classification du magnésium du Memento de l'Agronome (1993). Ces mêmes sols contiennent du potassium à hauteur de 0,60cmol/kg ; cette teneur fait de ces sols des substrats riches en potassium (Memento de l'Agronome, 1993). La teneur de ces sols en calcium est de 1,36cmol/kg ; ce sont donc des sols riches en calcium (Memento de l'Agronome, 1993 ; Fopoussi et *al.*, 2018). D'après le diagramme Mg-K de la figure 55, on constate que les sols témoins (point bleu) sont situés au-delà du seuil de déficience du magnésium (0,3cmol/kg) ; ceci est en accord avec les



observations faites par De Geuss (1967) et Coulter (1972) qui ont montré que le magnésium est rarement déficient dans des sols désaturés des milieux même à pluviométrie moyenne et bien drainés. De même, ces sols témoins sont situés légèrement au-delà du seuil de déficience du potassium (0,1 cmol/kg). Ceci atteste de la capacité de ces sols à l'état naturel à assurer une nutrition potassique efficace des plantes.

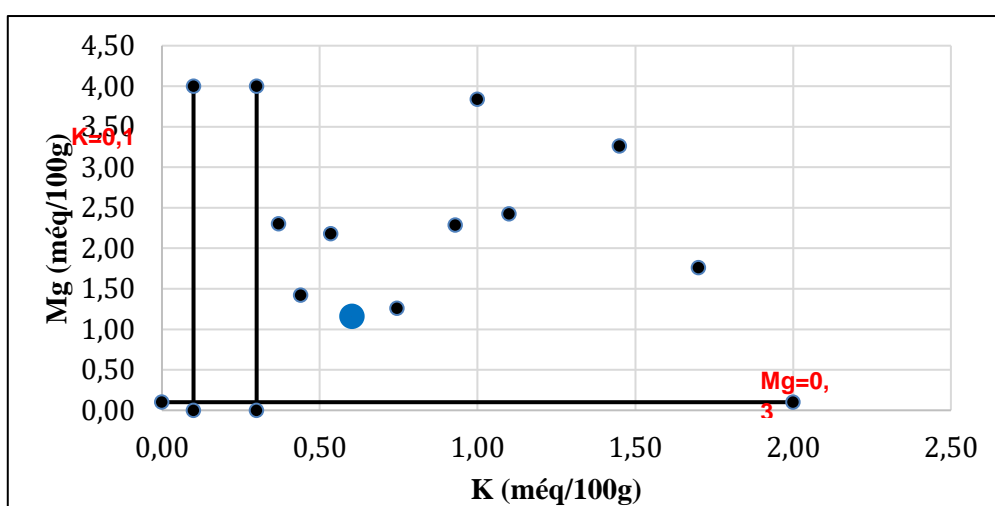


Figure 85: : Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium.

D'après la figure 86, les sols témoins (point en bleu Fig. 86) sont situés au-delà du seuil de déficience en calcium (0,5 még/100g) et en magnésium (0,3 még/100g). Ceci montre que les sols sont pourvus en calcium et en magnésium. De Geuss (1967) et Coulter (1972) dans leurs travaux montrent que, le calcium et le magnésium sont des éléments qui assurent le bon fonctionnement des sols et favorisent l'agrégation des particules et la nutrition des plantes.

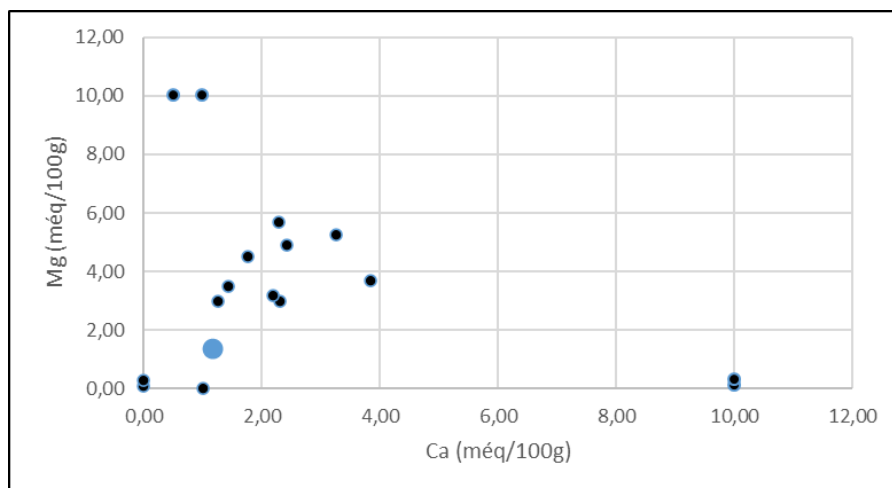


Figure 86 : Seuil de carence et de déficience du Calcium et du magnésium

6.2.2.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg) /K de sol témoin

Le rapport Ca/Mg est de 1,17 (voir annexe). Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspondant à un rapport normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993, Jutras, 2012). La capacité nutritionnelle en magnésium de la plante en présence de calcium est donc normale dans les sols à l'état (Boyer, 1982). Il met également en évidence une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols, déjà fortement initiée par la matière organique (Boyer, 1982 ; Duchaufour, 1983 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K est de 1,92 (Tab.8). Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspond à un rapport normal à optimum entre ces deux cations (Memento de l'agronome, 1993). Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par Boyer (1982), qui a montré que la valeur nutritionnelle en potassium de la plante en présence du magnésium serait de ce fait normale, responsable d'un parfait équilibre physiologique de la plante. Ce qui est le cas dans les sols de Guébouyou.

Le rapport (Ca+Mg) /K présente une valeur de 4,18 (voir annexe). Il apparaît donc que le rapport (Ca+Mg) /K se place dans l'intervalle qui exprime une insuffisance de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (<15) par rapport au potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). La teneur élevée en potassium dans ces sols par rapport à l'ensemble



calcium-magnésium perturbe de ce fait le besoin nutritionnel de la plante en magnésium et calcium.

6.2.2.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols témoins (**ST**) est de 3,33 méq/100g (voir annexe) ; Cette valeur est bonne d'après l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993). L'équilibre cationique Ca-Mg-K des sols témoins (Fig. 87) est de 43,55/37,15/19,30. Cet état d'équilibre positionne ces sols dans le diagramme triangulaire Ca-Mg-K de la Figure 87, dans la zone de déficient en calcium. Dans ce diagramme, le sol témoin est assez éloigné du point d'équilibre optimal. En comparant les valeurs de la balance cationique des sols témoins point par point à la balance optimale qui est de 76/18/6 (Martin, 1979 ; Boyer, 1982), on constate que la balance cationique des sols témoins est déséquilibrée (Nyeck *et al.*, 1999 ; Tematio *et al.*, 2001) ; ceci est généralement le cas dans la plupart des sols bien drainés et désaturés des zones à forte pluviométrie (Boyer, 1982). En effet, comme l'indique le tableau 9, le coefficient de richesse relative du calcium est de 0,57 ; celui du magnésium est de 2,06 et celui du potassium est de 3,22 dans les sols témoins. Le coefficient de richesse relative du potassium étant le plus élevé parmi les différents coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables en présence, le déséquilibre de la balance cationique des sols témoins provoquerait ici par le potassium dont les proportions dans l'ensemble se trouvent en excès par rapport à la teneur des autres cations basiques échangeables. Cette situation a pour conséquence le masquage des autres cations basiques échangeables par celui dont la teneur est la plus élevée, ne répondant alors plus à la tendance optimale qui est de 76/18/6 (Boyer, 1982). Ceci perturbe la couverture nutritionnelle de la plante en d'autres cations basiques échangeables ainsi qu'un bon fonctionnement des sols (Boyer, 1982).

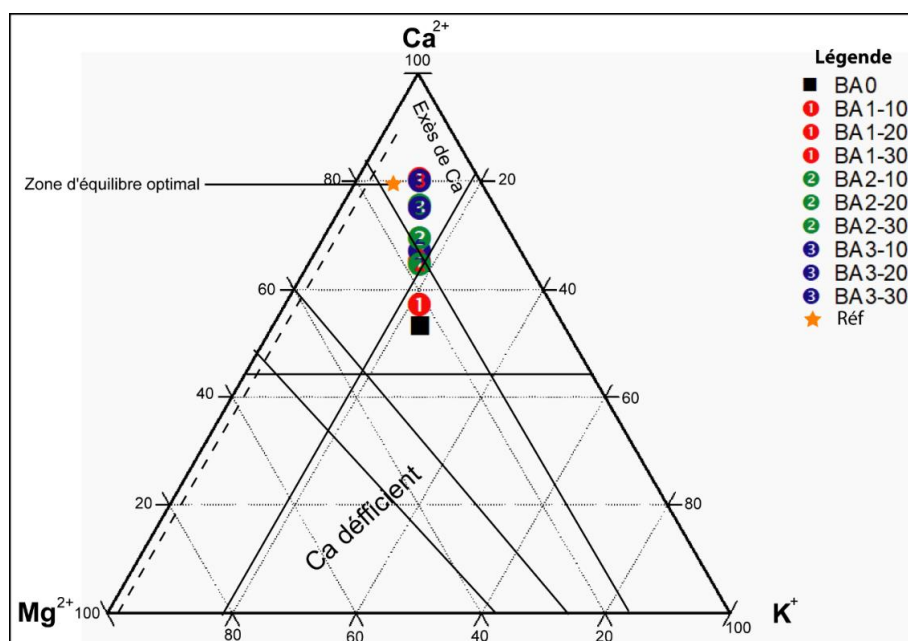


Figure 87 : Diagramme Ca- Mg-k de Martin (1979).

6.2.2.4. Indice de Forestier des sols témoins

L'indice de Forestier calculé dans les sols témoins (ST) est de 1,35 (voir annexe). La corrélation établie entre la somme des cations basiques échangeables et l'indice de Forestier de la Figure 88 montre que cette valeur, les sols témoins se situent dans la zone de fertilité bonne selon Forestier (1960) et Boulvert (1975) ; cette valeur concorde parfaitement avec la quantité de cations basiques échangeables de très bon niveau, attribut dérivant de l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993).

On a calculé l'indice de Forestier (1960) par la formule suivante :

$$IF = S^2 : (A+L)$$

(17).

IF est l'indice de Forestier (1960), S est la somme des bases échangeables, A est la teneur en argile et L est le taux de limon.

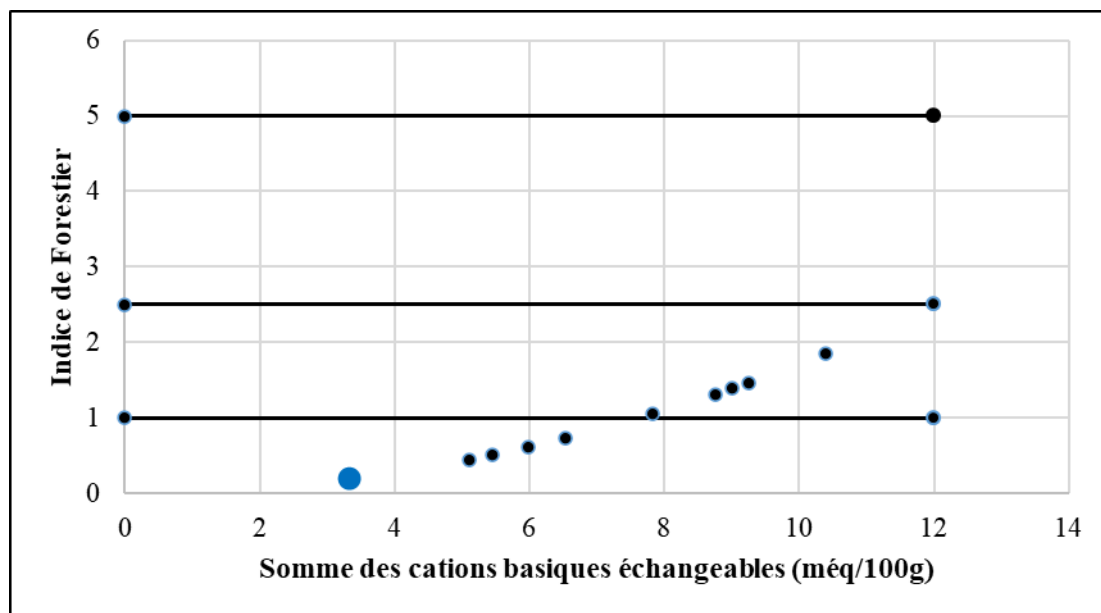


Figure 88: Corrélation Indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables.

6.2.2.5. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols témoins (ST) est de 11,5 mEq/100g (voir annexe).

L'abaque de classification de cet élément du Memento de l'Agronome montre que la valeur de la CEC est faible (Memento de l'agronome, 1993). Il exprimerait de ce fait, la capacité des colloïdes de ce sol à retenir à leur surface moins de cations basiques échangeables (Duchaufour, 1983).

6.2.2.6. pH_{eau}

Le pH_{eau} de sol témoin (ST) est de 6,1 (voir annexe). L'abaque de classification du pH_{eau} du Memento de l'agronome (1993) permet de caractériser ces sols comme étant acide. Ceci est en accord avec la faible quantité de cations basiques échangeables mesurée dans ces sols.



6.2.2.7. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols témoins est de 29,86 (voir annexe). D'après le Memento de l'Agronome (1993), cette valeur est faible. Bernaert et Bitondo (2012) ont montré que pour un $V < 20\%$, le sol a un niveau de saturation très faible et pour des valeurs de V comprises entre 21 et 40%, le niveau de saturation est faible et pour toutes les valeurs comprises entre 40 et 60%, le niveau de saturation est moyen. Ainsi les sols sont moyennement saturés.

6.3. Fertilité chimique des sols amendés par les granites

6.3.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)

Les teneurs en calcium des sols traités par la poudre des granites à 3 mois d'incubation sont comprises entre 3 à 5,24 méq/100g, celles en magnésium se situe entre 1,26 à 3,84 méq/100g et celles en potassium sont comprises entre 0,37 et 1,7 méq/100g (voir annexe). Après le traitement, les sols deviennent dans l'ensemble moyennement riche à très riche en ces trois cations basiques échangeables (Memento de l'Agronome, 1993).

A l'analyse du graphique Mg-K de la Figure 55 et du graphique Ca-Mg de la Figure 56, on constate que les sols traités avec les différentes doses sont situés au-delà des seuils de déficience du magnésium, du calcium et du potassium.

6.3.2. Rapports Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K

Le rapport Ca/Mg dans les sols traités par les granites varie entre 1,17 et 2,49 (tab.9). Ce rapport est compris dans l'intervalle 1 à 25 ; il est donc normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium reste de ce fait normale (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols (Boyer, 1982 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K dans les sols amendés avec les granites est majoritairement inférieur à 1 (Tab.8). Cette teneur est de ce faite fortement insuffisant (Memento de l'Agronome, 1993). L'insuffisance de ce rapport est la conséquence d'un enrichissement plus important des sols en potassium par rapport au magnésium en réponse au traitement. Ceci est en accord avec la forte prédominance du potassium dans le sorgho pluvial comparé au magnésium (Bressani, 1990 ; Weber, 1987). Il s'en suivra donc un problème de nutrition de la plante en magnésium, qui aura



pour conséquence l'incapacité de la plante à fabriquer de la chlorophylle ; de même, il pourrait s'en suivre chez la plante une toxicité au potassium (Boyer, 1982).

Le rapport $(Ca+Mg)/K$ quant à lui reste partout inférieur à 15. Il se situe alors dans l'intervalle traduisant une insuffisance de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (<15) devant le potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci provoquerait une carence en magnésium et en calcium. La plante manifesterait alors ses besoins non couverts en magnésium par une coloration verte jaunâtre, l'expression d'une faible aptitude à synthétiser de la matière organique nécessaire pour sa nutrition (Boyer, 1982).

6.3.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols amendés par les granites est partout comprise entre 5,98 et 10,39 méq/100g (voir annexe) ; elle est moyenne (Memento de l'agronome, 1993).

Le diagramme Ca-Mg-K de la figure (Fig.87) montre que les sols ayant subi un traitement avec des granites se localisent en grande partie dans le pôle potassique d'une part et une petite partie dans la zone de Ca en excès d'autre part. Il est à remarquer que plus le temps passe, plus le potassium est libéré dans les sols étudiés. Les sols incubés d'un (01) à trois (03) mois, se rapprochent du pôle potassique (Fig. 57). Ceci traduit un important déséquilibre de la balance cationique (Martin, 1979). Le coefficient de richesse relative du potassium dans les sols par application de granites est plus élevé par rapport aux autres coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables, le déséquilibre de la balance cationique des sols incubés est provoqué par le potassium (Martin, 1979 ; Weerasuriya *et al.*, 1993 ; Bonzi *et al.*, 2007).

6.3.4. Indice de Forestier des sols amendés

L'indice de Forestier (1960) des sols traités avec les granites varie entre 1,41 et 3,3 (calculer détailler voir annexe). Forestier (1960) (Tab. 13) caractérise de tels sols comme ayant une fertilité chimique très bonne. Ceci pourrait s'expliquer par l'apport considérable des cations basiques échangeables contenues dans les granites.



6.3.5 Capacité d'échange cationique des sols amendés

La capacité d'échange cationique des sols traités avec des granites varie entre 18,062 et 24,22 méq/100kg (Tab.8). Jutras, (2012) et l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'agronome (1993) ont subdivisé que ce paramètre est moyen entre 10 et 25 méq/100g, fort entre 25 et 40 méq/100g, et très fort au-delà de 40 méq/100g. De cette teneur de la CEC, on peut conclure que l'amendement effectué a haussé la CEC des valeurs moyennes à fortes. Il traduit ainsi la capacité de ces sols à retenir de quantité importante de cations basiques échangeables (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Ruellend et Dosso, 1993).

6.3.6. pH eau des sols amendés

Le pH eau des sols traités avec les granites augmente fortement et se maintient entre 6 et 11,7 comme l'indique le tableau 8. Selon le tableau 8, le pH eau croît en dents de scie et reste fortement alcalin à partir du deuxième mois de quantité de granites. Ces sols deviennent alors fortement alcalins à très fortement alcalins (Jutras, 2012 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci rejoint les résultats qui ont été rapportés dans les travaux de Gaeskin *et al.* (2008).

6.3.7. Taux de saturation des sols amendés

Le taux de saturation des sols ayant reçu la poudre de granites a fortement augmenté. Le taux de saturation varie après traitement de 28,67 et 88,68%. Ces valeurs sont faibles à très fortes (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci est la conséquence de l'apport de cations basiques échangeables dans le sol en réponse au traitement. Ce qui corrobore avec l'augmentation de l'indice de forestier des sols traités. Ces observations confortent de ce fait celles faites par Chan *et al.* (2007).

6.4. La localité de Tchatibali

6.4.1. Morphologie des sols de Tchatibali

La morphologie des sols de Tchatibali révèle que la partie arable est suffisamment épaisse, la structure est particulière à massive en surface pour les arenosols et massive à polyédrique pour les vertisols et massive à prismatique pour les stagnosols. Cette structure polyédrique en profondeur traduirait la migration d'argile de la surface vers la profondeur. Les activités biologiques y sont observables. La présence des grumeaux et l'épaisseur considérable de la partie supérieure sont favorables au développement des racines (Memento de l'agronome,



1993 ; Fopoussi *et al*, 2018). La structure grumeleuse mentionnée dans la partie supérieure exprimerait une bonne porosité, une bonne perméabilité, une bonne circulation des fluides, une bonne activité des racines et à l'épanouissement de la pédo-faune (Ruellend et Dosso, 1993). Ceci corrobore avec les traces d'activités biologiques observées dans ces sols. La couleur varie de gris-sombre à brun-clair et ceci justifierait la teneur de la matière organique dans ces sols. La présence des taches rouilles dans certaines fosses pédologiques expliquerait l'engorgement temporaire en eau de ces sols (hydromorphie). On peut donc admettre que sur les plans morphologiques et biologiques, ces sols présentent une bonne aptitude favorable à une production agricole. Cependant il est question de s'interroger sur leurs propriétés chimiques dans le but de connaître si sur ces plans également, ces sols possèdent des atouts favorables.

6. 4.2. Fertilité chimique naturelle des sols de Tchatibali

6.4.2.1. Seuil de carence et de déficience (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+)

La teneur en magnésium des sols témoins (point vert Fig. 89) est de 2,40 méq/100g ; ce sont donc des sols riches d'après l'abaque de classification du magnésium du Memento de l'Agronome (1993). La valeur du potassium dans ces sols est de 0,22 méq/100g ; cette teneur place ces sols, des sols riches en potassium (Memento de l'Agronome, 1993). La teneur de ces sols en calcium est de 1,76 méq/100g ; ce sont donc des sols riches en calcium (Memento de l'Agronome, 1993 ; Fopoussi *et al*, 2018,).

Selon le diagramme Mg-K de la Fig.63, on remarque que les sols témoins (point vert) sont situés au-delà du seuil de déficience du magnésium (0,3 méq/100g) ; ceci corrobore avec les observations faites par De Geuss (1967) et Coulter (1972) qui ont montré que le magnésium est rarement déficient dans des sols désaturés des milieux même à pluviométrie moyenne et bien drainés. De même, ces sols témoins sont situés au-delà du seuil de déficience du potassium (0,1 méq/100g). Ce résultat prouve de la capacité de ces sols à l'état naturel à assurer une nutrition potassique efficiente des plantes (Boyer,1982).

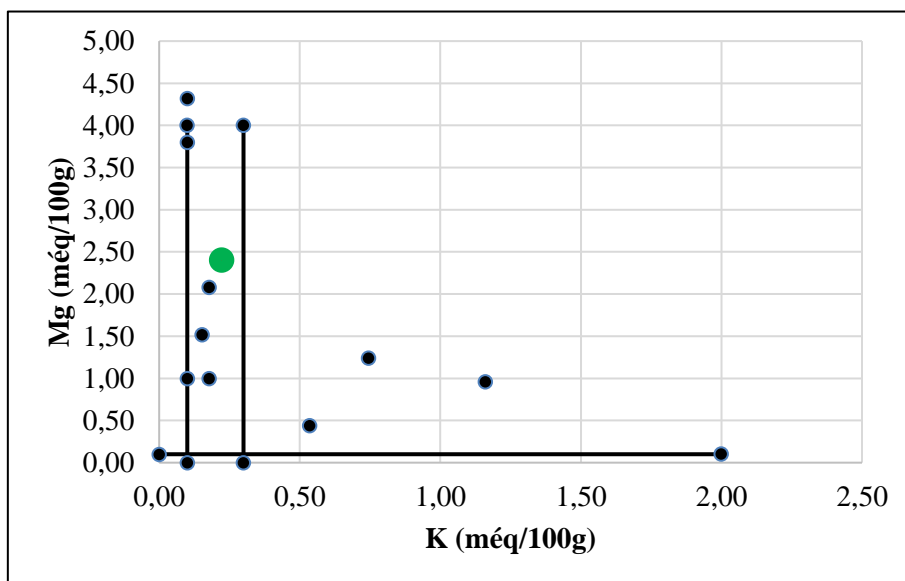
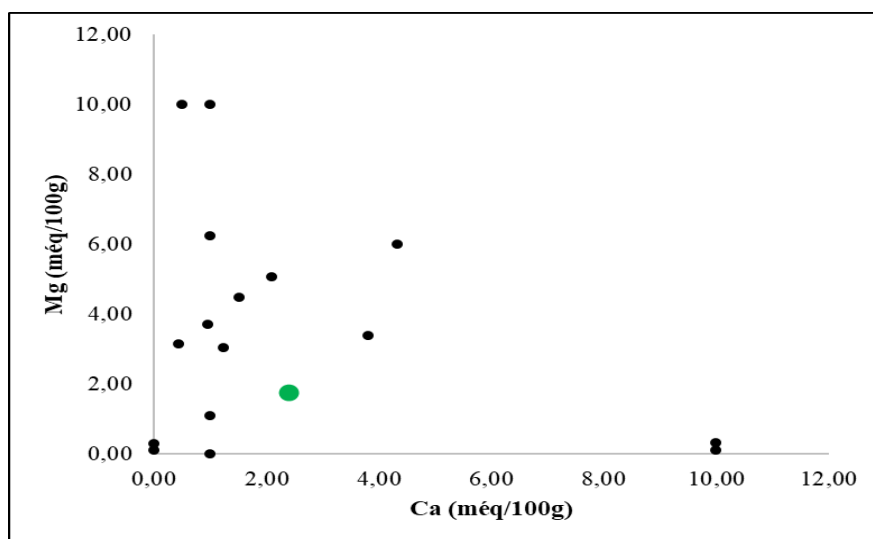


Figure 89: Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium

D'après la figure 90 , les sols témoins (point en vert) sont situés au-delà du seuil de déficience en calcium (0,5 még/100g) et en magnésium (0.3 még/100g). Ceci montre que les sols sont pourvus en calcium et en magnésium. Geuss (1967) et Coulter (1972) dans leurs travaux montrent que, le calcium et le magnésium sont des éléments qui assurent le bon fonctionnement des sols favorise l'agrégation des particules et la nutrition des plantes.





6.4.2.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K de sol témoin

Le rapport Ca/Mg est de 0,73 (voir annexe). Cette valeur appartient à l'intervalle 0,5 à 15, correspondant à un rapport normal (Memento de l'agronome, 1993, Jutras, 2012). La capacité nutritionnelle en magnésium de la plante en présence de calcium est donc normale dans les sols à l'état naturel (Boyer, 1982). Il met également en évidence une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols, déjà fortement initiée par la matière organique (Boyer, 1982 ; Duchaufour, 1983 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K est de 10,77. Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspond à un rapport normal à optimum entre ces deux cations (Memento de l'agronome, 1993). Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par Boyer (1982), qui a montré que la valeur nutritionnelle en potassium de la plante en présence du magnésium serait de ce fait normale, responsable d'un parfait équilibre physiologique de la plante. Ce qui est le cas dans les sols de Guitare.

Le rapport (Ca+Mg) /K présente une valeur de 18,77. Il apparait donc que le rapport (Ca+Mg) /K se place dans l'intervalle qui exprime une meilleur qualité de l'ensemble

Formé par le calcium et le magnésium (supérieur à 15) par rapport au potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). La teneur faible en potassium dans ces sols par rapport à l'ensemble calcium-magnésium ne perturbe pas de ce fait le besoin nutritionnel de la plante en magnésium et calcium (calculer détailler voir annexe).

6.4.2.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols témoins (ST) est de 4,59 méq/100g ; Cette valeur est bonne d'après l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993). L'équilibre cationique Ca-Mg-K des sols témoins (Fig. 91) est de 40,16/54,76/5,08. Cet état d'équilibre positionne ces sols dans le diagramme triangulaire Ca-Mg-K de la Fig. 91, dans la zone d'excès en calcium. Dans ce diagramme, le sol témoin est assez éloigné du point d'équilibre optimal. En comparant les valeurs de la balance cationique des sols témoins point par point à la balance optimale qui est de 76/18/6 (Martin, 1979 ; Boyer, 1982), on constate que la balance cationique des sols témoins est déséquilibrée (Nyeck *et al.*,



1999 ; Tematio *et al.*, 2001) ; ceci est généralement le cas dans la plupart des sols bien drainés et désaturés des zones à forte pluviométrie (Boyer, 1982). En effet, comme l'indique le, le coefficient de richesse relative du calcium est de 0,53 ; celui du magnésium est de 3,04 et celui du potassium est de 0,85 dans les sols témoins. Le coefficient de richesse relative du magnésium étant le plus élevé parmi les différents coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables, le déséquilibre de la balance cationique des sols témoins serait provoqué ici par magnésium dont les proportions dans l'ensemble se trouvent en excès par rapport à la teneur des autres cations basiques échangeables. Cette situation a pour conséquence le masquage des autres cations basiques échangeables par celui dont la teneur est la plus élevée, ne répondant alors plus à la tendance optimale qui est de 76/18/6 (Boyer, 1982). Ceci perturbe la couverture nutritionnelle de la plante en d'autres cations basiques échangeables ainsi qu'un bon fonctionnement des sols (Boyer, 1982) calcule détailler voir annexe.

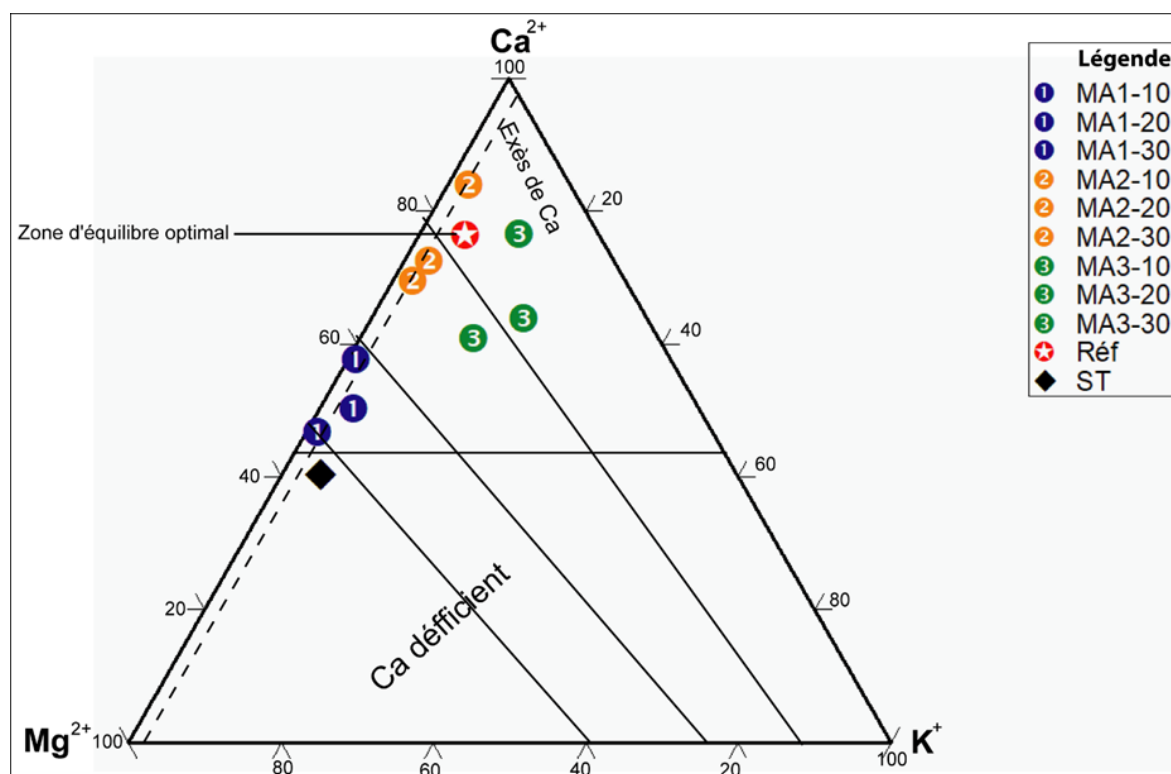


Figure 91 : Diagramme Ca- Mg-k de Martin (1979)



6.4.2.4. Indice de Forestier des sols témoins

L'indice de Forestier calculé dans les sols témoins (ST) est de 0,96. La corrélation établie entre la somme des cations basiques échangeables et l'indice de Forestier de la (Fig. 92) montre que par cette valeur, les sols témoins se situent dans la zone de fertilité moyenne selon Forestier (1960) et Boulvert (1975) (tab. 13) ; cette valeur concorde parfaitement avec la quantité de cations basiques échangeables de mauvais niveau, attribut dérivant de l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993).

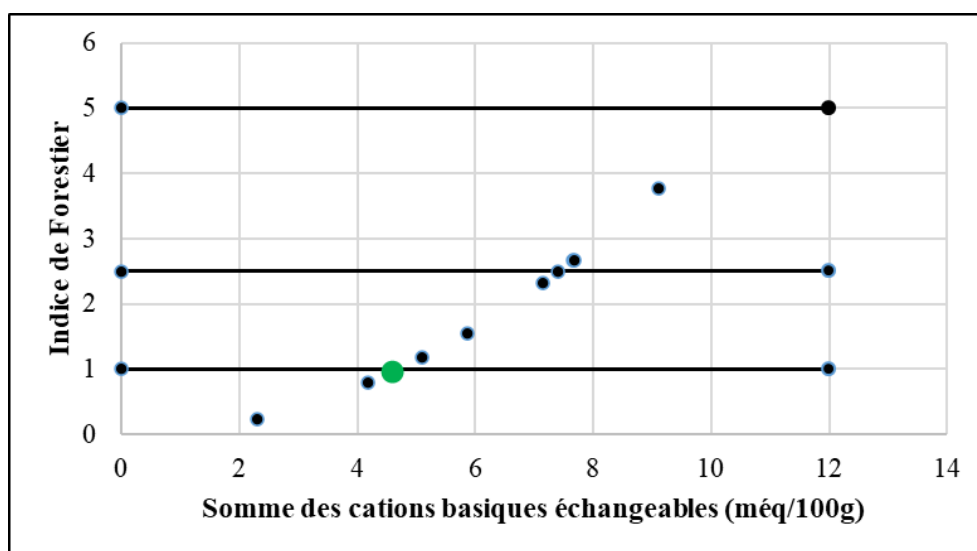


Figure 92 : Corrélation Indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables

6.4.2.5. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols témoins (ST) est de 13,54 méq/100g. L'abaque de classification de cet élément du Memento de l'Agronome montre que la valeur de la CEC est faiblement moyenne (Memento de l'agronome, 1993). Il exprimerait de ce fait, la capacité des colloïdes de ce sol à retenir à leur surface moyennement de cations basiques échangeables (Duchaufour, 1983) calcule détailler voir annexe.



6.4.2.6. pHeau

Le pHeau de sol témoin (ST) est de 6,9 (tab.4). L'abaque de classification du pHeau du Memento de l'agronome (1993) permet de caractériser ces sols comme étant neutre. Ceci est en accord avec la faible quantité de cations basiques échangeables mesurée dans ces sols.

6.4.2.7. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols témoins est de 33,89%. D'après le Memento de l'Agronome (1993), cette valeur est faible. Bernaert et Bitondo (2012) ont montré que pour un $V < 20\%$, le sol a un niveau de saturation très faible et pour des valeurs de V comprises entre 21 et 40 %, le niveau de saturation est faible et pour toutes les valeurs comprises entre 40 et 60 %, le niveau de saturation est moyen. Ainsi ces sols sont faiblement saturés.

6.5. Fertilité chimique des sols amendes par les vertisols

6.5.1 Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K).

Les teneurs en calcium des sols traités par le vertisol broyé après trois mois d'incubation sont comprises entre 1,1 et 6,2 méq/100g, celles en magnésium se situent entre 0,44 et 4,32 méq/100g et celles en potassium sont comprises entre 0,1 et 1,16 méq/100g (tab7). Après le traitement, les sols deviennent dans l'ensemble moyennement riche à très riche en calcium et magnésium (Memento de l'Agronome, 1993).

A l'analyse du graphique Mg-K de la (Fig.63) et du graphique Ca-Mg de la Fig.64, on constate que les sols traités avec les différentes doses sont situés au-delà des seuils de déficience du magnésium, du calcium et du potassium de manière général.

6.5.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K

Le rapport Ca/Mg dans les sols traités par le vertisol varie entre 0,89 et 7,14 (tab.7). Ce rapport est compris dans l'intervalle 0,5 à 15 ; il est donc normal (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium reste de ce fait normale (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols (Boyer, 1982 ; Huber et Schaub, 2011).



Le rapport Mg/K dans les sols amendés avec le vertisol est majoritairement supérieur à 1 (tab.7). Cette teneur est de ce faite fortement suffisant (Memento de l'Agronome, 1993). Ce rapport est la conséquence d'un enrichissement plus important des sols en magnésium par rapport au potassium en réponse au traitement. Ceci est en accord avec la forte prédominance du magnésium dans le vertisol comparé au potassium (Ekodeck, 1976 ; Nguetnkam, 2004). Il s'en suivra donc un problème de nutrition de la plante en potassium, qui aura pour conséquence l'incapacité de la plante à fabriquer de la chlorophylle ; de même, il pourrait s'en suivre chez la plante une diminution de la photosynthèse du couvert et de la croissance de la culture (Boyer, 1982).

Le rapport (Ca+Mg)/K quant à lui est en majorité supérieur à 15. Il se situe alors dans l'intervalle traduisant une meilleure qualité de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (supérieur à 15) devant le potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci provoquerait une carence en potassium (Resquad, 2016).

6.5.3. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K).

Les teneurs en calcium des sols traités par le vertisol broyé après trois mois d'incubation sont comprises entre 1,1 et 6,2 méq/100g, celles en magnésium se situent entre 0,44 et 4,32 méq/100g et celles en potassium sont comprises entre 0,1 et 1,16 méq/100g (tab7). Après le traitement, les sols deviennent dans l'ensemble moyennement riche à très riche en calcium et magnésium (Memento de l'Agronome, 1993).

A l'analyse du graphique Mg-K de la (Fig.63) et du graphique Ca-Mg de la Fig.64, on constate que les sols traités avec les différentes doses sont situés au-delà des seuils de déficience du magnésium, du calcium et du potassium de manière général.

6.5.4. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K

Le rapport Ca/Mg dans les sols traités par le vertisol varie entre 0,89 et 7,14. Ce rapport est compris dans l'intervalle 0,5 à 15 ; il est donc normal (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium reste de ce fait normale (Boyer,



1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols (Boyer, 1982 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K dans les sols amendés avec le vertisol est majoritairement supérieur à 1. Cette teneur est de ce faite fortement suffisant (Memento de l'Agronome, 1993). Ce rapport est la conséquence d'un enrichissement plus important des sols en magnésium par rapport au potassium en réponse au traitement. Ceci est en accord avec la forte prédominance du magnésium dans le vertisol comparé au potassium (Ekodeck, 1976 ; Nguetnkam, 2004). Il s'en suivra donc un problème de nutrition de la plante en potassium, qui aura pour conséquence l'incapacité de la plante à fabriquer de la chlorophylle ; de même, il pourrait s'en suivre chez la plante une diminution de la photosynthèse du couvert et de la croissance de la culture (Boyer, 1982) calcule détailler voir annexe.

Le rapport $(Ca+Mg) / K$ quant à lui est en majorité supérieur à 15. Il se situe alors dans l'intervalle traduisant une meilleure qualité de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (supérieur à 15) devant le potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci provoquerait une carence en potassium (Resquad, 2016).

6.5.5. Indice de Forestier

L'indice de Forestier (1960) des sols traités avec du vertisol varie entre 0,24 et 3,76. Forestier (1960) caractérise de tels sols comme ayant une fertilité chimique moyenne à bonne. Ceci pourrait s'expliquer par l'apport considérable des cations basiques échangeables contenu dans le vertisol.

6.5.6 Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols traités avec le vertisol varie entre 11,1 et 21,98 méq/100kg. Jutras, (2012) et l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'agronome (1993) ont subdivisé ce paramètre comme étant moyenne entre 10 et 25 méq/100g, fort entre 25 et 40 méq/100g, et très fort au-delà de 40 méq/100g. De cette teneur de la CEC, on peut conclure que l'amendement effectué à une valeur moyenne de CEC. Il traduit ainsi la capacité de ces sols à retenir de quantité importante de cations basiques échangeables (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Ruellend et Dosso, 1993).



6.5.7. pH eau

Le pH eau des sols traités avec du broyat de vertisol augmente et se maintient entre 7,2 et 7,30. Selon le tableau 5, le pH eau croît en dents de scie et reste moyennement alcalin à partir de la dose de 20 % et entre le premier et le deuxième mois d'incubation. Ces sols deviennent donc basiques avec l'application de vertisol (Jutras, 2012 ; Memento de l'agronome, 1993).

6.5.8. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols ayant reçu la poudre de vertisol a fortement augmenté. Le taux de saturation varie après traitement de 20,44 et 48,66 %. Ces valeurs sont faibles à fortes (Jutras 2012 ; Couronne, 2015 ; Memento de l'agronome, 1993). Ceci est la conséquence de l'apport de cations basiques échangeables dans le sol en réponse au traitement. Ce qui corrobore avec l'augmentation de l'indice de forestier des sols traités. Ces observations confortent de ce fait celles faites par Chan *et al.* (2007).

6.6. Localité de Dibi

6.6.1. Caractéristiques morphologiques des sols de Dibi

Sur le plan morphologique, la partie arable est suffisamment épaisse et la structure est grumeleuse. Sur le plan biologique, on y note une bonne activité biologique. La présence des grumeaux et l'épaisseur considérable de la partie arable sont favorables à un bon épanouissement des racines (Memento de l'agronome, 1993 ; Fopoussi *et al.*, 2018). La structure grumeleuse notée dans la partie arable est généralement corrélée à une bonne porosité, à une bonne perméabilité, à une bonne circulation des fluides, à un bon développement racinaire, et à l'épanouissement de la pédofaune (Ruellend et Dosso, 1993). Ceci s'accorde avec les traces d'activité biologique importantes notées dans les sols. La couleur varie de brun rougeâtre foncé à marron et justifierait la teneur en matière organique dans ces sols. On peut donc déclarer que sur les plans morphologiques et biologiques, ces sols présentent une bonne aptitude à soutenir une production agricole. Toutefois il est maintenant question d'interroger les atouts chimiques de ces sols dans le but de voir si sur ces plans également, ces sols présentent des atouts favorables.



6.6.2. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)

La teneur en magnésium des sols témoins (point jaune, figure 93) est de 0,08még/100g; ce sont donc des sols qui en sont riches selon l'abaque de classification du magnésium du Memento de l'Agronome (1993). Ces mêmes sols contiennent du potassium à hauteur de 0,15még/100g ; cette teneur fait de ces sols des substrats riches en potassium (Memento de l'Agronome, 1993). La teneur de ces sols en calcium est de 1,52még/100g ; ce sont donc des sols riches en calcium (Memento de l'Agronome, 1993 ; Fopoussi et *al.*,2018).

Selon le diagramme Mg-K de la Fig.93, on remarque que les sols témoins (point jaune) sont situés dans le seuil de déficience du magnésium (0,3 még/100g) ; ceci corrobore avec les observations faites par De Geuss (1967) et Coulter (1972) qui ont montré que le magnésium est rarement déficient dans des sols désaturés des milieux même à pluviométrie moyenne et bien drainés. De même, ces sols témoins sont situés en-dessous du seuil de déficience du potassium (0,1 még/100g). Ce résultat prouve l'incapacité de ces sols à l'état naturel à assurer une nutrition potassique efficace des plantes (Boyer,1982).

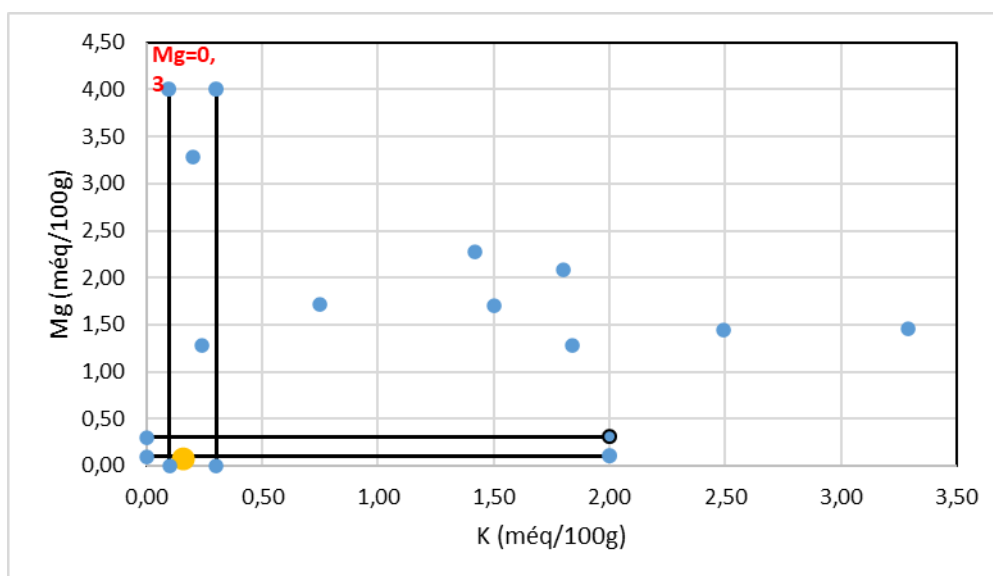


Figure 93: Seuil de carence et de déficience du potassium et du magnésium



6.6.3. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K du sol témoin

Le rapport Ca/Mg est de 3,14. Cette valeur appartient à l'intervalle 1 à 25, correspondant à un rapport normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium est de ce fait normale dans les sols sous couvert naturel (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols, déjà fortement initiée par la matière organique (Boyer, 1982 ; Duchaufour, 1983 ; Huber et Schaub, 2011).

Le rapport Mg/K est de 0,53 (voir annexe). Cette valeur est inférieure à 2 correspond à un rapport insuffisant entre ces deux cations (Memento de l'agronome, 1993). Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par Boyer (1982), qui a montré que la valeur nutritionnelle en potassium de la plante en présence du magnésium serait de ce fait normale, responsable d'un parfait équilibre physiologique de la plante. Ce qui n'est pas le cas dans les sols de Dibi.

Le rapport (Ca+Mg) /K présente une valeur de 10,67 (tableau8). Il apparait donc que le rapport (Ca+Mg) /K se place dans l'intervalle qui exprime un rapport normal à optimum de l'ensemble formé par le calcium et le magnésium (15 à 40) par rapport au potassium (Loue, 1962 ; Memento de l'agronome, 1993). La teneur élevée en potassium dans ces sols par rapport à l'ensemble calcium-magnésium améliore de ce fait le besoin nutritionnel de la plante en magnésium et calcium. (Calculer détailler voir annexe)

6.6.4. Equilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols témoins est de 2,10mécq/100g (voir annexe) ; l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agrologue (1993) permet de dire que la somme des cations basiques échangeables du fait de cette valeur est faible. L'équilibre cationique Ca-Mg-K des sols témoins est de 1,52/0,08/0,15. Cet état d'équilibre positionne ces sols dans le diagramme triangulaire Ca- Mg-K de la figure 94, presque à la limite supérieure de la zone d'abondance en calcium. Dans ce diagramme, le sol témoin est dès lors assez proche du point d'équilibre optimal. En comparant les valeurs de la balance cationique des sols témoins point par point à la balance optimale qui est de 76/18/6 (Martin, 1979 ; Boyer,



1982), on constate que la balance cationique des sols témoins est déséquilibrée (Nyeck et al., 1999 ; Tematio et al., 2001) ; ceci est généralement le cas dans la plupart des sols bien drainés et désaturés des zones à forte pluviométrie (Boyer, 1982). En effet, comme l'indique le tableau 6, le coefficient de richesse relative du calcium est de 0,02 ; celui du magnésium est de 0,13 et celui du potassium est de 0,04 dans les sols témoins. Le coefficient de richesse relative du magnésium étant le plus élevé parmi les différents coefficients de richesse relative des cations basiques échangeables en présence. Le déséquilibre de la balance cationique des sols témoins est provoqué ici par le magnésium dont les proportions dans l'ensemble se trouvent en excès par rapport à la teneur des autres cations basiques échangeables. Cette situation a pour conséquence le masquage des autres cations basiques échangeables par celui dont la teneur est la plus élevée, ne répondant alors plus à la tendance optimale qui est de 76/18/6 (Boyer, 1982). Ceci perturbe la couverture nutritionnelle de la plante en d'autres cations basiques échangeables ainsi qu'un bon fonctionnement des sols (Boyer, 1982).

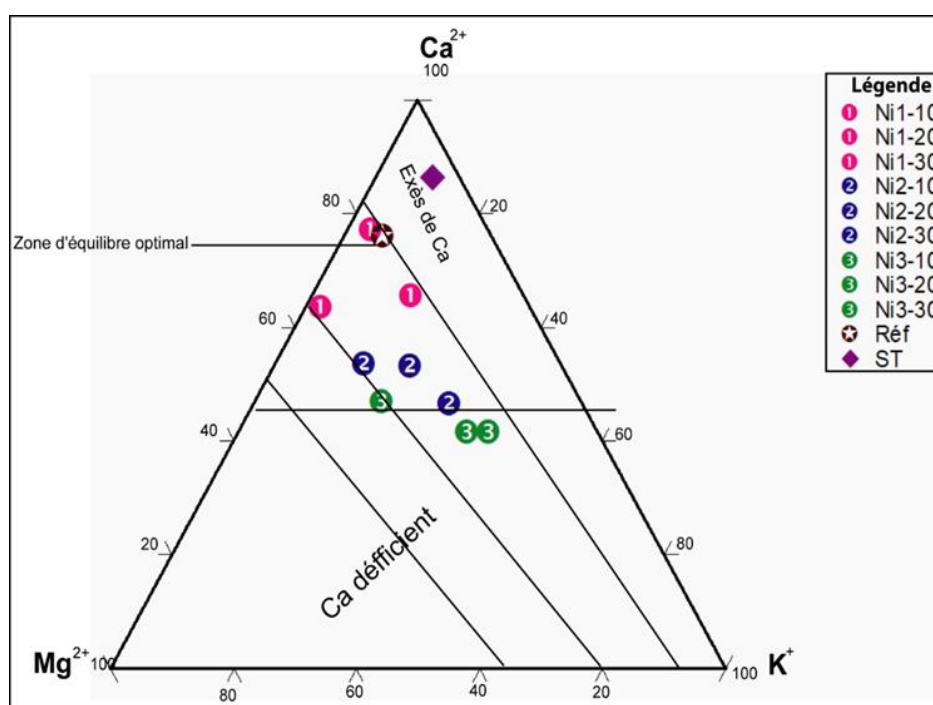


Figure 94: Diagramme Ca-Mg-K



6.6.5. Indice de Forestier des sols témoins

L'indice de Forestier calculé dans les sols témoins (ST) est de 0,96 (voir annexe). La corrélation établie entre la somme des cations basiques échangeables et l'indice de Forestier de la (Figure 95) montre que, par cette valeur, les sols témoins se situent dans la zone de fertilité moyenne selon Forestier (1960) et Boulvert (1975) ; cette valeur concorde parfaitement avec la quantité de cations basiques échangeables de mauvais niveau, attribut dérivant de l'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'Agronome (1993).

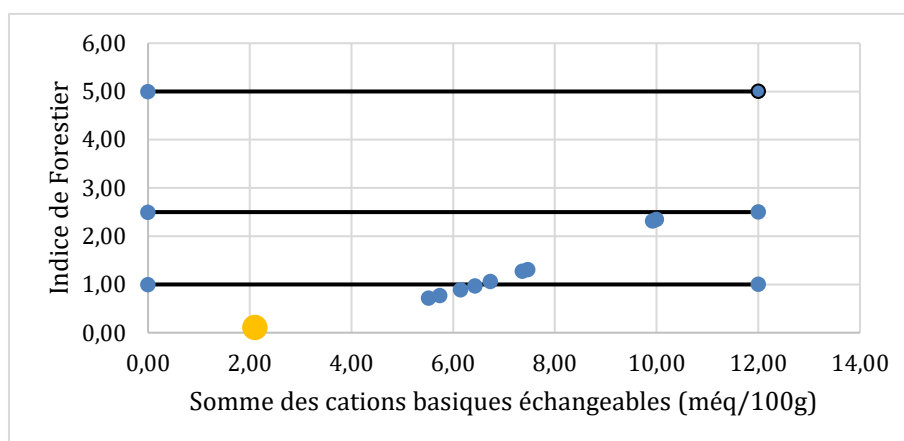


Figure 95: Corrélation indice de Forestier-Somme des cations basiques échangeables

6.6.6. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols témoins est de 11,30méq/100g (tableau 4). L'abaque de classification de cet élément du Memento de l'Agronome montre que la valeur de la CEC est moyenne (Memento de l'agronome, 1993). Il traduirait dès lors la capacité des colloïdes de ce sol à retenir à leur surface assez de cations basiques échangeables (Duchaufour, 1983).

6.6.7. pH eau

Le pH eau des sols sous couvert naturel est de 6,0 (annexe). L'abaque de classification du pH eau du Memento de l'agronome (1993) permet de caractériser ces sols comme étant



moyennement acides ; ce taux d'acidité est couramment observé dans les horizons riches en cations basiques échangeables (Fopoussi et *al*, 2018) ; ceci est en accord avec la quantité de cations basiques échangeables mesurée dans ces sols. Sur un point de vue fonctionnel, cet état d'acidité induit dans ces sols une toxicité aluminique nulle (Ruellend et Dosso, 1993).

6.6.8. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols témoins est de 18,58% (tableau 4). D'après le Memento de l'Agronome (1993), cette valeur est faible. Bernaert et Bitondo (2012) ont montré que pour un $V < 20\%$, le sol a un niveau de saturation très faible et pour des valeurs de V comprises entre 21 et 40%, le niveau de saturation est faible et pour toutes les valeurs comprises entre 40 et 60%, le niveau de saturation est moyen. Ainsi les sols sont faiblement saturés.

6.7. Fertilité chimique des sols traités

6.7.1. Seuil de carence et de déficience (Ca, Mg, K)

Les teneurs en calcium des sols traités à l'aide de pyroclastites après trois mois d'incubation sont comprises entre 1,1 et 6méq/100g, celles en magnésium sont comprises entre 1 et 4,32méq/100g et celles en potassium sont comprises entre 0,1 et 1,16méq/100g (tableau 8). Au terme du traitement, les sols deviennent dans l'ensemble très riches en ces trois cations basiques échangeables (Memento de l'Agronome, 1993).

A l'analyse du graphique Mg-K de la figure 49 et du graphique Ca-Mg de la figure 50, on constate que les sols traités avec les différentes formulations sont situés en-dessous des seuils de déficience du magnésium, du calcium, et du potassium. Le fort éloignement des sols traités avec les pyroclastites peut être la conséquence des petites concentrations de ce fertilisant en nutriments (Lehman, 2009).

6.7.2. Rapport Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K

Le rapport Ca/Mg dans les sols traités avec les pyroclastites varie entre 0,73 et 7,14 (tableau 8). Ce rapport, malgré des nuances, tend à rester dans l'intervalle 1 à 25 ; il est donc normal à optimum (Memento de l'agronome, 1993). La nutrition en magnésium de la plante en présence de calcium reste de ce fait normale (Boyer, 1982). Il traduit également une contribution moyenne de ces éléments à la stabilité structurale des sols (Boyer, 1982 ; Duchaufour, 1983 ; Huber et Schaub, 2011).



Le rapport Ca/K dans les sols traités avec les pyroclastites est majoritairement inférieur à l'unité (tableau 8). Il est de ce fait fortement insuffisant (Memento de l'Agronome, 1993). L'insuffisance de ce rapport est la conséquence d'un enrichissement plus important des sols en potassium par rapport au calcium en réponse au traitement. Ceci est en accord avec la forte prédominance du potassium dans le maïs comparé au calcium (Bressani et al., 1990 ; Weber, 1987). Une telle gamme de valeurs de ce rapport a pour conséquence une mauvaise absorption racinaire de l'azote par les plantes (Boyer, 1982).

6.7.3. Equilibre cationique et taux de richesse relative

La somme des cations basiques échangeables dans les sols traités avec les pyroclastites basaltiques est comprise entre 5,52 et 10,00mécq/100g (tableau 4) ; elle est donc moyenne (Memento de l'agronome, 1993).

Le diagramme triangulaire Ca-Mg-K de la figure 52 montre que les sols traités avec les pyroclastites sont globalement localisés dans la zone de calcium en excès. Aussi, l'ensemble des sols traités se rapprochent fortement du pôle calcique. Ceci traduit un important

6.7.4. Indice de Forestier

L'indice de Forestier (1960) calculé dans les sols traités avec les pyroclastites varie entre 0,24 et 3,76 (annexe). Forestier (1960) (annexe) caractérise de tels sols comme ayant une fertilité chimique médiocre à très bonne. Ceci serait la conséquence de la forte capacité fertilisante des pyroclastites en générale telle que constatée par Lehman (2009).

6.7.5. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique des sols traités avec les pyroclastites varie entre 15,09 et 21,60mécq/100g (tableau 4). L'abaque de classification de ce paramètre du Memento de l'agronome (1993) montre que ce paramètre est moyen entre 10 et 25mécq/100g, fort entre 25 et 40mécq/100g, et très fort au-delà de 40mécq/100g. Il traduit dès lors la capacité de ces sols à retenir suffisamment de cations basiques échangeables (Ruellend et Dosso, 1993). Cette importante amélioration corrobore les observations faites par Lélé (2016).



6.7.6. pH eau

Le pH eau des sols traités avec les pyroclastites augmente et se maintient entre 5,3 et 6,7 comme le montre le tableau 4. Ces sols deviennent alors faiblement acides à moyennement acides (Memento de l'agronome, 1993). Ceci est en parfait accord avec les travaux de Gaskin et al (2008). En effet, ils montrent qu'en fonction de la charge et de la température de pyrolyse, l'ajout des pyroclastites peut augmenter fortement la valeur du pH eau.

6.7.7. Taux de saturation

Le taux de saturation des sols ayant reçu des pyroclastites ont une tendance à la hausse malgré de nombreuses fluctuations. Ceci est la conséquence de l'apport de cations basiques échangeables dans le sol en réponse au traitement. Ceci est en accord avec l'augmentation de l'indice de Forestier (1960). Ces observations confortent de ce fait celles faites par Chan et al, (2007).



Conclusion

Le présent travail avait pour but de caractériser les sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali (Extrême-Nord Cameroun), de Dibi (Adamaoua Cameroun) et l'évaluation du potentiel fertilisant des granites, des vertisols et des pyroclastites sur ses sols.

Les études menées sur le plan morphologique et physico-chimique ont permis de distinguer neuf types sol à Gamboura : (1) les régosols, (2) les sols non différenciés de couleur brun jaunâtre, à Lara (3) Les Arenosols, ils sont subdivisés en deux sous classes : - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, Les sols ferrugineux tropicaux non lessivés, (4) Les Vertisols, sont subdivisés en deux sous classes : - les vertisols dégradés, - Les vertisols non dégradés à Tchatibali (5) Les Vertisols du type $A_1B_tB_{tg}$, (6) Les Stagnosols du type $A_1B_tB_{g1}B_{g2}$, (7) Les Arenosols du type $A_1B_1B_2B_s$ à Dibi (8) Les sols de couleurs rouges, (9) Les sols gris sombre.

L'amendement avec les granites, les vertisols et les pyroclastites basaltique induisent une amélioration des propriétés physico-chimiques des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi. Les propriétés des sols amendés sont meilleures que celles du sol témoin. Ce résultat confirme l'hypothèse émise dans cette recherche « l'apport du broyat des matériaux géologiques locaux améliore significativement les propriétés physico-chimiques des sols notamment le pH la CEC, la SBE et le taux de saturation V% et par conséquent fertilise le sol ». Le calcium, le magnésium et le potassium se situent au-delà du seuil de carence. La balance cationique reste équilibrée, avec un très fort enrichissement des sols traités en calcium. Le dosage de 30% des granites, des vertisols et pyroclastites est le meilleur pour la reminéralisation de ces sols. Les granites, les vertisols et les pyroclastites peuvent fertiliser les sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi et représentent une alternative aux engrais chimiques face à l'indisponibilité, le coût élevé et l'effet négatif de ses derniers dans l'environnement.

En perspective, il sera question de :

- ❖ Étudier d'avantage la morphologie des sols de ses localité sur le plan physico-chimiques, minéralogiques et géochimiques ;



- ❖ Tester en champ l'efficacité des granites, des vertisols et des pyroclastites sur les cultures maraichères afin de tirer des conclusions sur l'effet fertilisant du granite à grande échelle ;
- ❖ Réaliser des tests d'incubation utilisant un mélange des granites, des vertisols et des pyroclastites et d'autre roches comme matériau fertilisant des sols de Gamboura, de Lara, de Tchatibali et de Dibi.



Bibliographie

A.P.M van der Zon Éditeur Agricultural University, 1992 : Graminées du Cameroun : Phytogéographie et pâturages 799-811 p.

Adoulko Dalil ; Simon Djakba Basga ; Rigobert Tchameni ; Nguetnkam Jean Pierre., 2021. The influence of basalt powder on the physicochemical properties of impoverished Oxisols from Ngaoundéré (Adamaoua-Cameroun) vol. 33(24): 307-315.

Africa: a survey with particular reference to development in phosphate utilization in Zimbabwe. In Blenkinsop TG and P.L Tromp (eds.) Sub-saharan Economic Geology. Geol.soc.

Atlas de l'extrême nord, 2000

Basga S.D & Nguetnkam J.P., 2015 fertilizing Effect of Swelling Clay Materials on the Growth and Yield of « Phaseolus vulgaris » on the Sandy Ferruginous Soils from Mafa Tchéboa (NorthCameroun, Central Africa), no 056 IJPSS, pp. 10-24.

Batino A., Kimetu J., Ikera S., Kimeni S., Mugenda D., Odendo M., Silver M., Swif M J. & Sanginga N., 2004. The Africa Network for soil biology and fertility: New challenge and opportunities. In batino (Ed): Managing of Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. *Academy of science publishers*, Nairobi, Kenya, pp 1-23.

Beernaert F. et Bitondo D., 1992. Simple and practical methods to evaluate analytical data of soil profiles. CUDs, Dschang Soil Science Department, Belgian cooperation, 66 p.

Bella H., 2009. Agriculture et croissance économique au Cameroun. 58 p.

Bonzi M., Lompo F., Ouandaogo N., and Sdogo M.P., 2007: Promoting uses of indigenous phosphate rock for soil fertility reactivation in the sahel: State of the knowledge on the survey of the rock phosphates of Burkina Faso. Innovations as key to the Green Revolution in Africa: Exploring the scientific Facts. Arusha, Tanzania, 17-21 Sept 2007.

Brabant Pierre, Gavaud Michel., 1985 : Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun (Provinces du Nord et de l'Extrême Nord) : cartes à : 1 :500000 Feuille Nord : Maroua-Kousseri Feuille Sud : Garoua. Paris : ORSTOM, (103), 285 p.

Brabant Pierre., 1984 : République du Cameroun. Carte des Ressources en Terres. Provinces du Nord et de l'Extrême-Nord. Feuille Sud-Garoua ;



Brady N C., 1974. The Nature and Properties of Soils. 8th Edition. Macmillan Publishing C., INC. New York. Collier Macmillan Publishers, London. 639p.

Bressani R., 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food Rev. /nt., 6: 225-264.

Chappell B W and White A J R., 1974. Two Contrasting Granite Types. Pacific Geology, 8, 173-174p.

Chappell B W., 1979. Granites as images of their source rocks. Geological Society of America,

Chesworth W, Magias-Vazquez F, Acquaye D et Thompson E., 1985. Agriculture alchemy, stones into bread. Episodes, n°1, pp.3-7

Chesworth W, Van Straaten P et Semoka JMR., 1989. Agrogeology in East Africa: The

Chesworth W., 1993. The first twenty-nine days: Prospects for agrogeology. In: Pride C and P van Straaten (eds.) Agrogeology and small-scale mining. Small Mining International, Bulletin 56 :2-3.

Comptes rendus Hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, Vol. 36, 1136p

Coopération et développement 1604p.

Coulter J K., 1972. Soil management system. Chapter in "Soils of the humid tropics", U.S. National Academy of sciences, Washington.

Couronne M.P., 2015 : La capacité d'Echange Cationique (CEC), Chambre d'Agriculture de Drôme, Technique et bio, 2p.

Daouda Dawai 2014. Les plutons de Guider et de Bossoum-Pologozom (chaîne panafricaine au Nord Cameroun) : analyses pétrographique, structurale, magnétique, géochronologique et implication géodynamique. Thèse de doctorat université de Ngaoundéré 208p.

De Geus J., 1967. Fertilizer Guide for Tropical and Subtropical Farming. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich, Softcover ; 727pages.

Delaunois A., 2008. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, 37 p.



Delaunois Antoine, Yve Ferrie, Marcel Bouche, Carole Colin et Cécile Rionde., 2008. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. Chambre d'agriculture 80, INRA de Montpellier, 37 p.

Didier J et Lameyre J., 1969. Les granites du Massif central français : étude comparée des leucogranites et granodiorites", *Contrib. Mineral. Petrol.* 24, 1969, p. 219-328.

Didier J., Duthou J.L. & Lameyre J., 1982. Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves, *J. Volc. Geotherm. Res.*, vol 14, 1982, p. 125-132.

Duchaufour P., 1983. Pédologie : pédogenèse et classification. Doc. 2ème éd. Masson, Paris, 491p.

Duchaufour Ph., 2001. Introduction à la Science du Sol, végétation, environnement. Dunod, Paris. 331p.

Emmanuel Nomo Negue, Rigobert Tchameni, Olivier Vanderhaeghe, Pierre Barbey, Periclex Martiel Tchunte, Jonas Didero Takodjou Wambo, Brice Yanick Lemdjou, Nicaise Alliance Saha Fouotsa., 2015. Petrography and Geochemistry of the Mbip granitic massif, SW Tcholliré (Central North Cameroon): Petrogenetic and Geodynamic Implication, vol 06 (07) pp. 761-775

FAO (2015). Année internationale des sols. Article publié le 05 Décembre 2014. Consulté le 29 Octobre 2015.

Fopoussi T. J.C; Basga D.S. ; Tematio P. and Nguetnkam J.P., 2018. Effect of trachyte powder, Human urine and Reserved Water from coked Beans on Andosols fertility in Cameroonian Western Highlands. *Asian Journal of soil Science and Plant Nutrition.* 3 (2), Article n°. AJSSPN 41999. 17p.

Forestier J., 1960. Fertilité des sols des caféières en RCA, *Agron. Trop.*, XIV, no 3, pp. 306-348, XV, no 1, pp. 9-37, N° 5, pp. 543-567.

Garcia J., 2008. Poireau de plein champ. Fiche technique. Production peu développée en Languedoc-Roussillon. Chambre d'agriculture du Languedoc-Roussillon. SAFER. Sup Agro,



Montpellier. Synthèse régionale « Alternatives Agricoles à l'arrachage de la vigne ». Partie 2. Fiche poireau. 5p.

Gillmann G. P., 1980. The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, pp. 465-468.

Gillmann G. P., Burkett D. C., Coventry R. J., 2000. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils; effect on cation chemistry. *Aust. J. Soil Res.*, 39, pp.

Hensel J 1890. *Das Leben.* (In German) Verlag Boericke und Tafel, Leipzig, Germany.

Hensel J 1894. *Bread from stones.* AJ Tafel (ed.) Philadelphia, USA.

Huber G and Schaub C., 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. *Agricultures et Territoires.* Chambre d'Agriculture. Bas-Rhin. Service Environnement-Innovation. 46p.

Jean Pierre Nguetnkam; Richard Kamga ;Frederic Villiéras ; Georges Emmanuel Ekodeck ; Jacques Yvon., 2008. Alteration différentielle du granite en zone tropicale. Exemples de deux séquences étudiées au Cameroun (Afrique Centrale) 340(7) pp. 451-461

Jutras G., 2012 : Guide pour l'interprétation d'une analyse de sol : Cours « Fertilisation des sols en agriculture biologique » Cégep de Victoriaville, 100 p ;

Le Gourières D., 1962. Etude du bassin versant du Mayo Mokolo. Yaoundé : IRCAM, 23p ;

Leonardos O.H., Fyfe W.S., Kronberg B.I., 1987. The use of ground rocks in laterite system as improvement to the use of conventional soluble fertilizers. *Chem.Geol.* 60, pp.361370.

Loiselle M C and Wones D R., 1979. Characteristics of Anorogenic Granites. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 11, 468.

Loue A., 1962. Etude des carences et déficiences en potassium, calcium et magnésium chez le caféier.

Martin D., 1979. Fertilité chimique des sols d'une ferme du Congo. *Cah. ORSTOM, Serie Pedal.* XVII, 1: 47-64.

Megueni C., Awono E.T. & Ndjouenkeu R., 2011. Effet simultané de la dilution et de la Contribution du Rhizobium et des mycorhizes sur la production foliaire et les propriétés



physico-chimique des jeunes feuilles de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Applied Biosciences*. Vol 40 : 2668-267.

Mémento de l'agronome, 1984. République française, Ministère des relations extérieures

Mémento de l'agronome, 1993. République Française, ministère de la coopération, réimpression, 5^{ème} Edition, Collection “ Technique rurale en Afrique”, 1635 p.

Memento de l'agronome., 1993. République française, Ministère de la Cooperation, réimpression, 4^{ème} Edition. Collection « Techniques Rurales en Afrique ». 1635p.

MINEPAT (Ministère de l'Economie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire), 2010. La population du Cameroun en 2010 (3è RGPH). Ministère de la Planification et de l'Administration Territoriale. 67 p.

Missoux P., 1853. Emploi de la poudre des roches comme excitant de la végétation.

Morin S., 2000. Géomorphologie- Atlas de la province de l'Extrême Nord Cameroun. Pages

Nguetnkam JP and Dultz S., 2011. Soil degradation in Central North Cameroon: Water Dispersable Clay in relation to surface charge in oxisol A and B horizons. *Soil & Tillage Research* 113 (2011), pp. 38-47.

Nguetnkam JP and Dultz S., 2014. Clay dispersion in typical soils of north Cameroon as a function of pH and electrolyte concentration: *Land Degrad. Develop.*, 10 p.

Nkouathio D.G., Wandji P., Bardintzeff J.M., TEMATIO P., Kagou Dongmo A. & Tchoua F., 2008. Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisations des sols ferrallitiques des régions tropicales. Cas des pyroclastites basaltique du graben de Tombel (ligne volcanique du Cameroun). *Bull. Soc Vaud. Sc Nat. Vol 91 (1): pp 1-14.*

Nyeck B; Bilong P et Eno Belinga S M., 1999. Caractérisation des équilibres cationiques dans les sols et évaluation des terres de la région forestière humide du Cameroun. Site de Zoetélé. Collect. GEOCAM, 2/1999, presses Univers. Yaoundé. 181-187.

Olivry J., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. MESRES, ORSTOM. 733 p.
Program with Abstracts 11, 400.

R. Tchameni, F. Sun, D. Dawai, L. Tékoum, E. Nomo Negue, O. Vanderhaerghe, C. Nzolang, Nguihdama Dagwai., 2015 Zircon dating and mineralogy of the mokong Pan-



African magmatic epidote bearing granite North Cameroon Int Earth Sci (Geol Rundsch) (2016) 105:1811-1830

RESQUAD., 2016. Raisonner la fertilisation magnésienne en prairie. ASBL Centre de Michamps.D.E.R., S.P.W., Wallonie, 13p.

Roch. E 1953. Itinéraires géologiques dans le Nord Cameroun et sud-ouest du territoire du Tchad. Bulletin direction mines géologiques Yaoundé, 112p.

Ruellend A et Dosso M., 1993. Regard sur le sol. Université Francophone. Ed. Foucher Aupelf. 192p.

Segalen P., 1967. Les sols et la géomorphologie du Cameroun. In: cah. ORSTOM, sér.pédol., vol. v, n°2, pp.137-188.

Suchel, J. B., 1987. Les climats du Cameroun Thèse Doc., Univ. Bordeaux II, 3t, 11860 Tanzania-Canada Project. J. Afr. Earth Sci. 9, pp 357-362.

Tatuebu Tchuenguem Fritz., 2018). Erodibilité des sols de Bandjoun (Ouest-Cameroun) et évaluation du potentiel fertilisant des basaltes dans la culture du bananier. Mémoire de Master, Université de Ngaoundéré, 80 p.

Tematio P ; Nyama A B ; Kengni L and Bitom D., 2001. Influence de la mise en culture sur la fertilité des sols en région forestière tropicale humide du Sud Cameroun. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 87.4: 321 335Pp.

Tillement B., 1969. Hydrogéologie du Nord-cameroun Bulletin de la Direction des Mines et de la Géologie. Maroua Fort Fourreau carte hydrogéologique au 1/5000000. Pp 37- 294.

Van Straaten P., Fernandes T.R.C., 1995. Agrogéologie in Eastern and Southern

YAYA F. 2012 contexte géologique et évaluation de l'effet fertilisant de la vivianite d'Anloua. Mémire de Master, Université de Ngaoundere (Cameroun) 92p.

Yaya Fodoué; Nguetnkam J. P; Tchameni R; Basga S. D; Penaye J., 2015. Assessment of the Fertilizing effect of Vivianite on the Growth and yield of the Bean ‘‘ Phaseolus vulgaris’’ of oxisoils of Ngaoundéré (Central North Cameroon), International Research Journal of Earth Sciences, vol. 3(4) pp. 18-26.



annexes.