



RAPPORT D'ANALYSE AGRO-PÉDOLOGIQUE DES SOLS DES SITES CEP DU PROJET ECONORCAM

GOVÉ Arafat & ZIRTED Michael J.

October 2024

Table des matières

Liste des figures	3
Liste des tableaux	4
Acronymes et sigles	4
Résumé exécutif	5
Executive summary	6
Introduction	7
I- Objectifs de l'étude	8
II- Résultats attendus	8
III- Méthodologie (méthodes, techniques et matériels utilisés)	8
III.1- Travaux préliminaires	9
1- Réunion de cadrage	9
2- Préparation et check-list du matériel de terrain	9
III.2- Travaux de terrain	9
1- Focus group en communauté	10
2- Échantillonnage des sols.....	10
2.1- Matériels.....	10
2.2- Repérage de l'espace de travail	10
2.3- Mode opératoire sur les parcelles	10
2.4- Prélèvement proprement dit	10
3- Préparation des sols pour expédition au laboratoire	12
3.1-Matériel	12
3.2-Mode opératoire sur le terrain	12
III.3- Travaux de laboratoire	13
III.4- Traitement des données et interprétation	14

IV- Résultats de l'étude	15
IV.1- Focus group	15
IV.2-Analyses des sols	15
IV.2.1- Évaluation et comparaison des paramètres de fertilité des sols prélevés dans les CEP par rapport aux parcelles témoins	15
a- pH	15
b- Texture	18
c- Éléments minéraux, matière organique et capacité d'échange cationique (CEC)	21
c.1- matière organique	23
c.2- Azote (N)	24
c.3- Phosphore (P)	25
c.4- Potassium (K)	26
c.5- Capacité d'échange cationique (CEC), somme des bases échangeables et taux de saturation	27
IV.2.2- Analyse de l'impact des pratiques agroécologiques sur la restauration des sols dégradés	27
1- Urine humaine	27
2- Microdosage NPK/compost.....	29
3- Compost.....	29
4- Zaï	31
V- Difficultés rencontrées et leçons apprises	31
Conclusion	33
Quelques recommandations	33
Références bibliographiques	34
Annexes (synthèse d'analyse de laboratoire, photos, illustrations, etc.)	35

Liste des figures

Figure 1 : Carte de location des sites étudiés

Figure 2 : Échantillonnage systématique en carroyage et en diagonale

Figure 3 : histogramme de variation du pH des sols dans les différents CEP

Figure 4 : Triangle textural

Figure 5 : Teneur en azote des sols dans certains CEP en comparaison au sol témoin

Figure 6 : Teneur en phosphore assimilable des sols des CEP en comparaison au témoin

Figure 7 : variation de la teneur en potassium des sols de CEP en comparaison aux témoins

Figure 8 : histogramme de variation de la teneur en MO, azote total, phosphore, potassium et CEC des parcelles de CEP comparées au sol témoin dans les sites restaurés à base de l'urine humaine

Figure 9 : Teneur en élément minéraux (N, P, K), CEC et matière organique des sols restaurés au compost en comparaison au sol témoin des différents sites

Figure 10 : Teneur en élément minéraux (N, P, K), CEC et matière organique des parcelles restaurées par la technique de microdosage NPK-compost en comparaison au sol témoin des différents sites

Figure 11 : Teneur en élément minéraux (N, P, K), CEC et matière organique des parcelles restaurées en comparaison au sol témoin des sites restaurés à base de la technique du zaï (associé au compost)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche de collecte d'échantillon de sols au champ

Tableau 2 : Bordereau d'expédition des échantillons au laboratoire

Tableau 3 : Grille d'interprétation des valeurs du pH : Source : PAP, 1976

Tableau 4 : Grille d'interprétation des indices texturaux des sols. Source : PAP, 1976

Tableau 5 : Composition granulométrique des échantillons de sols analysés

Tableau 6 : Critère d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité des sols (SYS, 1993)

Tableau 7 : Synthèse des résultats de laboratoire

Tableau 8 : Grille d'interprétation de la teneur en azote totale des sols (PAP, 1976)

Tableau 9 : Grille d'interprétation de la somme des bases, CEC et Taux de saturation des sols

Annexes

Annexe 1 : Résultats de laboratoire

Annexe 2 : photo focus group en communauté

Annexe 3 : photos déroulement travaux de terrain

Annexe 4 : photos prétraitement et préparation des échantillons pour expédition au laboratoire

Acronymes et sigles

CEP : Champs École Paysans

INS : Institut National des statistiques

EcoNorCam : Écosystème du Nord Cameroun : vers une approche intégrée du paysage

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FODER : Forêts et Développement Rural

PNB : Parc National de la Bénoué

WCS : Wildlife conservation society

CED : Centre pour l'Environnement et le Développement

ZIC : Zone d'Intérêt Cynégétique

Résumé exécutif

Le projet « Écosystème du Nord Cameroun : vers une approche intégrée du paysage » (EcoNorCam), vise, à travers des actions pilotes d'une « approche paysagère » à partir du PNB et de ses environs, à contribuer à l'identification et à la mise en place de solutions durables pour une meilleure gestion des ressources naturelles et des terres. Dans la mise en œuvre de sa composante 3, EcoNorCam apporte un accompagnement efficace aux agriculteurs pour le renforcement de leurs systèmes de production agricole et la préservation de leur écosystème dans la perspective de garantir leur sécurité alimentaire. Dans cette optique, un appui substantiel est apporté aux populations dans les différentes zones d'action de ce projet pour induire une gestion conservatoire et durable de la ressource sol.

C'est ainsi qu'une étude ayant pour objectif, l'évaluation agro pédologique des Champs Écoles Paysans (restaurés par diverses méthodes agro-écologiques) est entreprise. Pour ce faire, il était indispensable de faire une descente dans les différents sites indiqués pour tout d'abord s'entretenir avec les acteurs locaux ayant participé à la mise en place des CEP. Cet entretien avait pour but de recueillir la perception paysanne vis-à-vis des différentes techniques agroécologiques restauratrices implémentées à savoir, l'amendement à l'urine humaine, le zaï, le microdosage d'engrais, l'amendement au compost en guise de démonstration dans les CEP, l'impact réelle de celles-ci sur le rendement des cultures, les difficultés rencontrées afin de juger de la fiabilité et de la facilité d'adoption de ces différentes techniques en milieux paysans. Ensuite procéder, au prélèvement d'horizons culturaux des sols de chaque parcelle traitée pour des analyses en laboratoire. Ces analyses ont permis de mettre en évidence l'effet bénéfique des techniques de restauration en faisant une comparaison des paramètres physico-chimiques des sols témoins de chaque site avec ceux des parcelles ayant fait l'objet de restauration.

Après entretien avec les populations, il ressort de façon globale que, l'application de ces techniques de restauration, améliore grandement le rendement des cultures avec une légère tendance pour les paysans à mieux apprécier le traitement incluant l'urine humaine. Le zaï est une technique tout aussi efficace selon les communautés de Banda et de Dogba mais il présente une contrainte liée à la pénibilité du travail de réalisation de ces derniers sur des grands espaces. Le compost également, bien qu'étant efficace présente des contraintes liées au temps de formulation et la disponibilité en temps voulu et en quantité suffisante de matière première organique (bouses de vaches). Pour ce qui est de l'analyse des sols, elle révèle de façon globale que, le pH des sols prélevés dans les différents CEP varie de fortement acide à faiblement alcalin avec des teneurs en azote faible sur tous les sites avec toutefois quelques variations parcellaires. La teneur en matière organique est appréciable dans la majorité des cas (compris en majorité entre 1.5 et 2%) mais pour ce qui est du phosphore et du potassium, tous les sols prélevés en sont appauvris. Les sols restaurés sont de granulométrie plus fine (argilo-sableuse à limono-sablo argileux), ce qui démontre à suffisance que les différentes techniques de restauration mise en place dans cette localité ont un effet bénéfique sur la texture du sol et par conséquent, améliore la fertilité. En dehors de Agorma, Naari et Ouro-André qui ont des textures grossières à très grossières nécessitant des efforts substantiels pour les rendre plus fine, les autres localités ont des sols à textures acceptables (relativement fines) pouvant permettre de succès de multiples cultures pratiquées dans ces zones.

Executive summary

EcoNorCam (Ecosystem of Northern Cameroon): towards an integrated landscape approach, is a project that, through pilot actions of a "landscape approach" from the PNB and its surroundings, aims to contribute to the identification and implementation of sustainable solutions for better management of natural resources and land. In implementing its component 3, EcoNorCam provides effective support to farmers to strengthen their agricultural production systems and preserve their ecosystem. In this perspective, substantial support is provided to populations in the different zones of action of this project to induce a conservative and sustainable management of soil resources. This is how a study aimed at evaluating the agro-pedological aspects of Farmer Field Schools (restored by various agro-ecological methods) is undertaken. To do this, it was essential to visit the different sites indicated to first interact with local actors who participated in the establishment of the FFS. This interview aimed to collect the peasant perception regarding the different agro-ecological restoration techniques implemented (namely, human urine amendment, zaï, micro-dosing of fertilizers, compost amendment) as a demonstration in the FFS, the real impact of these on crop yields, the difficulties encountered in order to judge the reliability and ease of adoption of these different techniques in peasant environments. Then, proceed to take cultural horizons of the soils of each treated plot for possible laboratory analyses. These analyses made it possible to highlight the beneficial effect of restoration techniques by comparing the physicochemical parameters of witness soils from each site with those of plots that underwent restoration. After interviewing the populations, it appears globally that the application of these restoration techniques greatly improves crop yields with a slight tendency for peasants to better appreciate the treatment including human urine. Zaï is also an effective technique according to the communities of Banda and Dogba but it presents a constraint related to the laboriousness of the work of realization of these on large spaces. Compost is also effective but presents constraints related to the time of formulation and the availability in due time and in sufficient quantity of organic matter (cow dung). As for soil analysis, it reveals globally that the pH of the soils collected in the different FFS varies from strongly acidic to slightly alkaline with low nitrogen content on all sites but some parcel variations are noted. The organic matter content is appreciable in most cases (mostly between 1.5 and 2%) but for phosphorus and potassium, all soils collected are depleted. Apart from Agorma, Naari and Ouro-André which have coarse to very coarse textures requiring substantial efforts to make them finer, the other localities have soils with acceptable texture (relatively fine) allowing for success of multiple crops practiced in these areas. Note: Please let me know if you need any adjustments or modifications to this translation.

Introduction

La dégradation des sols reste une préoccupation mondiale importante, en raison de ses effets néfastes sur la biodiversité, la production agricole et la sécurité alimentaire (FAO, 2001). De vastes zones de sols subsahariens, y compris le Cameroun, sont affectées par divers types de dégradation entraînant le déclin de la fertilité des sols.

Or l'agriculture est le pilier de l'économie camerounaise, elle occupe environ 25% du PIB global, ainsi que plus de 60% de la population active et contribue à la croissance de nombreux autres secteurs de l'économie (INS, 2005 ; World Bank, 2018). Dans la région du Nord-Cameroun, la population est essentiellement rurale (80%). Ceci fait de l'agriculture une activité principale d'où l'accroissement de la pression sur la ressource sol et la baisse de productivité au fil des années faute de mesure de restauration efficace, contraignant la plupart des paysans à vivre sous le seuil de pauvreté.

Le défi du XXIème siècle étant de nourrir une population grandissante sans dégrader l'environnement, il est incontournable de réhabiliter les terres agricoles érodées et polluées car l'augmentation de la production alimentaire doit provenir à 90% des terrains déjà cultivés (FAO, 2003). Il devient donc indispensable de développer des méthodes innovantes visant à restaurer de façon durable la fertilité des sols afin de garantir une sécurité alimentaire sans pour autant polluer l'environnement. C'est ainsi que la conception des techniques appropriées imitant les systèmes naturels devient indispensable.

C'est dans ce sens qu'EcoNorCam apporte un accompagnement efficace aux agriculteurs de la région du Nord pour le renforcement de leurs systèmes de production agricole et la préservation de leur écosystème.

En effet, dans les zones d'intervention de ce projet, la gestion conservatoire des sols est une préoccupation prioritaire dans un contexte où les effets du changement climatique et la surexploitation des parcelles couplée aux techniques culturales inappropriées dégradent sans cesse les sols. Pourtant, l'agriculture intégrée se caractérise par des pratiques de production d'aliment de qualité en utilisant des moyens naturels et des mécanismes régulateurs proches de ceux qui existent dans la nature, pour solutionner l'utilisation abusive des fertilisants chimiques polluants, coûteux et dont le dosage est souvent mal maîtrisé par les producteurs.

FODER formant un consortium avec WCS et CED, a la charge de la mise en œuvre de certaines activités, parmi lesquelles, l'introduction dans les localités environnantes au PNB des pratiques agricoles écologiquement favorables et résilientes au climat pour remédier au problème de dégradation des terres. En effet, des initiatives agroécologiques sous forme d'expérimentations participatives à travers les Champs Ecoles Paysans (CEP) ont été testées et diffusées. Les résultats obtenus et observables permettent de favoriser leur acceptation et leur adoption dans les villages.

Dans le but de promouvoir davantage ces pratiques agricoles, il est nécessaire d'effectuer une analyse pédologique comparative des sols exploités par les bénéficiaires du projet suivant les pratiques climato-intelligentes d'une part et celle des sols témoins d'autre part. L'analyse permettra d'évaluer

comparativement les propriétés physico-chimiques des sols afin de dégager l'effet bénéfique de l'implémentation d'une agriculture intégrée dans les parcelles des bénéficiaires.

I- Objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce travail est d'effectuer une étude pédologique en vue d'évaluer l'impact des efforts de restauration des terres du projet EcoNorCam sur la qualité des sols.

Plus spécifiquement, il s'agira :

- D'effectuer les prélèvements d'échantillons représentatifs des champs où sont appliquées les techniques agroécologiques en particulier dans les parcelles CEP ;
- D'effectuer les prélèvements d'échantillons représentatifs des champs où les techniques agroécologiques n'ont pas été appliquées (en particulier dans les parcelles hors CEP ou parcelles témoins) ;
- De faire une analyse des différents échantillons dans un laboratoire afin de comparer les propriétés chimiques des sols notamment en termes d'éléments minéraux fertilisants ;
- De faire une analyse de l'impact des pratiques agroécologiques sur la restauration des sols dégradés.

II- Résultats attendus

- L'échantillonnage des sols sur les parcelles CEP où sont appliquées les techniques agroécologiques ont été effectués,
- L'échantillonnage des sols sur les parcelles témoins où les techniques agroécologiques n'ont pas été appliquées ont été effectués,
- Une analyse des différents échantillons est faite au laboratoire et une comparaison des propriétés physicochimiques des sols sont également faite,
- Une analyse de l'impact des pratiques agroécologiques sur la restauration des sols dégradés est faite.

III- Méthodologie (méthodes, techniques et matériels utilisés)

La démarche méthodologique reposait sur quatre phases à savoir les travaux préliminaires, les travaux de terrain (échange avec les paysans et échantillonnage des sols des CEP), les travaux de laboratoire et enfin les travaux de traitement des données collectées sur le terrain et en laboratoire. Ces travaux ont permis d'identifier et d'évaluer les parcelles ayant fait l'objet de restauration, d'avoir une idée sur l'efficacité des différentes méthodes employées et de dégager les recommandations adaptées à chaque situation.

III.1- Travaux préliminaires

1- Réunion de cadrage

A l'issue de cette réunion qui s'est tenue en date du 14/06/2024, l'on a débattu du protocole proposé afin de mieux l'adapter au contexte actuel dans les CEP. Il était question tout d'abord de présenter et expliquer le protocole au panel constitué des membres du consortium (CED, FODER, WCS...) en charge de l'exécution du projet EcoNorCam. Ensuite de redéfinir l'échantillon de l'étude pour mieux l'adapter aux réalités du terrain, ceci après discussion avec les différentes parties prenantes du projet EcoNorCam.

2- Préparation et check-list du matériel de terrain

Cette phase a consisté après achat du matériel, à une vérification de leur état. Pour ce qui est des appareils, il était question de bien vérifier leur fonctionnalité. En suite bien ranger le tout dans un même trousseau pour ne rien oublier le jour de la descente sur le terrain.

III-2- Travaux de terrain

Les travaux de terrain se sont déroulés en période pluviale, du 24 juin 2024 au 1^{er} juillet 2024. 08 sites ont fait l'objet de cette étude à savoir Waffango, Pani et Larki dans la ZIC 9, Banda dans la ZIC 1, Dogba dans la ZIC 4, Nari et Agorma dans la ZIC 7, Ouro André dans la ZIC 8.

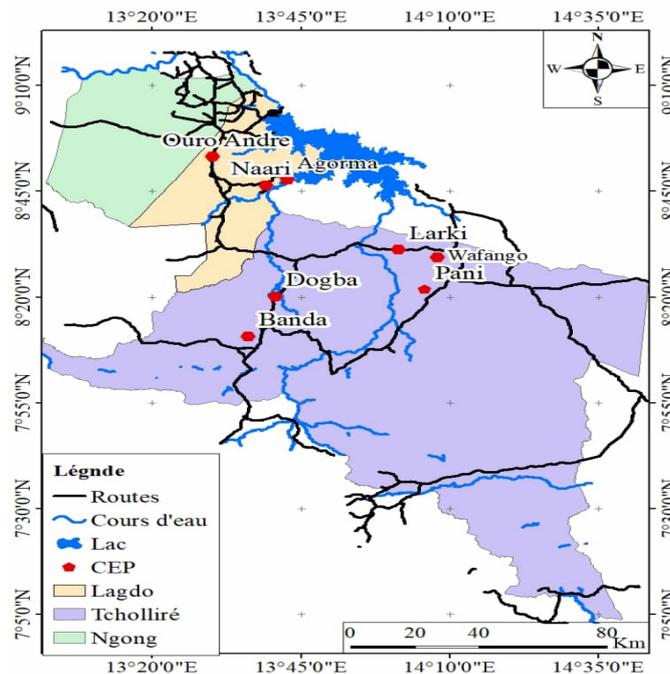


Figure 1 : Carte de location des sites étudiés

1- Focus group en communauté

Des entretiens dans chaque village avec les principaux acteurs locaux du projet EcoNorCam était nécessaire pour avoir une idée sur leur perception concernant l'efficacité des techniques de restauration implémentées dans les CEP. Ces entretiens ont eu lieu dans chaque village juste avant les prélèvements des sols, et portait beaucoup plus sur la facilité d'adoption des différentes techniques, les effets réels de celles-ci sur le rendement des cultures, les difficultés rencontrées. Tout ceci a été possible grâce aux facilitateurs de FODER, qui nous ont accompagnés et introduit en communauté.

2- Échantillonnage des sols

2.1- Matériels

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des sols sur le terrain est le suivant : un GPS pour noter les positions géographiques des sites d'échantillonnage, une tarière avec une marque à 20 cm de profondeur pour prélever le sol, un seau ou bassine pour récupérer la terre lors des prélèvements et mélanger pour avoir les échantillons composites, des sachets plastiques pour le conditionnement des échantillons, un marqueur, du papier et crayon pour l'étiquetage dans échantillons. Un fichier Excel de saisie des données avec les informations suivantes : code parcelle, nom du village, coordonnées géographiques, état actuel de la parcelle a été préconçu pour noter les informations sur chaque échantillons prélevé dans chaque parcelle avant d'envoyer en laboratoire.

2.2- Repérage de l'espace de travail

Dans chaque village, un facilitateur de FODER, un guide et quelques acteurs locaux ayant participé à la mise en place du CEP étaient indispensables pour nous conduire dans les parcelles indiquées.

2.3- Mode opératoire sur les parcelles

Il était question de parcourir tout l'espace de travail défini pour le jour, bien observer le sol en notant les variabilités parcellaires (couleurs, présence de gravillons, présence d'affleurements rocheux, stagnation d'eau...). Définir les mailles d'échantillonnage en fonction de l'homogénéité du sol (0,125ha, 0,25ha, 0,5ha, 1ha...). Pour chaque maille définie, effectuer un prélèvement de sol entre 0-20 cm (horizon cultural).

2.4- Prélèvement proprement dit

A l'aide d'une tarière, il était question d'effectuer plusieurs carottages par prélèvement :

- 5 à 6 pour une parcelle correspondant à un traitement particulier (1 000 m²) ou moins selon l'homogénéité du site.

Les carottages ont été réalisées le long des pourtours et des deux diagonales de la parcelle, tous les 9 mètres environ. Puis l'on a récupéré toute la terre prélevée dans une bassine ou un seau.

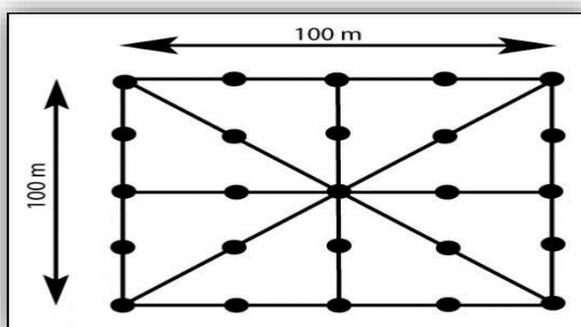


Figure 2 : Échantillonnage systématique en carroyage et en diagonale

Ensuite, il était nécessaire de bien mélanger la terre prélevée et procéder à l'ensachage en prélevant environ 1 Kg. L'on a doublé les sachets pour éviter les accidents lors des prochaines manipulations. Sur le sachet extérieur et en bas, l'on a indiqué : le village, le code de la parcelle et la date de prélèvement. L'on a également mis les mêmes indications sur un morceau de papier noté au crayon que l'on a placé entre les deux sachets. Ensuite l'on a fermé les sachets correctement pour qu'il n'y ait pas de perte de terre en évacuant l'air à l'intérieur, sans serrer exagérément trop fort.

Tableau 1 : Fiche de collecte d'échantillon de sols au champ

	Village	Code parcelle	Désignation	Date du prélèvement
01	Wafango	WAF-Ur	Urine	24/06/2024
02	Wafango	WAF-Co	Compost	24/06/2024
03	Wafango	WAF-Md	Microdosage d'engrais	24/06/2024
04	Wafango	WAF-T	Témoin	24/06/2024
05	Pani	PAN-Co	Compost	25/06/2024
06	Pani	PAN-Ur	Urine	25/06/2024
07	Pani	PAN-Md	Microdosage	25/06/2024
08	Pani	PAN-T	Témoin	25/06/2024
09	Larki	LAR-T	Témoin	26/06/2024
10	Larki	LAR-Ur	Urine	26/06/2024
11	Larki	LAR-Co	Compost	26/06/2024
12	Larki	LAR-Md	Microdosage d'engrais	26/06/2024
13	Banda	BAN-Z	Zaï	27/06/2024
14	Banda	BAN-Md	Microdosage d'engrais	27/06/2024
15	Banda	BAN-Co	Compost	27/06/2024
16	Banda	BAN-T	Témoin	27/06/2024
17	Dogba	DOG-Md	Microdosage d'engrais	28/06/2024
18	Dogba	DOG-Co	Compost	28/06/2024
19	Dogba	DOG-Z	Zaï	28/06/2024

20	Dogba	DOG-T	Témoin	28/06/2024
21	Nari	NAR-Co	Compost	29/06/2024
22	Nari	NAR-T	Témoin	29/06/2024
23	Ouro-André	OUR-Ur	Urine humaine	30/06/2024
24	Ouro-André	OUR-Co	Compost	30/06/2024
25	Ouro-André	OUR-Md	Microdosage d'engrais	30/06/2024
26	Ouro-André	OUR-T	Témoin	30/06/2024
27	Agorma	AGO-Co	Compost	1er/07/2024
28	Agorma	AGO-T	Témoin	1er/07/2024
29	Agorma	AGO-Md	Microdosage d'engrais	1er/07/2024

3- Préparation des sols pour expédition au laboratoire

3.1-Matériel

Gaine plastique, plateau de séchage, thermo-soudeuse, ciseau, papier cartonné.

3.2-Mode opératoire sur le terrain

Sur une bande de papier cartonné de longueur inférieure à la largeur de l'emballage plastique et de 2 cm environ de hauteur, l'on a indiqué le code de la parcelle et la date de prélèvement, puis le numéro de l'échantillon au verso.

L'on a ensuite versé la terre fine dans l'emballage plastique, glisser l'étiquette, puis fermer par le haut.

Il était également impératif de remplir le bordereau d'expédition des échantillons dans l'ordre, de bien vérifier le nombre d'échantillons et leurs codes. C'est le seul moyen de relier aisément les données de terrain et les données d'analyse en laboratoire.

Tableau 2 : Bordereau d'expédition des échantillons au laboratoire

	Code parcelle	Date du prélèvement
01	WAF-Ur	24/06/2024
02	WAF-Co	24/06/2024
03	WAF-Md	24/06/2024
04	WAF-T	24/06/2024
05	PAN-Co	25/06/2024
06	PAN-Ur	25/06/2024
07	PAN-Md	25/06/2024
08	PAN-T	25/06/2024
09	LAR-T	26/06/2024
10	LAR-Ur	26/06/2024
11	LAR-Co	26/06/2024
12	LAR-Md	26/06/2024
13	BAN-Z	27/06/2024
14	BAN-Md	27/06/2024
15	BAN-Co	27/06/2024
16	BAN-T	27/06/2024
17	DOG-Md	28/06/2024

18	DOG-Co	28/06/2024
19	DOG-Z	28/06/2024
20	DOG-T	28/06/2024
21	NAR-Co	29/06/2024
22	NAR-T	29/06/2024
23	OUR-Ur	30/06/2024
24	OUR-Co	30/06/2024
25	OUR-Md	30/06/2024
26	OUR-T	30/06/2024
27	AGO-Co	1er/07/2024
28	AGO-T	1er/07/2024
29	AGO-Md	1er/07/2024

III.3- Travaux de laboratoire

Les échantillons de sols collectés sur le terrain ont été acheminés au laboratoire des sols de l'IRAD de Garoua pour y subir les opérations de prétraitement et d'analyse granulométrique.

Le prétraitement a consisté au séchage des échantillons de sols à l'air libre, au broyage à l'aide du mortier du pédologue et enfin au tamisage à l'aide d'un tamis de maille 2mm. Une partie de ces échantillons est convenablement emballée, conditionnée et étiquetée pour expédition au laboratoire des sols de l'IITA à Yaoundé.

La détermination de la texture du sol a été fait selon la méthode de la pipette de Robinson. L'analyse granulométrique (ou texture) a débuté par un procédé de destruction de la matière organique contenue dans les échantillons de sol. Ce procédé a consisté à peser dans un bécher, 20g de sol tamisé à 2mm, puis ajouter 30 ml d'eau distillée pour humectation, ensuite ajouter 30ml de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et mélanger le contenu du bécher doucement en utilisant la tige de verre, laisser reposer pendant 3 heures de temps. Ensuite, placer l'ensemble sur une plaque chauffante et agiter jusqu'à ce que la réaction effervescente disparaisse. Après ce procédé, il était nécessaire de faire un lavage humide (eau distillée) de l'échantillon en le faisant passer sur un tamis de maille 63 micron pour séparer les particules de limons + argiles des sables. Le liquide obtenu après lavage et ayant traversé le tamis est transvasé dans une éprouvette portant un trait de jauge indiquant un volume limite d'1L. L'on a ajouté 25ml de solution dispersante (hexamétaphosphate de sodium) et complété l'ensemble avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. L'on a ensuite, bien secoué l'ensemble et prélevé dans un godet le surnageant à l'aide de la pipette de Robinson. Ce surnageant contient les particules d'argiles et de limons. L'éprouvette a été laissée au repos pendant 6hr 49min et un dernier prélèvement des argiles uniquement a été effectué. L'ensemble des particules prélevées à savoir les sables, les argiles + les limons et enfin les argiles a été séché à l'étuve à 105°C puis pesé. Les données brutes feront l'objet de calcul pour la détermination exacte de la composition granulométrique de chaque échantillon de sol.

Les échantillons expédiés au laboratoire des sols de l'IITA à Yaoundé, ont fait l'objet des analyses suivantes :

- Détermination du potentiel d'hydrogène (**pH**),
- Détermination de la capacité d'échange cationique (**CEC**),
- Détermination de la teneur en carbone organique (**CO**),
- Détermination de la teneur en azote totale (**N**),
- Détermination de la teneur en bases échangeables : potassium (**K**), magnésium (**Mg**), calcium (**Ca**), sodium (**Na**),
- Détermination de la teneur en Phosphore assimilable (**P.ass**)

Des résultats d'analyse de la teneur en Carbone et de la CEC ont été respectivement déduits :

- La teneur en matière organique (**MO**) a été obtenue en faisant le produit du pourcentage de carbone du sol et du facteur de conversion et de la constante 1,724 à travers la formule :

$$\text{MO} = \%C \times 1,724$$

- Le taux de saturation en bases a été calculé selon la formule suivante $V = (S/T) \times 100$ avec T pour C.E.C, V pour taux de saturation et S pour somme des bases échangeables

Résumé des méthodes utilisées au laboratoire des services analytiques de références de l'IITA

Des sols tamisés à 2mm ont été soumis au laboratoire pour analyse. Pour la détermination du carbone et de l'azote, les sols ont été finement broyés pour passer au travers d'un tamis de maille 0.5mm. Le pH eau du sol est déterminé dans une suspension sol : eau de 1/5 (p/v). Le carbone organique est déterminé par digestion à l'acide chromique et analyse spectrophotométrique (Headed, 1984). L'azote total a été déterminé par digestion à l'acide humique (Buondonno et al., 1993). Le phosphore disponible a été extrait en utilisant la procédure Bray1 décrite par Murphy et Riley (1962). Les cations échangeables (Ca, Mg, K et Na) ont été extrait avec l'acétate d'ammonium à pH 7 et analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique (AAS). La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée en utilisant la procédure à l'acétate d'ammonium.

III.4- Traitement des données et interprétation

L'analyse des données a été réalisé à l'aide du logiciel Excel et a consisté tout d'abord en une comparaison des paramètres physico-chimiques des échantillons de sol prélevés sur les parcelles de CEP (restaurées) par rapport aux sols témoins choisis sur chaque site et tout ceci avec pour base les normes proposées par **PAP (1976)** pour l'interprétation des valeurs des différents paramètres de sol après analyse, pour dégager la différence entre les parcelles restaurées et celle servant de témoin. Ensuite le document de **SYS (1993)** a servi de base pour l'évaluation des terres (le potentiel fertilisant

de chaque parcelle est précisé selon le principe d'appréciation des différentes limitations qu'il présente). Et enfin, la comparaison des données de parcelles restaurées avec celle servant de témoin sera aisément réalisée.

Le logiciel Excel nous a permis de réaliser des histogrammes de comparaison des paramètres de sol.

IV- Résultats de l'étude

IV.1- Focus group

Il ressort de l'entretien avec les principaux acteurs locaux que dans les différents CEP parcourus, ceux de Wafango, Pani, Larki, et Ouro-André ont fait l'objet d'implémentation de trois techniques avec rotation sur les mêmes parcelles au fil des années à savoir l'application de l'urine humaine, puis l'application du compost et en fin l'application du microdosage d'engrais chimique associé au compost. Tandis qu'à Banda et Dogba, le zaï a remplacé le traitement à l'urine. A Agorma par contre, seul le traitement au compost et le microdosage des engrais chimiques associé au compost ont été testés. En fin, à Naari seul le compost a été utilisé comme amendement.

De façon globale, les parcelles traitées à l'urine humaine se sont particulièrement démarquées en termes de rendement selon les dires des producteurs, mais le plus gros souci se trouve dans la disponibilité en quantité suffisante de cette ressource fertilisante. Les parcelles traitées au compost dans certain site ont également fait leur preuve en boostant de façon considérable le rendement des cultures. A l'exemple de la localité d'Ouro-André, l'application du compost a doublé le rendement du maïs. Le Zaï par contre bien qu'étant efficace pour la rétention en eau et pour le maintien de l'humidité du sol n'en reste pas moins une technique difficile à réaliser sur des grands espaces à cause de la pénibilité du travail de mise place (Témoignage de la population de Banda).

IV.2-Analyses des sols

IV.2.1- Évaluation et comparaison des paramètres de fertilité des sols prélevés dans les CEP par rapport aux parcelles témoins

a- pH

Le pH (potentiel d'hydrogène) d'un sol permet de juger de son degré d'acidité et de sa fertilité. La plupart des végétaux sont à l'aise dans des sols dont le pH est compris entre 6 et 7.5 soit proche de la neutralité

Tableau 3 : Grille d'interprétation des valeurs du pH : Source : PAP, 1976

< 4,5	Extrêmement acide ;
[4,5 – 5,0]	Très fortement acide
[5,1 – 5,5]	Fortement acide

[5,6 – 6,0]	Moyennement acide
[6,1 – 6,5]	Faiblement acide
[6,6 – 7,3]	Neutre
[7,4 – 7,6]	Légèrement alcalin
[7,7 - 8,4]	Modérément alcalin
[8,5 - 9,0]	Fortement alcalin
> 9,1	Très fortement alcalin



Figure 3 : histogramme de variation du pH des sols dans les différents CEP

-A Wafango, le pH du sol témoin (moyennement acide) est légèrement supérieur au pH des sols restaurés. On enregistre parmi les sols restaurés la meilleure valeur du pH avec le traitement au compost. Cette valeur de pH élevée du sol témoin par rapport aux sols restaurés s'expliquerait par le fait qu'il y'ait un déséquilibre entre le niveau d'exploitation des parcelles de CEP et les efforts de restauration employés. Il se pourrait également que la parcelle témoin choisi soit une parcelle laissée en jachère pendant un bout de temps, ce qui a permis à celle-ci de se reconstituer tandis que les parcelles de CEP sont exploitées chaque année.

-A Pani, toutes les parcelles restaurées ont un pH élevé 6.36 à 6.93 (de faiblement acide à neutre) par rapport au sol témoin. Cela témoigne de l'efficacité des techniques de restauration des sols dans cette localité. La meilleure valeur de pH est obtenue avec le traitement à l'Urine (pH=6.93).

-A Larki, les valeurs de pH sont presque similaires pour tous les traitements sauf pour la parcelle traitée au microdosage d'engrais. Ce qui nous interpelle à redoubler d'effort dans la restauration de ces parcelles. Toutes les parcelles sont dans la gamme faiblement acide, ce qui

ne constitue pas une limitation majeure pour l'implémentation de la plupart des spéculations pratiquées dans cette zone.

-A Banda, bien que la valeur du pH des sols de toutes les parcelles soit basse (fortement acide), les parcelles restaurées ont un pH élevé par rapport au témoin. Le pH le plus élevé est enregistré à partir du traitement au compost (pH=5.46). On peut conclure que, les efforts fournis pour restaurer ces sols ne sont pas négligeables mais il faut mettre en place des techniques appropriées pour d'avantage redresser le pH de ces derniers.

-A Dogba également, la valeur du pH des sols sur toutes les parcelles est basse avec par contre dans ce cas, une valeur de pH du sol témoin plus élevée que celles des parcelles restaurées (5.29, 5.37 et 5.03 respectivement pour les traitements ayant reçu des microdosages compost-NPK, le traitement au compost et le Zaï et 5,43 pour le traitement témoin) La différence réside certainement dans le niveau d'exploitation des différentes parcelles.

-A Nari où seul le traitement au compost a été réalisé, on constate que les sols ne présentent pas de limitation concernant de pH. Le témoin comme la parcelle restaurée est dans la gamme de pH neutre. Mais la parcelle témoin a un pH légèrement supérieur à la parcelle restaurée. Nous pouvons conclure que l'application de ces techniques de restauration a amélioré les valeurs des pH dans ce site.

-A Ouro-André, le sol étant très sableux, l'apport de compost a été une solution très efficace dans le redressement du pH. On enregistre une valeur spectaculaire du pH avec le traitement au compost (légèrement alcalin, pH=7.57) suivi du microdosage d'engrais chimique et du compost (pH=5.61). Le traitement à l'urine a une légère tendance à baisser le pH du sol de cette localité sans toutefois le ramener à une valeur inquiétante.

-A Agorma, le pH des sols est dans la gamme moyennement acide. Le pH des sols restaurés est inférieur au sol témoin. Le sol de cette zone ne présente pas de limitation en ce qui concerne le pH. Mais si des efforts allant dans le sens d'hausser le pH sont employés, les résultats seront certainement meilleurs.

De façon globale, le pH des sols dans les différents sites est en majorité fortement acide mais reste encore dans la gamme de pH pouvant permettre le succès de presque toutes les spéculations que l'on peut envisager cultiver dans ces zones. Toutefois, il serait judicieux de mettre en place des techniques appropriées pour le redressement du pH des sols des CEP tels

que Waffango et Banda là où l'on enregistre les pH les plus bas (virant vers les valeurs marginales). Ces valeurs de pH basse à Waffango et Banda peuvent être dû à la surexploitation des sols de CEP par rapport aux témoins choisis.

Les valeurs de pH basses exposent le sol aux risques de dysfonctionnement énormes tels que la mauvaise structuration favorisant la désagrégation physique, la réduction de l'activité biologique et la diminution de la capacité d'échange cationique favorisant la dégradation chimique. L'application des techniques de restauration dans les CEP a pu dans la majorité des cas, améliorer le pH des sols en les rapprochant légèrement de la neutralité.

b- Texture

La texture d'un sol nous renseigne sur la répartition granulométrique de ses constituants. C'est la proportion entre les petites particules (argiles), celles de taille moyenne (limons) et celles de grande taille (sables $\leq 2\text{mm}$). Elle apporte des informations utiles à la gestion de l'eau et des fertilisants. Un sol très sableux draine vite de l'eau par rapport au sol argileux. Un sol est d'autant plus fertile qu'elle est constituée de particules de granulométrie fine. Mais attention, un sol avec une texture extrêmement fine peut présenter une contrainte liée à sa densité élevée ne permettant pas une bonne aération pour faciliter le développement racinaire, ce type de sol peut également avoir des problèmes de stagnation d'eau en surface.

Tableau 4 : Grille d'interprétation des indices texturaux des sols. Source : PAP, 1976

N°	Texture	Indice	Texture fine
1	A et AL	A	Texture très fine
2	AS LA et LAf	E	Texture fine
3	LAS, L et Lf	M	Texture moyenne
4	LS et Lf	N	Texture moyenne grossière
5	SL	S	Texture grossière
6	S	Z	Texture moyenne très grossière

Tableau 5 : Composition granulométrique des échantillons de sols analysés

	% Sable	% Limon	% Argile	Somme
WAF-Ur	72,27	6,08	21,65	100,00
WAF-Co	74,63	8,68	16,69	100,00
WAF-Md	72,96	9,52	17,52	100,00
WAF-T	77,04	5,81	17,15	100,00
PAN-Co	41,26	32,11	26,62	100,00
PAN-Ur	44,46	32,49	23,04	100,00
PAN-Md	40,92	41,73	17,35	100,00
PAN-T	39,72	21,13	39,15	100,00

LAR-T	61,24	11,63	27,13	100,00
LAR-Ur	57,13	12,56	30,31	100,00
LAR-Co	55,86	19,84	24,30	100,00
LAR-Md	57,42	21,29	21,29	100,00
BAN-Z	44,18	26,79	29,02	100,00
BAN-Md	41,28	21,31	37,41	100,00
BAN-Co	53,88	24,40	21,72	100,00
BAN-T	46,28	24,99	28,73	100,00
DOG-Md	49,15	18,60	32,24	100,00
DOG-Co	51,88	13,21	34,91	100,00
DOG-Z	57,64	16,61	25,75	100,00
DOG-T	64,85	14,38	20,77	100,00
NAR-Co	79,34	8,70	11,96	100,00
NAR- T	80,73	8,51	10,76	100,00
OUR- Ur	82,12	2,78	15,10	100,00
OUR- Co	81,60	8,54	9,85	100,00
OUR-Md	85,24	4,92	9,84	100,00
OUR-T	80,93	7,37	11,69	100,00
AGO-Co	68,81	15,11	16,0773196	100,00
AGO-T	77,00	6,85	16,1582738	100,00
AGO-Md	72,74	12,01	15,26	100,00

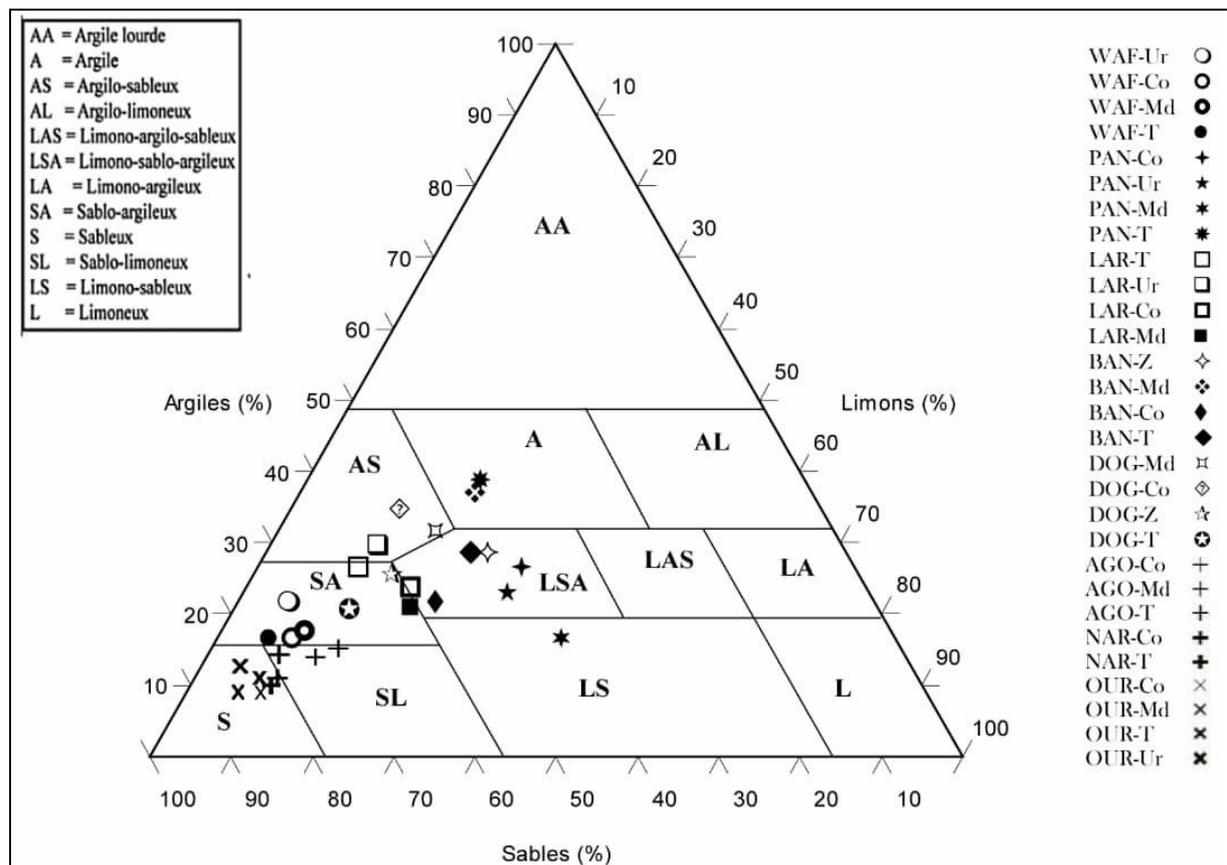


Figure 4 : Triangle textural

Les sols prélevés à Wafango ont toutes une texture sablo-argileuse mais le sol témoin a une proportion de sable plus élevée que les sols restaurés. Ce qui laisse croire que les efforts de restauration ont porté des fruits en améliorant la texture du sol surtout pour le cas de l'utilisation du microdosage NPK-compost et du compost.

A Pani, par contre la texture du sol témoin (argileuse) paraît nettement plus fine que les sols restaurés ayant des textures variant entre limono-sableuse et limono-sablo-argileuse. Ceci pourrait être dû à la surexploitation des sols sous technique de restauration.

A Larki, la texture des sols oscille entre sablo-argileux, argilo-sableux et limono-sablo-argileux. Le sol témoin est de texture à dominance sablo-argileuse témoignant d'une proportion élevée de sable. Les sols restaurés sont de granulométrie plus fine (argilo-sableuse à limono-sablo argileux), ce qui démontre à suffisance que les différentes techniques de restauration mise en place dans cette localité ont un effet bénéfique sur la texture du sol et par conséquent, améliore la fertilité.

Les sols prélevés à Banda ont une texture variant entre limono-sablo-argileuse et argileuse. Le sol témoin a une texture limono-sablo-argileuse tout comme les sols ayant été restauré au compost et au zaï (+compost) tandis que le sol ayant reçu le traitement au microdosage (NPKcompost) a une texture argileuse. Le traitement au microdosage (NPK-compost) est donc la technique qui réussit le mieux dans la localité de Banda.

A Dogba, tous les sols prélevés sont dans les phases sablo-argileuses et argilo-sableuses selon les proportions de sable et d'argile. Le sol témoin est sablo-argileux (le sable domine sur l'argile) tandis que les sols restaurés au compost et au microdosage (NPK-compost) sont argilosableuses (l'argile domine sur le sable). La restauration des sols induit une amélioration nette de la texture des sols en la rendant plus fine et par conséquent propice au développement de la quasi-totalité des spéculations que l'on peut envisager cultiver dans cette zone.

A Agorma, tous les sols sont dans la gamme sablo-limoneuse mais la proportion de sable est plus élevée dans le sol témoin par rapport aux sols restaurés. Ces sols ont une texture grossière et nécessite plus d'effort pour les rendre encore plus fine et adapter aux cultures que l'on peut envisager dans la zone.

A Naari et Ouro-André, on retrouve les sols les plus sableux parmi les localités étudiées. La texture de ces sols est très grossière et par conséquent très bien drainé si bien que les matières

nutritives sont très facilement lessivées laissant le sol avec un aspect squelettique. Les sols témoin ont des textures plus sableuses que les parcelles restaurées. Ce qui témoigne du fait que les techniques de restauration implémentées améliorent la texture des sols mais il y'a encore à pour que ces sols acquièrent une texture plus fine. On peut citer entre autre, l'enrichissement du sol par l'utilisation du vermicompost et du compost ménager enrichi à base de fiente de poules et si possible de poudre de roches volcaniques. Néanmoins, les cultures peu exigeantes telles que les légumineuses peuvent y prospérer en apportant une dose réduite de fertilisant.

De manière globale, la texture des sols en dehors de Naari et Ouro-André sont acceptables au regard des efforts de restauration fournis. L'on peut donc envisager tout type de culture adaptée aux conditions climatiques de ces zones sans risque de s'inquiéter de ce paramètre. Il serait préférable d'introduire les légumineuses dans les assolements pratiqués dans les différentes localités des CEP et surtout dans les localités de Naari et Waffango.

c- Éléments minéraux, matière organique et capacité d'échange cationique (CEC)

Le tableau 1 ci-dessous montre les teneurs en éléments minéraux, matière organique et les bases des huit CEP étudiés et pour toutes les techniques de restauration des sols appliquées (y compris les témoins).

La couleur des cellules indique une appréciation du taux ou de la teneur (faible, soit moyenne ou élevé) des paramètres analysés selon la légende ci-dessous.

-  Teneurs faibles
-  Teneurs moyennes
-  Teneurs élevées

Tableau 6 : Critère d'évaluation des classes de limitation des niveaux de fertilité des sols (SYS, 1993)

Limitations	Faibles	Modérées	Sévères	Très sévères
MO (%)	> 2	1-2	< 1	< 0,5
N (%) à pH 6	> 0,08	0,045-0,08	< 0,045	< 0,03
P. ass. Bray 1	> 20	10-20	< 10	< 5
K (méq/100g de sol)	> 0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,1
Somme des bases (S) (méq/100g de sol)	> 10	5-10	< 5	< 2
Saturation en base (%)	> 60	40-60	< 40	< 15
C.E.C (méq/100g de sol)	> 25	10-25	< 10	< 5

Tableau 7 : synthèse des résultats de laboratoire

Villages	Traitements	MO (%)	Total N (%)	Bray P (ppm)	K (méq/100g)	CEC (cmol/kg)	Somme des bases (cmol/kg)	Taux de Saturation
Wafango	Urine	1,6205	0,3508	2,37	0,139	4,11	2,89	70,17
	Compost	1,7967	0,4631	2,37	0,102	4,20	3,56	84,85
	Microdosage compost-NPK	1,3278	0,4511	1,58	0,062	3,31	2,43	73,40
	Témoin	1,3263	0,3143	1,74	0,051	2,72	1,93	70,95
Pani	Urine	1,5462	0,3388	8,45	0,114	6,13	6,01	97,21
	Compost	1,5748	0,3521	6,12	0,122	6,18	6,03	98,34
	Microdosage compost-NPK	1,4817	0,3448	1,74	0,097	5,77	5,54	95,96
	Témoin	1,534	0,3368	2,37	0,092	5,66	5,49	96,99
Larki	Urine	1,3782	0,3381	1,58	0,110	5,28	3,69	88,32
	Compost	1,3502	0,3328	1,90	0,115	4,45	4,42	83,72
	Microdosage compost-NPK	1,2176	0,519	2,05	0,120	3,75	4,05	90,96
	Témoin	1,2936	0,2787	1,74	0,105	4,18	3,38	90,00
Banda	Zaï	2,226	0,6931	1,58	0,131	6,56	4,37	66,68
	Compost	2,2175	0,7892	2,37	0,134	5,88	5,06	76,59
	Microdosage compost-NPK	2,0705	0,6485	1,58	0,121	6,60	3,72	63,25
	Témoin	2,1571	0,7412	1,43	0,120	6,05	3,95	65,30
Dogba	Zaï	1,5513	0,3875	1,10	0,066	3,73	4,48	70,32
	Compost	2,0705	0,5359	1,11	0,087	4,96	3,37	67,86
	Microdosage compost-NPK	3,3594	0,8836	1,43	0,094	6,37	2,58	69,16
	Témoin	1,3094	0,3905	1,11	0,080	3,08	2,21	71,88
Nari	Compost	1,1842	0,5701	10,62	0,202	4,38	4,12	94,15
	Témoin	1,9047	0,7438	21,72	0,348	4,46	4,28	95,92
Ouro-André	Urine	2,239	0,7512	2,21	0,074	1,65	0,77	46,60
	Compost	1,0941	0,606	24,46	0,292	6,86	6,48	94,54
	Microdosage compost-NPK	2,2573	0,8008	2,99	0,063	1,73	0,94	54,26
	Témoin	1,0986	0,3186	1,74	0,036	2,11	1,00	47,33
Agorma	Compost	0,9305	0,2778	2,68	0,167	2,53	2,11	83,41
	Microdosage compost-NPK	1,1115	0,2952	2,52	0,123	2,68	2,22	95,12

	Témoin	1,0074	0,2778	6,12	0,163	2,33	2,04	76,23
--	--------	--------	--------	------	-------	------	------	-------

c.1- matière organique

Selon Sys (1993), les valeurs normatives de la matière organique dans le sol sont les suivantes :

- Moins de 1% : faible 
- De 1 à 1,5% : moyenne 
- Plus de 1,5% : Forte 

Tous les sols analysés ont des teneurs soit normales ou élevés en matière organique (MO). On observe qu'elle a des valeurs élevées dans les parcelles où l'on a appliqué les techniques de restauration agroécologiques (apport en composte et Zaï). La matière organique dans le sol assume de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales. Elles assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin, elles stimulent l'activité biologique, elle a un rôle central dans la structuration du sol et participe à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique, elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau, etc. En conclusion, concernant ce paramètre très important, les sols des différents sites de CEP ne présentent pas de limitation et sont par conséquent favorables pour l'agriculture; toutefois, l'on peut signaler que l'application des techniques de restauration dans ces CEP a nettement amélioré la teneur en matière organique des sols.

c.2- Azote (N)

Tableau 8 : grille d'interprétation de la teneur en azote totale des sols (PAP, 1976)

Valeur de l'Azote totale (g/Kg)	Interprétations
2-3‰	Riche en azote
1-2‰	Moyennement riche en Azote
-1‰	Faiblement faible en azote

Les résultats d'analyse en laboratoire montrent que tous ces sols ont des teneurs faibles en azote. Aussi bien dans les parcelles témoins que les parcelles restaurées. Plusieurs travaux corroborant ces résultats ont également démontré des teneurs faibles en azote dans les sols du Nord Cameroun en général (Guibert 2015, inédit).

Cependant, dans la quasi-totalité des sites, les techniques de restauration des sols appliquées dans les CEP ont amélioré de façon non négligeable la teneur des sols en azote mais ne les ont pas pour autant ramenés aux valeurs normales. Ces résultats peuvent être observés sur la figure 5 ci-dessous :

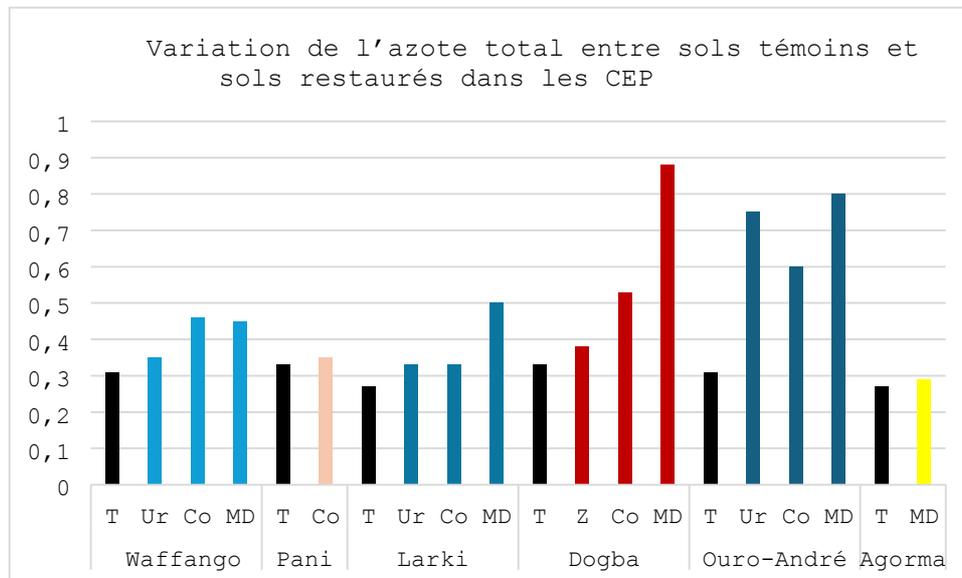


Figure 5 : Teneur en azote des sols de CEP en comparaison au sol témoin de chacun de ces sites

T : parcelle témoin

Ur : Traitement à l'urine humaine

Co : Compost

MD : Microdosage NPK-Compost

Au regard de ces résultats, la restauration des sols par ces différentes techniques améliorent de façon non négligeable la quantité d'azote dans le sol. L'application des techniques agroécologiques de restauration des sols dans les différents CEP pendant cette courte période (un an ou deux) n'a pas pu totalement rectifier cette carence très marquée en azote. Il serait donc judicieux de poursuivre les activités de restauration de ces parcelles pendant une période d'au moins cinq ans, et ceci en doublant si nécessaire les doses de fertilisants naturels. Il est fortement conseillé dans ce cas d'apporter au sol progressivement cet élément en quantité suffisante pour répondre aux exigences des plantes. Il est également conseillé de pratiquer des rotations de culture en intégrant les légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique.

c.3- Phosphore (P)

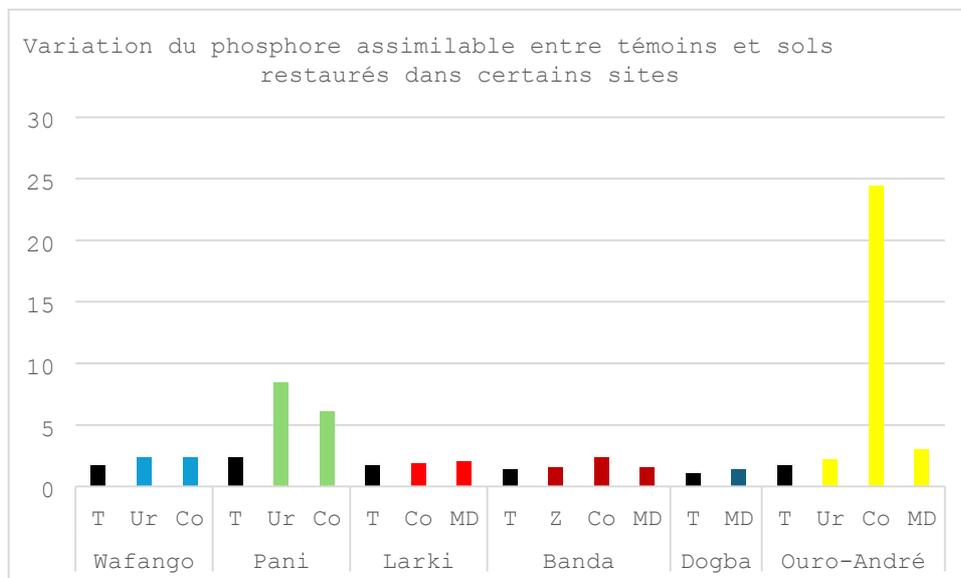


Figure 6 : Teneur en phosphore assimilable des sols de certains CEP en comparaison aux témoins

Cet élément, tout comme l'azote et le potassium, est l'un des principaux facteurs limitant pour la croissance et le développement des plantes. Dans le Nord Cameroun, le phosphore est présent en faible quantité dans la quasi-totalité des sols. Pourtant joue un rôle important dans la croissance des plantes et le développement racinaire. Les résultats d'analyse des sols des différentes parcelles traitées dans les CEP comparés aux valeurs normatives révèlent des faibles taux en phosphore dans presque tous les cas sauf pour ce qui est des parcelles témoins et celle traitée au Compost à Naari qui ont respectivement des taux moyens et élevés en phosphore puis le traitement au compost à Ouro-André qui a également un taux élevé en phosphore (cf tableau 7). Ce taux élevé de phosphore dans la parcelle traitée au compost d'Ouro-André pourrait s'expliquer par la nature de la matière première utilisée pour sa fabrication.

Les observations effectuées sur la figure 6 ci-dessus, révèlent que dans presque tous les CEP (Wafango, Pani, Larki, Banda, Dogba, Ouro-André) l'application des différentes techniques de restauration ont augmenté la teneur en phosphore par rapport aux parcelles témoins mais n'ont pas atteint des valeurs moyennes nécessaire sauf pour le traitement au compost à Ouro-André.

c.4- Potassium (K)

- Moins de 0,2 : faible



- De 0,2 à 0,4 : moyenne
- Plus de 0,4 : Forte

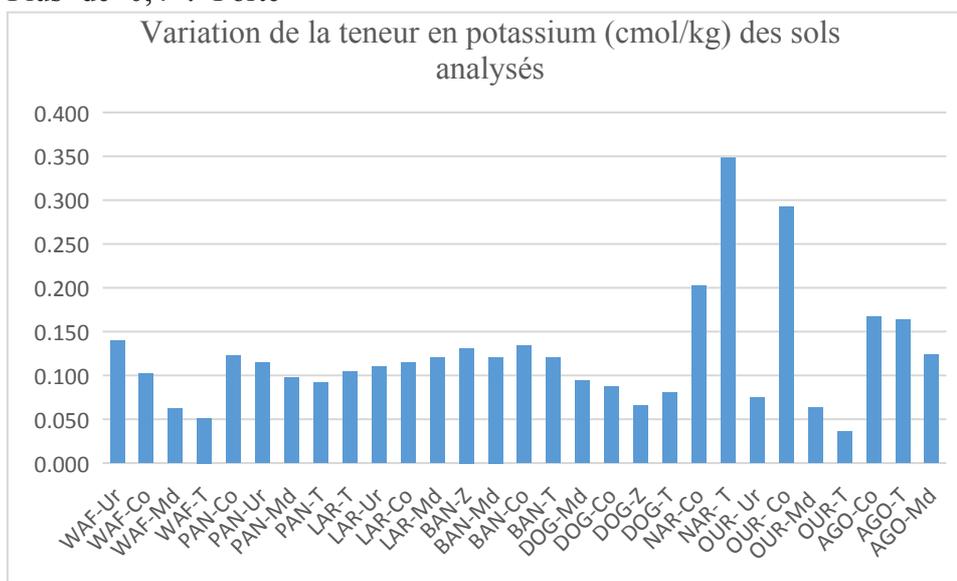


Figure 7 : variation de la teneur en potassium des sols de CEP en comparaison aux témoins

Lorsqu'on observe les résultats de laboratoire (Tableau 7 ci-dessus) et le graphe de la figure 7, on constate que, tous les sols analysés présentent des teneurs faibles en potassium par rapport aux valeurs normatives en dehors des traitements au compost et témoin à Nari, idem pour le traitement au compost à Ouro-André présentant des teneurs moyennes. Ces mêmes traitements ont également montré un peu plus haut des taux moyens en phosphore. Ceci pourrait avoir pour cause, l'état de fertilité de départ de ces sols; ils n'avaient pas atteint des niveaux de dégradation inquiétants.

Cependant, la figure 7 ci-dessus révèle que la quasi-totalité des parcelles restaurées dans les huit CEP ont montré des taux élevés en potassium par rapport aux parcelles témoins (non restaurées) de chaque site même comme ces teneurs n'atteignent pas encore les valeurs normales pour la majorité des spéculations cultivées dans cette zone.

c.5- Capacité d'échange cationique (CEC), somme des bases échangeables et taux de saturation

Tableau 9 : Grille d'interprétation de la somme des bases, CEC et du Taux de saturation des sols

	Sommes des bases	CEC	Taux de saturation	
Faibles	<5	<10	<40	Yellow
Modérés	5-10	10-25	40-60	Green
Fortes	>10	>25	>60	Red

La CEC de tous les échantillons analysés durant cette étude est faible ($<7\text{cmol/kg}$) comme l'indique le tableau 9 ci-dessus. 78,6% ont un taux faible en bases échangeables à l'exception des échantillons du CEP de Pani (tous les quatre y compris le témoin) et les traitements au compost de Banda et Ouro-André (cf. tableau 7 ci-dessus). Cependant, le taux de saturation est normal pour tous les échantillons.

De même que les autres éléments interprétés ci-haut, lorsqu'on se confère au tableau 7 ci-dessus, on observe une augmentation légère de la CEC dans les parcelles restaurées (toute technique de restauration confondue) par rapport aux parcelles témoins.

D'après les résultats d'analyse des sols, pour toutes les méthodes agroécologiques de restauration appliquées (Compost, Zaï, Microdosage NPK-Compost) dans les différents CEP, bien que les efforts fournis aient modifié positivement tous les paramètres de fertilité des sols, nous n'avons pas encore atteint un niveau de restauration suffisant et durable pour cette période de deux ans (un an pour certains CEP).

IV.2.2- Analyse de l'impact des pratiques agroécologiques sur la restauration des sols dégradés

Les méthodes de restauration sont entre autre : l'application de l'urine humaine, du compost, du microdosage NPK-compost et enfin du Zaï. Toutes ces techniques n'ont pas été appliquées dans tous les CEP. Il est question à ce niveau de voir l'impact réelle de l'implémentation de ces différentes techniques sur le sol dans chaque CEP où elles sont appliquées.

1- Urine humaine

La figure 8 ci-dessous présente la teneur en éléments minéraux (N, P, K), Mo et CEC des parcelles restaurées à l'urine humaine et les parcelles témoins des mêmes CEP.

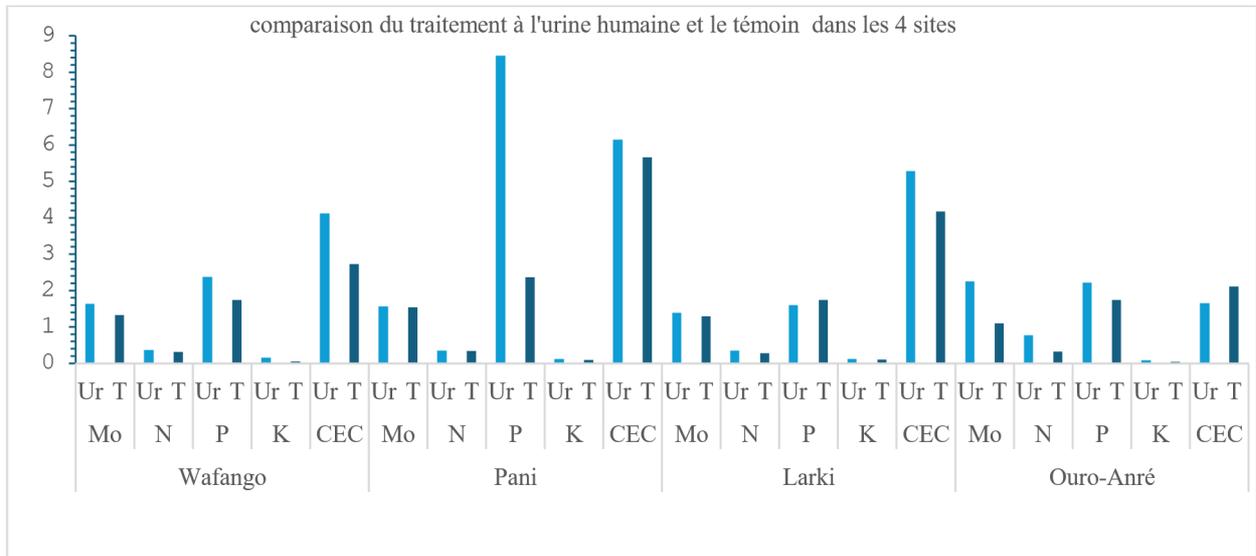


Figure 9 : Teneur en MO, azote total, phosphore, potassium et CEC des parcelles de CEP comparées au sol témoin dans les sites restaurés à base de l'urine humaine

Il ressort de cette figure que de façon globale, l'application de l'urine humaine améliore de façon non négligeable la teneur en éléments minéraux (N, P, K), Mo et CEC dans tous les CEP (dans la majorité des cas, la teneur en éléments minéraux, matière organique et CEC sur les parcelles traitées à l'urine humaine sont supérieures aux parcelles témoins) à l'exception de la CEC à Ouro-Anré qui a légèrement diminué.

Il est donc clair que la restauration de la fertilité des sols par l'utilisation de l'urine humaine est efficace dans tous les CEP comme l'a si bien décrit Eric Roose et Ernest Kouakoua (2015).

2- Microdosage NPK-Compost

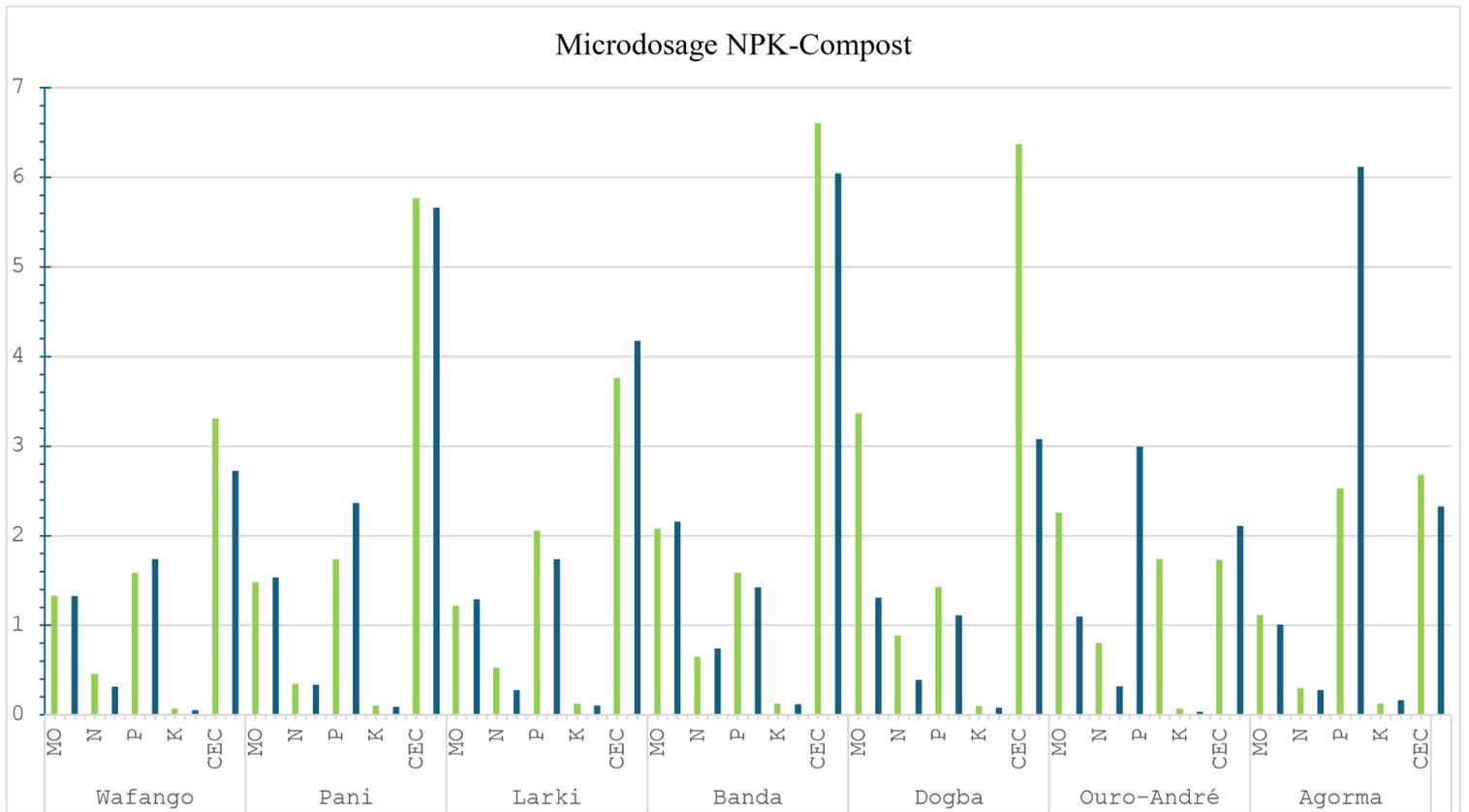


Figure 10 : Teneur en élément minéraux (N, P, K), de la CEC et de la matière organique des parcelles restaurées en comparaison au sol témoin des sites restaurés par la technique de microdosage NPK compost

Sur la figure 10, les bandes de couleur bleu indiquent les paramètres du sol témoin et celles en vert ceux des parcelles restaurées. On note clairement que dans la majorité des cas, l'application du microdosage NPK-Compost a amélioré de façon non négligeable tous les paramètres à savoir la teneur en éléments minéraux (azote, phosphore et potassium), la teneur en matière organique et la CEC.

La technique de microdosage de NPK-compost est une alternative efficace à l'utilisation abusive des engrais chimiques et devrait être intégré dans le système de production agricole dans le Nord-Cameroun.

3- Compost

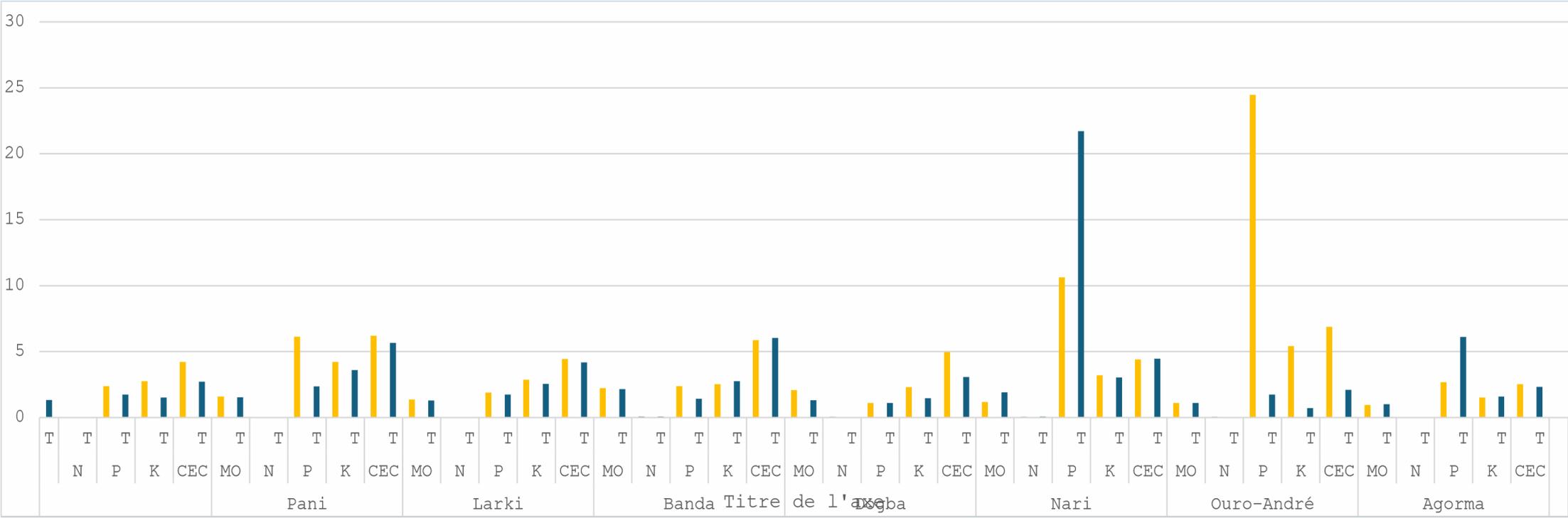


Figure 11 : Teneur en élément minéraux (N, P, K), CEC et matière organique des sols restaurés au compost en comparaison au sol témoin dans les différents CEP

Les bandes de couleur orange montrent les valeurs ou teneurs des éléments minéraux, Mo et CEC dans les différents CEP comparé aux témoins représentés ici par la couleur bleue.

Selon les résultats obtenus, les teneurs en éléments minéraux analysés sont supérieures dans les parcelles restaurées par rapport aux parcelles témoins dans 52,5% des cas. Elles sont presque identiques dans 27,5% des cas. Il est donc également évident que la restauration des sols dégradés par l'utilisation du compost est efficace. Toutefois, nous constatons qu'à Naari le traitement au compost a considérablement diminué la teneur en phosphore contrairement à Ouro-André où elle a plutôt considérable augmenté.

4- Zaï

Le zaï est une technique agroécologique traditionnelle de réhabilitation de la productivité des terres pauvres, qui consiste à creuser manuellement des trous pour y concentrer les eaux de ruissellement et les matières organiques.

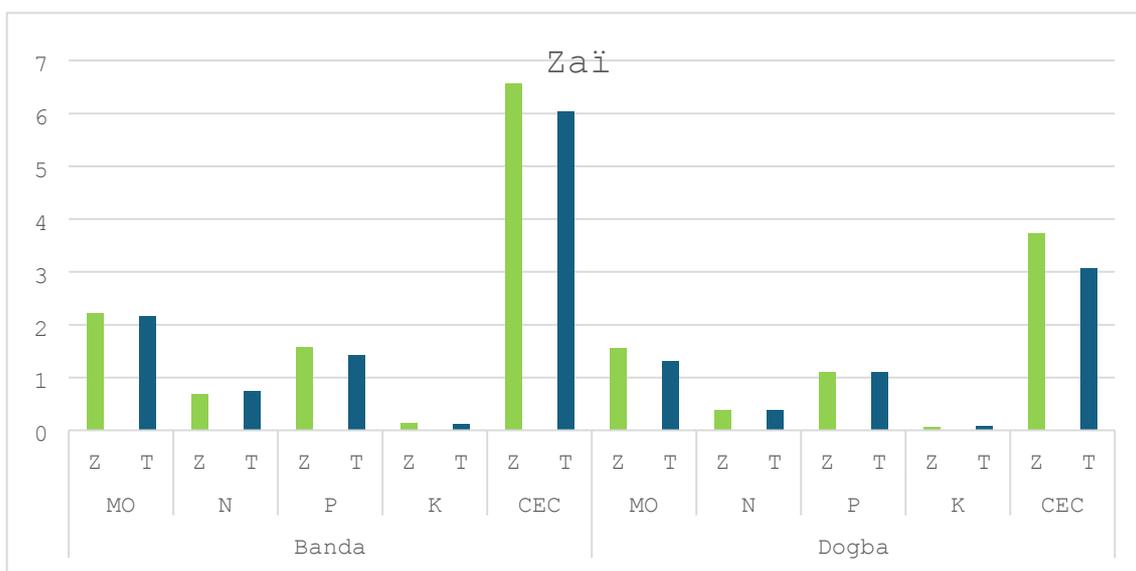


Figure 12 : histogramme de variation de la teneur en élément minéraux (N, P, K), de la CEC et de la matière organique des parcelles restaurées en comparaison au sol témoin des sites restaurés à base de la technique du zaï (associé au compost)

Dans les deux CEP où le zaï associé au compost a été appliqué, on observe également une augmentation non négligeable de la teneur en élément minéraux bien qu'elle ne soit pas très considérable. La CEC et la teneur en matière organique également se voit nettement amélioré dans les deux sites grâce à la pratique de la technique du zaï.

Cette technique de restauration bien qu'étant efficace présente des contraintes majeures liées à la pénibilité du travail de réalisation. Il est donc plus recommander pour les petits exploitants agricoles à l'instar des ceux du secteur des cultures maraichères.

V- Difficultés rencontrées et leçons apprises

La plus grande difficulté rencontrée dans cette étude réside dans la conception du dispositif expérimental et la définition des traitements dès l'entame des travaux de restauration des parcelles de CEP.

- **Difficultés**

- Les doses de fertilisant appliquées ne sont pas maîtrisées, d'où la difficulté de faire une recommandation chiffrée en terme de dosage des différents fertilisants.
- La situation de référence en termes de données sur les sols de CEP avant l'expérimentation est inexistante.
- Le choix d'une parcelle témoin quelconque dans le village demeure juste une alternative palliative au manque des données de référence sur les sols des CEP.
- L'absence d'une étude diagnostique destinée à détecter les principales carences des sols afin de mieux orienter le choix des parcelles à réhabiliter.
- L'absence de données chiffrées sur le potentiel fertilisant des amendements proposés pour répondre de manière efficiente et raisonné aux carences des sols à restaurer.

- **Leçons apprises**

La rotation des techniques de restauration au fil des années sur une même parcelle crée des biais dans l'évaluation diachronique individuelle de l'impact réel sur les sols des différentes techniques de restauration pris séparément.

Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que l'application des techniques agroécologiques de restauration à savoir l'utilisation de l'urine humaine, du compost, du microdosage d'engrais chimique (NPK+compost) et du zaï+compost dans les CEP de Waffango, Pani, Larki, Banda, Dogba, Ouro-André, Naari et Agorma, a un effet bénéfique sur les propriétés physicochimiques des sols et induit une amélioration de la fertilité de ceux-ci. Néanmoins il est important de signaler que malgré les efforts de restauration employés, le temps de restauration reste relativement court (1 à 2 ans) puisque plusieurs éléments de fertilité n'ont pas atteint les valeurs minimales acceptables pour assurer le succès de la plupart des spéculations implémentées dans ces localités. Les données d'analyse de sol effectuées dans cette étude peuvent faire office de situation de référence pour les prochaines études à condition que les parcelles de CEP soient maintenues.

Quelques recommandations

- Appliquer les techniques de restauration sur la même parcelle pendant plusieurs années sans les roter,
- La restauration agro-écologique des sols étant un processus progressif, il serait donc judicieux de continuer à observer et réajuster ces techniques sur les mêmes parcelles pour déterminer le temps nécessaire de restauration complète de ces sols et d'observer également par site les différents techniques appropriés, adaptés et accessible aux paysans pour son adoption.
- Suivre et étudier ces techniques dans chaque CEP sur une période d'au moins cinq ans, afin d'observer le temps nécessaire pour ramener les valeurs des éléments de fertilité à des valeurs normales,
- Étudier pendant une période (d'un an à trois ans) les effets résiduels de chaque technique pour déterminer à quelle fréquence faut-il les implémenter pour la conservation efficace de la fertilité du sol (puisque ces techniques ne sont pas censées être appliquées continuellement toutes les années),
- Intégrer également d'autres méthodes écologiquement durables, économiquement accessibles et socialement acceptable à l'instar de :
 - La méthode d'association culturale dans les champs. Elle se fait entre céréales et légumineuses. Par exemple: Maïs-Niébé, Sorgho-Pois d'angole, Igname-soja (N'goran et *al.*, 2011), etc. Ces légumineuses enrichissent le sol en azote, et ont un effet résiduel bénéfique pour les cultures prochaines.
 - La promotion des cultures en couloirs entre les légumineuses pérennes à croissance rapide et les autres cultures annuelles. Exemple: *Acacia polyacantha*, *Acacia senegal*, etc.

- L'utilisation du Biochar: qui est une forme de charbon végétal obtenu à partir de la pyrolyse des résidus de culture, des déchets ou autres sous-produits (valorisation des déchets et résidus agricoles). Il a des propriétés bénéfiques en agriculture et en gestion durable des sols en tant qu'amendement. Il lutte contre le stress hydrique par son pouvoir de rétention en eau, il améliore la fertilité et la séquestration du carbone (lutte contre le changement climatique). Sa fabrication n'est pas très difficile et ne prend tellement de temps (une journée de travail pour plus de 5 Ha).
- La promotion des biopesticides fertilisantes pour réduire l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques polluants et coûteux en formant les producteurs des différents CEP ciblés sur la fabrication des biopesticides à partir de ressources localement disponible.

Références bibliographiques

Buondonno A., Coppola E., Palmieri G., Benedetti A., Dell'Orco, S, Németh K., Barbier G., De Pascale S., 1993. Relationships between pedogenetic features and clay mineralogy in entisols from two alluvial plains of southern Italy Miner. Petrogr. Acta.

FAO, 2001. The state of an agriculture. FAO Agriculture Series. ISSN 0081-4593. No 33. PP 272

FAO, 2013. Food Wastage Footprint: Impacts on natural resources – summary report. FAO, Rome, pp. 6-7.

INS, 2019. Annuaire Statistique du Cameroun, édition 2019. Chapitre 14 : agriculture. Pp. 232-255.

Murphy J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. Volume 27, 1962, Pages 31-36

N'Goran K.E., Kassin K.E., Zohouri G.P., N'Gbesso M.F.P., Yoro G.R., 2011. Performances agronomiques des associations culturales igname-légumineuses alimentaires dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 43 : 2915 – 2923

PAP, 1976. Principes de classification et d'évaluation des terres pour la République du Bénin 36 p

Roose E. et Kouakoua E., 2017. Valorisation des urines humaines et animales pour la fertilisation des sols tropicaux : une revue. In book: Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens (pp.319-327). DOI:[10.4000/books.irdeditions.24327](https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24327)

Sys C., Ranst Van E., Debaveye J., Beernaert F., 1993. Land evaluation, part III crop requirements, Agricultural publications N°7, General Administration for Development Cooperation. Place du Champ de mars 5 bté 57-1050 BrusselsBelgium, pp.67-147

World Bank, 2014. Revue diagnostique des dépenses publiques de base dans le secteur agricole (2003-12). Rapport final. Pp.122.

-

Annexes (synthèse d'analyse de laboratoire, photos, illustrations, etc.)

Annexe 1 : Résultats de laboratoire

Lab #	Sample ID	pH Water	Org C %	Total N %	Bray P ug/g	Ca	Mg	K	Na	CEC
						cmol(+)/kg				
hfs023023	WAF-Ur	5,22	0,94	0,035	2,37	2,10	0,56	0,139	0,086	4,11
hfs023024	WAF-Co	5,58	1,04	0,046	2,37	2,75	0,63	0,102	0,081	4,20
hfs023025	WAF-Md	5,30	0,77	0,045	1,58	1,91	0,37	0,062	0,095	3,31
hfs023026	WAF-T	5,92	0,77	0,031	1,74	1,52	0,26	0,051	0,093	2,72
hfs023027	PAN-Co	6,80	0,91	0,035	6,12	4,22	1,57	0,122	0,095	6,18
hfs023028	PAN-Ur	6,93	0,90	0,034	8,45	4,22	1,60	0,114	0,099	6,13
hfs023029	PAN-Md	6,36	0,86	0,034	1,74	3,64	1,70	0,097	0,098	5,77
hfs023030	PAN-T	6,30	0,89	0,034	2,37	3,60	1,70	0,092	0,098	5,66
hfs023031	LAR-T	6,08	0,75	0,028	1,74	2,56	0,94	0,105	0,084	4,18
hfs023032	LAR-Ur	6,02	0,80	0,034	1,58	3,17	1,05	0,110	0,089	5,28
hfs023033	LAR-Co	6,05	0,78	0,033	1,90	2,86	0,98	0,115	0,088	4,45
hfs023034	LAR-Md	5,90	0,71	0,052	2,05	2,33	0,85	0,120	0,081	3,75
hfs023035	BAN-Z	5,31	1,29	0,069	1,58	3,10	1,06	0,131	0,086	6,56
hfs023036	BAN-Md	5,30	1,20	0,065	1,58	3,71	1,14	0,121	0,083	6,60
hfs023037	BAN-Co	5,46	1,29	0,079	2,37	2,52	0,98	0,134	0,082	5,88
hfs023038	BAN-T	5,16	1,25	0,074	1,43	2,75	1,00	0,120	0,083	6,05
hfs023039	DOG-Md	5,29	1,95	0,088	1,43	3,06	1,24	0,094	0,082	6,37
hfs023040	DOG-Co	5,37	1,20	0,054	1,11	2,29	0,93	0,087	0,060	4,96
hfs023041	DOG-Z	5,03	0,90	0,039	1,10	1,68	0,76	0,066	0,080	3,73
hfs023042	DOG-T	5,43	0,76	0,039	1,11	1,47	0,59	0,080	0,073	3,08
hfs023043	NAR-Co	6,68	0,69	0,057	10,62	3,20	0,64	0,202	0,075	4,38
hfs023044	NAR- T	6,94	1,10	0,074	21,72	3,03	0,82	0,348	0,073	4,46
hfs023045	OUR- Ur	5,43	1,30	0,075	2,21	0,44	0,17	0,074	0,077	1,65
hfs023046	OUR- Co	7,57	0,63	0,061	24,46	5,40	0,72	0,292	0,071	6,86
hfs023047	OUR-Md	5,61	1,31	0,080	2,99	0,62	0,18	0,063	0,085	1,73
hfs023048	OUR-T	5,48	0,64	0,032	1,74	0,71	0,18	0,036	0,075	2,11
hfs023049	AGO-Co	5,88	0,54	0,028	2,68	1,51	0,36	0,167	0,072	2,53
hfs023050	AGO-T	6,06	0,58	0,028	6,12	1,59	0,39	0,163	0,072	2,33
hfs023051	AGO-Md	5,68	0,64	0,030	2,52	1,51	0,34	0,123	0,073	2,68

Annexe 2 : photo focus group en communauté



Photo de famille avec les populations de Pani



Focus group avec la population de Larki

Annexe 3 : photos de déroulement travaux de terrain





Photos illustrant l'échantillonnage des sols



Photo de l'unité de compostage de Pani

Annexe 4 : photos du prétraitement et de préparation des échantillons pour expédition au laboratoire



Photo illustrant le séchage à l'ombre des échantillons de sol



Photos illustrant le broyage et tamisage des échantillons de sol en laboratoire





Emballage et Étiquetage des échantillons de sol



Échantillons restant à la banque des sols de l'IRAD