



FEED THE FUTURE HAITI AREA PROJECT

COMMENT AMELIORER LA FERTILITE DES SOLS EN HAITI

Par Wesly Jeune, Ph.D.
Responsable du program Gestion de la Fertilité des Sols, du Projet AREA

Comment Améliorer la Fertilité des Sols en Haïti (2020). Gainesville, FL, États-Unis: Feed the Future Haiti Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA)

Accord de don No.AID-OAA-A-15-00039

Renforcer les institutions haïtiennes à travers la recherche et la vulgarisation agricole

En couverture: Drs Wesley Jeune et Raphael Colbert du projet Feed the Future Haïti Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA) entrain d'observer une parcelle experimentale. Credit: Charles Boisseau/AREA. Les photos de ce document ont été prises par les membres du projet AREA.

Avertissement

Cette publication est une production de l'Université de Floride et du projet Feed the Future Haïti Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA). Son contenu relève de la responsabilité de l'Université de Floride et ne reflète pas nécessairement les visions de l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID) ou du Gouvernement des États-Unis.

TABLES DES MATIERES

À propos de l'Auteur	4
Remerciements	5
INTRODUCTION	6
1. GÉNÉRALITÉS SUR LA RÉGION DE TRAVAIL (FTFW).....	6
2. CARACTERISTIQUES DES SOLS DE LA REGION.....	8
3. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT LA FERTILITÉ ET LA PRODUCTIVITÉ DES SOLS DANS LA RÉGION.....	9
Le pH du sol	9
La salinité des sols.....	10
La capacité de rétention en eau du sol.....	12
L'érosion des sols	12
L'exportation des nutriments par les cultures.....	12
4. EVALUATION DE LA FERTILITE DES SOLS.....	13
Échantillonnage.....	13
Méthode d'analyse et Calibrage	14
5. LES FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE POUR AMÉLIORER LA FERTILITÉ DES SOLS.....	15
Application des fertilisants minéraux.....	15
La matière organique dans la gestion de la fertilité des sols	16
Les cultures de couverture et les engrais verts	17
Les pratiques culturales adéquates.....	19
6. CONSIDERATIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS.....	19
BIBLIOGRAPHIE	21

À PROPOS DE L'AUTEUR

Wesly Jeune est un ingénieur-agronome originaire de Petit-Goâve. Il a été formé en 1999 à la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV/UEH). Il est détenteur d'un diplôme de Maîtrise (MSc.) en Sciences du Sol (Morphologie, Genèse et Classification des Solos) de l'Université Fédérale Rurale de Rio de Janeiro (UFRRJ) au Brésil de Février 2010 à Février 2012 et d'un diplôme de Doctorat (D.Sc) en Sols et nutrition des plantes avec concentration en cartographie numérique des sols, de l'Université Fédérale de Viçosa (UFV) dans l'État de Minas Gerais (Brésil) de Février 2012 à Décembre 2015. Depuis près d'une décennie, il a développé une expertise dans le domaine de la pédologie. Ses activités de recherche portent essentiellement sur la modélisation et la cartographie numérique des classes et des attributs de sols en utilisant le système d'information géographique (SIG), la statistique spatiale et les techniques du *machine learning*. Durant les cinq dernières années, il a conduit des activités de recherche et enseignement dans le domaine de la fertilité des sols. Il a été le leader de la composante "Gestion de la fertilité des sols" au sein du projet Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA/USAID) et a enseigné à l'Université Quisqueya, la FAMV, l'Université Episcopale d'Haïti (UNEPH) et l'Université Publique du Centre (UPC).



Avant-Propos

Ce livret a été produit dans le cadre du projet Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA/ USAID) qui est dirigé par l'université de Floride à travers un consortium impliquant l'université d'Illinois et l'université d'Etat de la Louisiane (LSU). Il est en effet une capitalisation des activités de recherche conduites par la composante "Gestion de la Fertilité des Sols (GFS)" dans la zone d'intervention du projet (*Feed the Future West/ FTFW*).

Les actions ont été développées en partenariat avec plusieurs institutions comme le laboratoire de sols de *UF/IFAS Extension Soil Testing Laboratory* à Gainesville (UF, Florida), l'Université Quisqueya (UNIQ), Fondation CHIBAS, la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire, les Centre Ruraux de Développement Durable (CRDD de Bas Boën, Duvier et Kenscoff), et autres.

Bien que des articles scientifiques ainsi que d'autres matériels de diffusion aient été publiés, ce livret vise à communiquer un ensemble d'informations techniques ainsi que les résultats des initiatives de recherche qui ont été entamées par la composante GFS du projet. Ce livret est écrit dans un langage simple et compréhensible en vue d'atteindre le public le plus large possible composé prioritairement d'agronomes, de techniciens agricoles, d'extensionnistes, d'étudiants et d'agriculteurs. Améliorer durablement la fertilité des sols requiert une bonne compréhension de leurs caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques afin de mieux préciser les interventions qui doivent aboutir à la productivité des terres ainsi qu'à l'augmentation des revenus des agriculteurs.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier collectivement toute l'équipe du projet AREA, particulièrement, ceux et celles qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la production de ce livret. Il voudrait présenter ses remerciements spéciaux à l'agronome Maxim Desruisseaux pour la franche collaboration; Anne C. Gilot, spécialiste en suivi et évaluation, pour tout son appui ; Remixon Guillaume pour ses conseils; Charles Boisseau pour la mise en forme et l'agronome Emmanuel Duvalsaint pour la lecture attentive du texte.

INTRODUCTION

Le sol, corps naturel triphasique, est un élément fondamental dans la productivité des systèmes agricoles et des écosystèmes terrestres. Il est la base de la production des aliments à la fois pour le bétail et pour les humains. C'est du sol que les plantes prélèvent presque tous les nutriments capables de les aider à compléter leur cycle cultural ou vital. Néanmoins, il est assez rare de rencontrer, à l'état naturel, un sol qui soit en mesure de satisfaire l'ensemble des besoins nutritionnels des cultures.

La satisfaction des besoins des plantes en nutriments requiert généralement des interventions nécessaires au maintien de la fertilité des sols sans toutefois rompre l'équilibre existant entre ces nutriments.

Les problèmes liés au maintien de la fertilité des sols font obstacle à l'augmentation des rendements, réduisent la qualité nutritionnelle des produits et restreignent les possibilités d'accroissement des revenus des agriculteurs.

En Haïti, les rendements des cultures sont relativement faibles ; et ceci pour diverses raisons. En effet, l'une des raisons les plus communément évoquées pour expliquer la faiblesse des rendements demeure la baisse de la fertilité des sols.

Quoique les sols d'Haïti se soient, en majeure partie, développés sur des matériaux parentaux chimiquement riches comme le calcaire, le basalte et les sédiments issus de la dégradation de ces roches, diverses sont les caractéristiques physiques et chimiques qui les empêchent d'exprimer leur potentiel productif et de fertilité. De l'influence d'un relief essentiellement montagneux et d'un climat tropical assez contrasté résultent un pédosystème assez diversifié dont la gestion exige des interventions différenciées qui puissent contribuer à en améliorer la fertilité et la productivité de manière durable.

Dans ce contexte, améliorer la fertilité des sols en vue de l'augmentation des rendements des cultures a été l'un des objectifs poursuivis par le projet Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA), à travers la composante "Gestion de la fertilité des sols (GFS)." Les activités mises en œuvre ainsi que les résultats obtenus au cours de l'exécution du projet ont favorisé une meilleure compréhension des problèmes liés à la disponibilité des nutriments ainsi que ceux qui entravent la productivité des sols dans la zone d'intervention du projet.

I. GÉNÉRALITÉS SUR LA RÉGION DE TRAVAIL (FTFW)

Les actions se sont déroulées dans le corridor *Feed the Future West (FTFW)* localisé dans le département de l'Ouest d'Haïti entre les latitudes 18°18'36"N et 19°15'36"N et les longitudes 71°57'00"W et 72°49'12"W. Cette zone englobe les communes de Kenscoff, Pétion-Ville, Croix-des-Bouquets, Cabaret, Arcahaie et Saint-Marc. La région est caractérisée par un paysage très hétérogène avec des chaînes de montagnes assez imposantes dont le massif de la Selle au sud, les Chaînes des Matheux et du Trou d'eau dans la partie nord, lesquels sont entrecoupés par des plaines (Cul de Sac, de Cabaret et de l'Arcahaie).

Les faciès géomorphologiques qui caractérisent la région sont : les chaînes de montagnes et les massifs; les collines, les plateaux, les plaines et les dépressions, le système côtier et fluvial.

L'altitude varie du niveau moyen de la mer à plus de 2500 m (Figure 1). La région présente des déclivités très accentuées pouvant dépasser 45%.

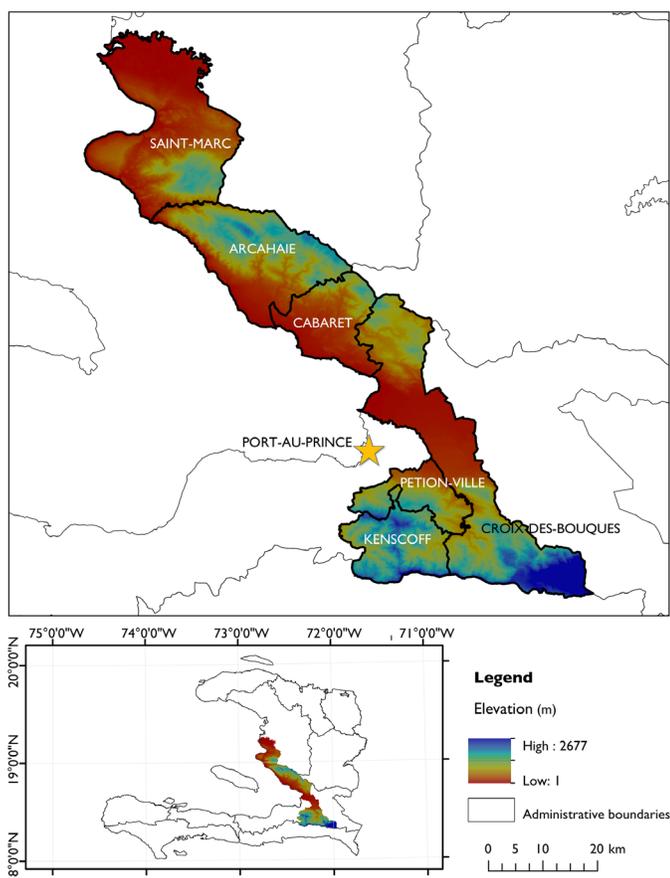


Figure 1. Localisation du corridor Feed the Future West.

La région jouit d'un climat assez diversifié. Ainsi selon le système de classification climatique de Köppen la région s'insère dans deux types de climat, en raison de la variation topographique: la zone tropicale "Aw" caractérisant les zones de plaine et des collines qui présentent une faible variation de température durant l'année ; le type Cwb, caractérisant un climat subtropical d'altitude avec un hiver sec. La température dans les zones de plaine accuse la moyenne annuelle de 27.5°C ; tandis qu'elle est de 19°C en moyenne en région montagneuse, accusant la valeur minimale de 10°C durant l'hiver. Les mois de juillet-août sont les plus chauds tandis que les mois de décembre et janvier sont les plus froids (Hijmans et al., 2005).

Selon Woodring et al. (1924), la région se trouve insérée dans un complexe géologique présentant diverses formations rocheuses, à côté de l'existence de la grande faille géologique *Enriquillo-Plantain-Garden* qui traverse la plaine du Cul-de-Sac. La lithologie dominante de la région est composée par les formations sédimentaires carbonatiques du tertiaire comme les biomicrites pélagiques, les

conglomérats à dominance calcaire, le calcaire marneux et le calcaire dur (un degré plus avancé de lithification). Les formations basaltiques affleurent dans certaines zones de Kenscoff. Les formations sédimentaires quaternaires qui recouvrent les zones de plaine sont constituées principalement par les dépôts fluvio-aluvionnaires et les cônes de déjection. Il faut souligner que les formations d'origine calcaire représentent près de 80% de la lithologie de la région.

La moyenne annuelle des précipitations est de 1.485 mm avec les valeurs minima et maxima de 500 mm et 2373 mm, respectivement (Hijmans et al., 2005).

La végétation originale est composée de couvertures arborescentes de basse et haute altitude surtout dans la partie centrale et une végétation de savane associée à des espèces arbustives rabougries et des cactées dans la partie Nord – Nord'ouest correspondant aux collines et montagnes sèches.

Actuellement, en raison du fort taux de déboisement, la végétation originale ainsi que les pins (*Pinus occidentalis*) ont subi une forte réduction, se transformant en fragments végétaux ou strates arborées et arbustives très clairsemés (Koohafkan et Lilin, 1989) et même en espèces isolées.

Pour être soumis à d'intenses utilisations qui, dans certains cas, dépassent leur limite de résilience, les



Figure 2. Formation calcaire (gauche) Conglomérats (droite) dans la Plaine du Cul-de-Sac

sols rencontrés dans cette région ont subi une forte dégradation. L'agriculture y est intensément pratiquée et les espèces les plus communément cultivées sur les parcelles sont le maïs, le haricot, la banane, le plantain, le riz et la canne à sucre dans les zones de plaine. Le maraîchage est beaucoup plus pratiqué dans les montagnes de Pétion-Ville et de Kenscoff que dans les zones de basse altitude.

2. CARACTERISTIQUES DES SOLS DE LA REGION

Les sols rencontrés dans le corridor FTFW sont très peu étudiés. Les rares études pédologiques connues sont celles réalisées par Colmet-Daage (1969), Shannon et Guthrie (1995), Libohova et al., (2017) et Jeune et al., (2018). Ces études révèlent que les Inceptisols, Entisols et Mollisols sont les sols les plus dominants surtout dans les zones de basses à moyennes altitudes. Ces sols présentent une minéralogie composée essentiellement de calcite, smectites, chlorite, illite, micas et quartz dans la fraction argileuse. Par ailleurs, dans la région de Kenscoff les sols présentent, par endroits, un degré d'intempérisation avancé, donnant aussi lieu à des Ultisols et plus rarement des Oxisols.

Les sols les plus évolués sur le plan pédogénétique présentent une minéralogie composée de minéraux secondaires et plus réfractaires aux altérations comme : le quartz, la kaolinite et la gibbsite rencontrés dans la fraction argile (Jeune, 2015).

Compte tenu du fait que les sols rencontrés dans les plaines alluviales sont relativement jeunes, leur composition texturale contient une forte proportion de limon, en comparaison aux sols des montagnes humides



Figure 3. Collecte d'échantillons de sols dans la plaine du Cul-de-Sac.

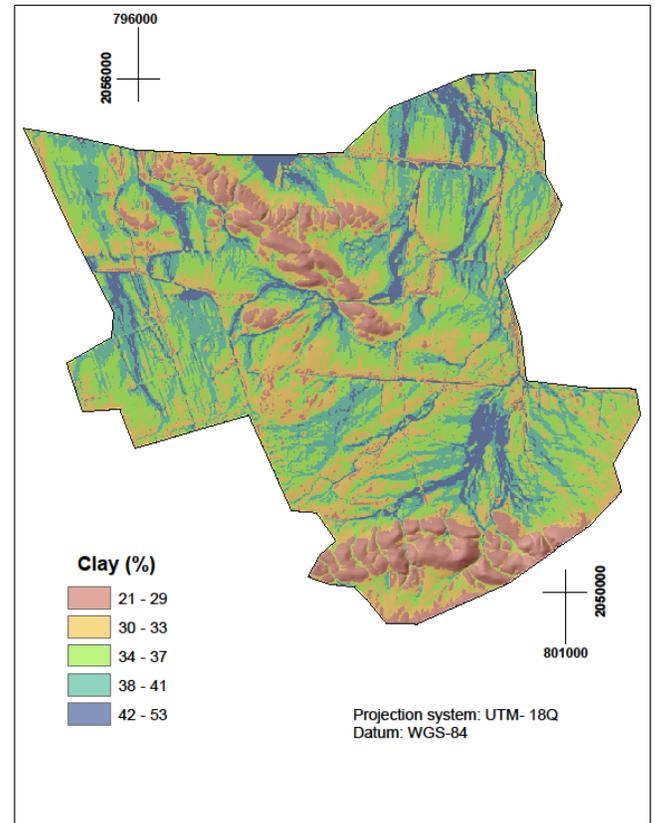


Figure 4. Cartographie de l'argile par la régression linéaire multiple.

dont la texture est plus argileuse. Il faut mentionner que sur les collines sèches se sont formés des sols à texture grossière à cause de la prédominance de l'intempérisation physique.

Cette situation est illustrée par la carte d'argile (Figure 4) produite à partir d'une étude pilote conduite dans la plaine du Cul de Sac, en utilisant un modèle de régression linéaire multiple.

D'une manière générale, ces sols sont caractérisés par une forte saturation par base (SatB~100%) et un pH alcalin pouvant varier de 7.5 à 8.5, à l'exception des sols acides de la région Kenscoff où les fortes précipitations favorisent l'hydrolyse des minéraux, le lessivage et la lixiviation des bases (Jeune, 2015). Du fait de l'érosion et de la nature du matériau lithologique, ces sols sont généralement peu profonds quand ils se situent dans les zones de forte déclivité.

Pour les sols bien drainés des montagnes humides, le pH relativement faible et la minéralogie oxydique sont

indicateurs du niveau d'altération des minéraux. En conséquence, certaines caractéristiques de ces sols comme la CEC (capacité d'échange cationique) et la saturation par base sont faibles, ce qui occasionne la carence en K, P et certains macronutriments secondaires (Ca, Mg). Dans les deux situations, il y a nécessité d'amender le sol de manière à garantir la disponibilité des nutriments pour les plantes.

Les pratiques d'amendement doivent être différenciées, en tenant compte des caractéristiques particulières de ces deux types d'environnement.

3. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT LA FERTILITÉ ET LA PRODUCTIVITÉ DES SOLS DANS LA RÉGION

Pour ce qui concerne la fertilité de ces sols, deux situations se profilent selon qu'il s'agisse des sols dans les zones de plaine et montagne sèches et ceux des zones humides.

Plusieurs facteurs naturels et anthropiques affectent la fertilité des sols dans la région. Certains sont naturels et d'autres d'origine humaine. Ils influencent les caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et biologiques des sols associés affectent la fertilité et la productivité et des sols dans le corridor FTFW. Parmi ces facteurs citons le pH, la salinité, la capacité de rétention en eau du sol, l'érosion des sols, et les mauvaises pratiques culturales.

LE PH DU SOL

Le pH du sol est important pour maintenir une fertilité adéquate du sol. Il conditionne la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance et au développement des plantes. Dans la région étudiée, l'effet combiné du gradient altitudinal et de la présence de microclimats ont une forte influence sur la variabilité du pH. Au niveau de la Plaine du Cul de Sac jusqu'à Montrouis, les sols présentent un pH alcalin qui varie de 7.5 jusqu'à 9.5, en raison notamment de l'accumulation de carbonates dans la solution du sol. L'alcalinité de ces sols augmente avec la profondeur.

Dans cet intervalle de pH, les déficiences en micronutriments comme le Fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le bore, peuvent apparaître sur les cultures. Les symptômes de carence en ces nutriments sont souvent visibles sur le haricot, le maïs ainsi que d'autres cultures pratiquées dans la zone.



Figure 5. Signes de carence en micro-éléments.

Dans la région de Kenscoff, des études (Colmet-Daage, 1969; Jeune, 2015, Celestin et al., 2019) ont révélé la présence des sols acides à modérément acides avec une variation de pH allant de 4,6 à 6,0. Bien que la plupart de ces sols se soient développés sur le calcaire, la désaturation associée à la lixiviation des bases peut occasionner des déficiences en calcium et magnésium.

Il faut préciser que le pH idéal du sol est de 6.5 ; lequel pH favorise la disponibilité de la majorité des nutriments pour les cultures.

En dépit de leur bonne fertilité naturelle, les sols localisés dans les zones de plaine et montagnes sèches ont plusieurs limitations par rapport au pH alcalin qui affecte la disponibilité de certains nutriments tels que le phosphore, l'azote et la majorité des micronutriments (Fe, Zn, Cu, Mn, B).

LA SALINITÉ DES SOLS

La salinité réfère à la présence de solutés majeurs inorganiques (essentiellement Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- et CO_3^{2-}) dissouts dans la solution du sol (Rhoades & Chanduvi, 1999). Elle est catégorisée en fonction de la nature des sels (carbonates, chlorures, sulfates) présents. Ainsi, se basant sur les paramètres de conductivité électrique (CE), du taux d'adsorption du sodium et du pH, la salinité est classée en sols salin, salin-sodique et solodique (Brady & Weil, 2002).

L'accumulation de sels en raison de la pratique de l'irrigation peut réduire les rendements, minimiser l'effet de l'irrigation, détruire la structure du sol et affecter les autres propriétés du sol (Horneck et al., 2007). Selon Childs & Hanks (1975), l'influence de la salinité sur les cultures dépend du type de culture et de la gestion de l'irrigation.

Ainsi, la composante "Gestion de la fertilité des sols" du projet AREA a conduit une étude pilote sur la salinité des sols sur la ferme de Bas Boën (plaine du Cul-de-Sac). A partir de 50 points de collecte avec deux échantillons

par point (0-20 cm et 20-50 cm). Cette étude a permis d'évaluer la distribution spatiale de la salinité et de l'alcalinité des sols par la cartographie de la conductivité électrique et du pH (Figure 6). Elle a également favorisé la compréhension de l'origine des sels dans les sols étudiés.

L'étude a révélé une forte variabilité spatiale de la salinité des sols dans l'aire de l'étude tant en surface qu'en subsurface.

Se référant aux résultats (Tableau 1) de la distribution de la conductivité électrique, il est évident que le niveau de salinité des sols de la ferme est moyennement faible dans les 20 premiers centimètres, puisque 90.60% de l'aire d'étude se situent dans la classe de salinité (0.2 – 0.5), adéquate pour les espèces cultivées. Néanmoins, 9.24% correspondent à des valeurs de CE plus élevées et peuvent causer des préjudices aux cultures, si aucune mesure de gestion des sols n'est mise en place. Et parmi les problèmes les plus courants, citons le déséquilibre nutritionnel des plantes et le stress osmotique (Haas & Hoffman, 1977).

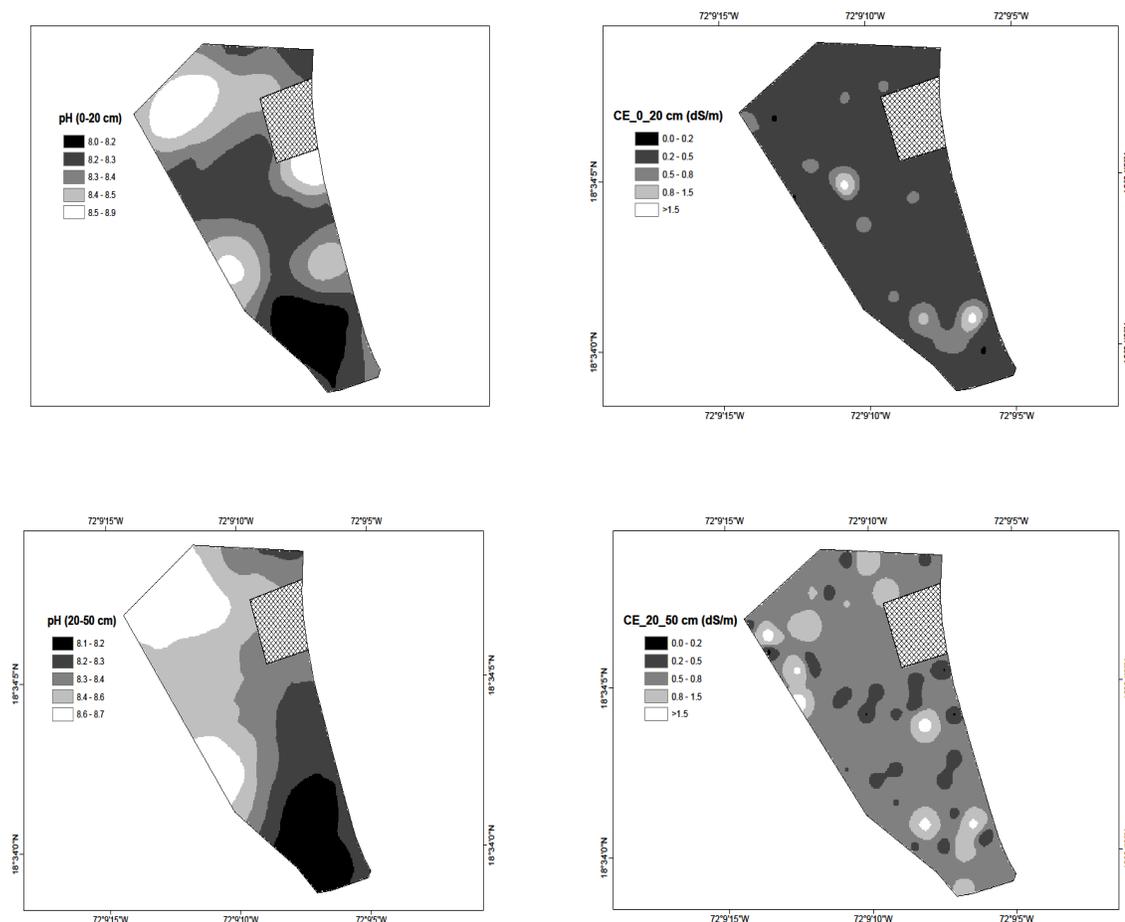


Figure 6. Distribution spatiale de la CE et du pH au niveau du CRDD Bas Boën, interpolée à partir du krigeage ordinaire.

Contrairement aux valeurs de CE observées en surface, il a été possible de vérifier qu'en subsurface, seulement 9.88% de l'aire d'étude se trouvent dans la classe adéquate aux cultures (0.2-0.5 dS.m⁻¹); 75.40% présentent un niveau de salinité relativement plus fort (0.5-0.8 dS.m⁻¹); et 14.66% ont une teneur en sels plus élevée.

Dans une seconde phase de l'étude, 42 échantillons de sols ont été collectés au niveau des poches de salinité

observées. Ces échantillons ont été prélevés de 20 en 20 cm jusqu'à 140 cm. Il s'agissait d'évaluer la distribution des sels dans le profil du sol en se basant sur des paramètres additionnels comme le rapport d'adsorption du sodium (SAR) et le pourcentage de saturation par le sodium (ESP). Ces paramètres sont des indicateurs de la nature des sels solubles présents dans la solution du sol.

Tableau 1. Statistiques descriptives des données de sol à partir de 42 échantillons collectés de 20 à 140 cm

Paramètres	Ca mg/dm ³	K	Mg	Na	pH	BuffpH	EC dS/m	SAR	ESP
Min	27092.1	306.7	263.2	78.2	8.2	7.8	0.27	0.13	0.22
Max	27389.2	1695.6	726.4	4082.0	10.3	8.1	3.35	6.69	11.09
Médiane	27281.5	558.0	545.9	962.8	9.5	7.9	0.86	1.31	1.85
Moyenne	27271.9	646.3	534.6	1334.2	9.4	7.9	1.13	1.82	2.97
std.dev	67.3	326.5	111.1	1163.8	0.6	0.1	0.88	1.74	3.03
coef.var (%)	0.2	50	20	90	10	0.9	78	96	102

EC : conductivité électrique | SAR : rapport d'adsorption du sodium | ESP : pourcentage de saturation par le sodium

En ce qui concerne la variabilité de la conductivité électrique en profondeur (Figure 7), l'accumulation de sel est plus élevée dans le sous-sol que dans la couche arable. Un travail du sol sans labour ou minimal minimiserait probablement la concentration de sels solubles près des racines des cultures.

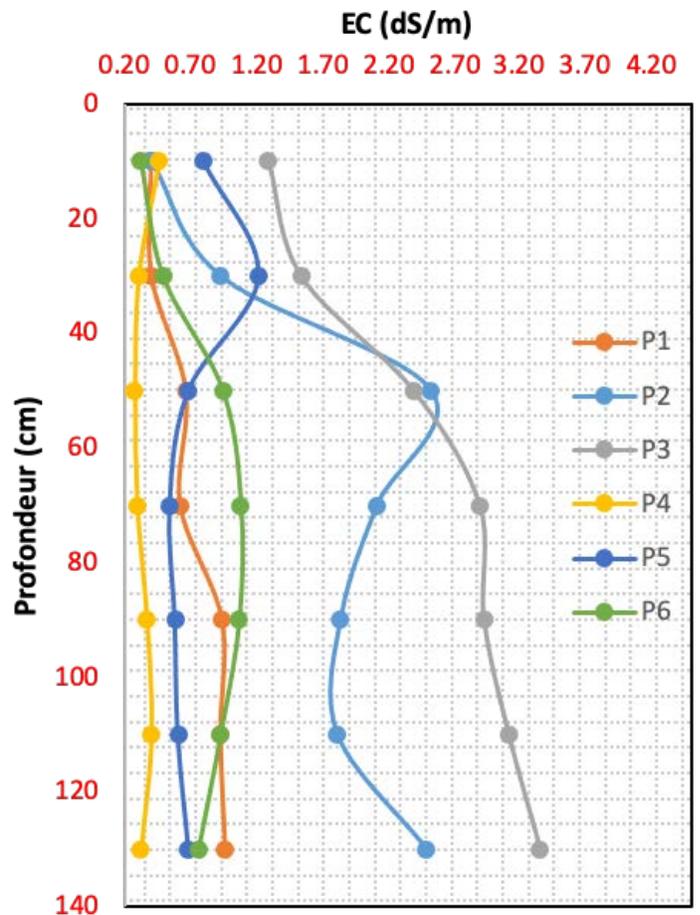


Figure 7. Distribution de la conductivité électrique en profondeur EC : conductivité électrique ; P1 à P6: profils.

L'analyse de la matrice de corrélation (Tableau 2) suggère qu'il existe une forte corrélation (0.98) entre ESP et SAR, tandis qu'un coefficient de corrélation modéré a été détecté entre SAR et EC. Ce même constat est valable pour la corrélation entre ESP et EC.

Tableau 2. Matrice de corrélation entre les paramètres de salinité

	EC	SAR	ESP
EC	1	-	-
SAR	0.75***	1	-
ESP	0.64***	0.98***	1

*** significatif à 5% du niveau significatif

EC : conductivité électrique | SAR : rapport d'adsorption du sodium | ESP : pourcentage de saturation par le sodium

LA CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU DU SOL

Elle correspond à la quantité d'eau qu'un sol peut retenir contre les forces de la gravité. Quand elle est maximale, elle coïncide à la capacité au champ du sol. Du fait de leur faible profondeur, les sols localisés sur les terrains pentus (Morne Chacha, Duvier, Kenscoff) ont une capacité limitée de rétention en eau.

Dans les plaines, la déstructuration des sols associée à l'intense utilisation des machines agricoles peut aussi réduire leur capacité de retenir l'eau à cause de la discontinuité des pores ou le compactage ; ce qui par conséquent provoque le ruissellement et limite l'infiltration de l'eau dans le sol.

L'ÉROSION DES SOLS

Dans la zone d'intervention l'érosion demeure l'un des problèmes de dégradation les plus dommageables affectant la fertilité et la productivité des sols. Bien que les reliefs accentués prédisposent les sols à l'érosion, les effets de l'érosion hydriques, à des degrés divers, sont perceptibles sur tous types de terrain y compris ceux à relief plat.

Du fait de la complexité géomorphologique, de la forte densité populationnelle et des pratiques culturales qui transgressent les limites de résilience des sols, l'érosion des sols est devenue un enjeu environnemental difficilement contrôlable.

Le lessivage des particules colloïdales et des nutriments du sol à cause de l'érosion hydrique réduit

significativement la fertilité des sols tout en diminuant leur profondeur par l'élimination des horizons de surface. Cette situation se rencontre surtout sur les terrains à relief montagneux voire escarpé où les affleurements rocheux sont assez spectaculaires.

L'EXPORTATION DES NUTRIMENTS PAR LES CULTURES

Les espèces cultivées prélèvent dans le sol la majeure partie des nutriments dont elles ont besoin pour accomplir leur cycle cultural. L'exportation de ces nutriments par les plantes crée un déséquilibre dans le sol qui s'appauvrit progressivement.

Les sols chimiquement pauvres ne sont pas en mesure d'assurer un rendement appréciable et de qualité.

Dans la zone d'intervention, les agriculteurs restituent très peu les nutriments exportés par les cultures. L'application des fertilisants minéraux ou organiques ne suit pas les principes de base de la fertilisation, lesquels requièrent un diagnostic préalable de la disponibilité des macro-nutriments (N, P, K, Ca, Mg, S) ainsi que de micro-éléments ou oligo-élément (Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo, Cl, etc.).

Il faut aussi souligner que très peu d'agriculteurs sollicitent les services des techniciens ou d'un laboratoire pour faire évaluer la fertilité de leurs parcelles. En d'autres termes, la demande pour des analyses de sols auprès des institutions comme le Centre Rural de Développement Durable (CRDD) de Bas Boën et la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV/UEH) demeure assez faible. Cette situation peut être

due au fait que l'agriculteur n'a pas encore compris l'importance d'une telle démarche.

Ce constat a été fait durant l'implémentation du projet AREA, au cours de laquelle une collaboration a été établie entre le projet AREA et ces institutions.

4. EVALUATION DE LA FERTILITE DES SOLS

L'agriculteur peut évaluer le niveau de fertilité des sols en observant au niveau de la parcelle, le développement des plantes. Cette approche est économiquement préjudiciable dans la mesure où l'apparition des symptômes de déficience sur les plantes affecte le rendement des cultures.

En vue de se prémunir contre ce problème, il importe d'évaluer la fertilité des sols en prenant en compte plusieurs étapes qui vont de l'échantillonnage à l'interprétation des résultats des analyses.

Pour que les résultats des analyses reflètent l'état de fertilité du sol, ils doivent être issus d'échantillons qui soient représentatifs du degré d'hétérogénéité et de l'histoire d'utilisation du terrain.

ÉCHANTILLONNAGE

Les recommandations dans le sens de l'amélioration de la fertilité des sols peuvent être adéquatement formulées si l'échantillonnage des sols à analyser capture la variabilité existant au niveau de la parcelle ou du terrain.

Il existe plusieurs méthodes d'échantillonnage dont :

- Aléatoire
- En zigzag
- Stratifié
- Aléatoire stratifié
- Systématique

Le choix d'une technique d'échantillonnage dépend des objectifs de l'étude, de l'histoire d'utilisation et de la complexité géomorphologique du terrain.

Dans le cadre des travaux effectués par la composante GFS, la méthode d'échantillonnage aléatoire et stratifiée a surtout été utilisée du fait que certaines zones d'intervention où des études de caractérisation ont été réalisées étaient assez hétérogènes. Cette méthode s'appuie sur la technique du *conditioned Latin hypercube sampling* (cLHS). La stratification peut aussi se baser sur l'emploi de variables environnementales et topographiques. Il est possible d'observer que l'échantillon choisi selon cette technique automatisée et

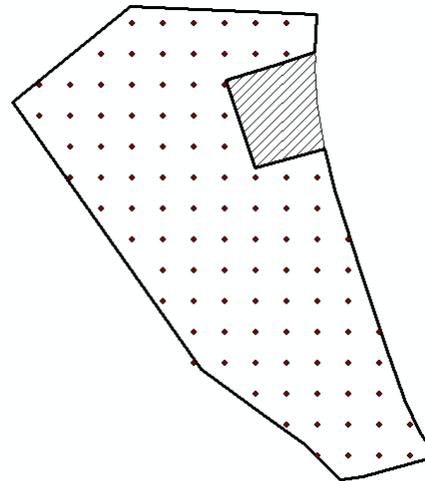


Figure 8. Exemple d'échantillonnage systématique.

la population ont la même moyenne et la même variance, vérifiables statistiquement.

La profondeur d'échantillonnage ainsi que le nombre d'échantillons à prélever dépendent des types de cultures, du niveau de précision recherchée et des moyens financiers disponibles. Analyses de sols et de tissus végétaux

Les analyses du sol et de tissus végétaux sont des outils importants pour un suivi régulier de l'état de fertilité du sol. Elles renseignent sur la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires à la croissance et au développement des cultures.

Ces analyses fournissent les informations qui favorisent une gestion adéquate des nutriments du sol et une application optimale des fertilisants.

Il existe différentes méthodes d'analyse les une plus rigoureuses que les autres. D'une manière générale, la précision et l'exactitude des résultats des analyses selon les méthodes standards dépendent de plusieurs éléments tels que :

- La méthode ou les procédures d'analyse
- Le calibrage et la qualité des équipements et la verrerie
- La qualité des réactifs
- La précision dans les pesées et mesures
- Les dispositions prises pour éviter la contamination des échantillons
- L'expérience du technicien

À côté des méthodes standards qui sont appropriées surtout pour les travaux de recherche, des kits d'analyse

sont actuellement disponibles sur divers marchés. Ces kits fournissent des résultats bien plus rapides que les analyses réalisées dans les laboratoires de sol où sont appliquées ces méthodes standards. Toutefois, il est important d'évaluer l'exactitude des résultats obtenus à partir de l'utilisation de ces kits, en se servant des échantillons de référence ou en comparant statistiquement les données issues d'un même échantillon analysé selon les deux méthodes.

Contrairement aux analyses de sols, l'analyse des tissus végétaux peut expliquer de manière plus pratique la disponibilité des nutriments pour les cultures. Il est admis que tous les nutriments rencontrés dans la solution du sol peuvent ne pas être absorbés par les cultures. Dans ce contexte, l'analyse des tissus en complémentarité aux analyses de sol, permet de mieux évaluer l'état nutritionnel des espèces cultivées, tout en révélant les déséquilibres en éléments nutritifs susceptibles d'affecter le rendement.

Les responsables de la composante GFS a réalisé plusieurs ateliers de formation durant lesquels des aspects en lien avec les méthodes d'analyses ont été abordés.

Durant l'été de l'année 2019, une formation a été réalisée dans un laboratoire de sol de l'Université de Floride (UF), à Gainesville.

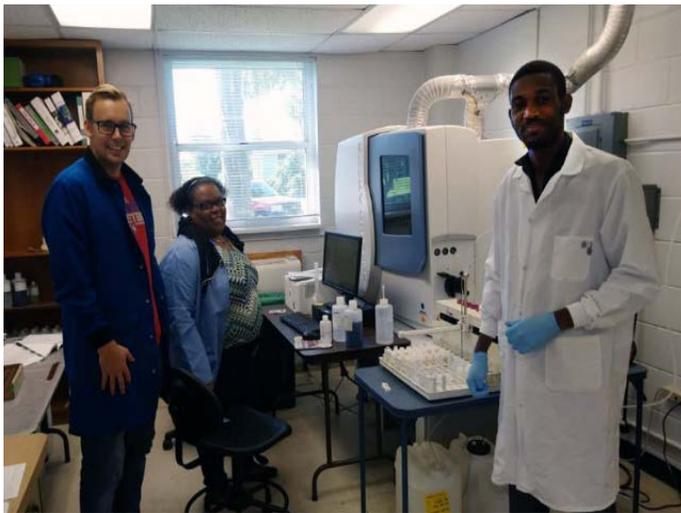


Figure 9. Marie Carmel T. Alcindor (au milieu) et Carl Antony (à droite) accompagnés de Dereck Tornwall (technicien au lab de UF) lors de la formation à Gainesville, Floride.

La formation s'est déroulée sur les thématiques comme l'instrumentation, les procédures d'analyse et le contrôle de la qualité des analyses.

MÉTHODE D'ANALYSE ET CALIBRAGE

Les nutriments disponibles dans les échantillons de sol prélevés à une profondeur bien définie sont normalement extraits par une substance chimique ou extracteur qui simule la manière dont les cultures absorbent les éléments nutritifs dans la solution du sol. À cause de la grande diversité des types de sols, plusieurs extracteurs ont été mis au point dont Olsen, Mehlich-1, Mehlich-3, Bray, Acétate d'ammonium, etc.

En vue de choisir l'extracteur approprié pour l'analyse d'un type de sol bien déterminé, il est nécessaire de recourir au calibrage qui consiste à corréliser les nutriments contenus dans les tissus analysés à ceux déterminés par une méthode d'extraction.

Actuellement, Mehlich-3 est très utilisé pour les analyses, particulièrement les sols alcalins. Tandis que, le Mehlich-1 est plus approprié pour les sols très acides, riches en oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium.

Les échantillons collectés dans le cadre du projet AREA ont été analysés en utilisant le Mehlich-3 (Tableau 3). Et les résultats ont reflété le niveau de fertilité de ces sols dont l'historique d'utilisation a été bien distincte.

Au CRDD de Bas Boën, les sols ont été cultivés de manière intensive selon un système d'agriculture conventionnelle. Les teneurs en nitrate, potassium et fer anormalement élevées sont indicatrices des résidus de fertilisants qui ont été récemment appliqués sur le terrain en question, bien qu'il soit reconnu que les sols de la plaine du Cul-de-Sac et de Cabaret ont une teneur élevée en potassium.

Tableau 3. Caractérisation de la fertilité des sols au CRDD de Bas Boën (Ganthier)

Num Lab	Ca (ppm)	Cu	Fe	K	Mg	Mn	NO ³ -N	Na	P	Zn	pH
R259890	24756.70	1.02	22.53	605.70	496.26	27.62	59.54	244.96	14.18	2.32	8.52
R259891	24735.70	0.99	24.95	623.18	491.34	32.18	88.63	436.12	15.08	2.32	8.57
R259892	24739.70	1.08	23.48	378.68	526.48	26.13	29.80	421.33	10.37	2.20	8.85
R259893	24737.70	0.96	25.33	489.03	535.66	30.16	25.87	432.26	9.96	2.16	8.91
R259894	24742.30	1.06	26.56	561.65	554.63	29.36	28.83	376.36	10.66	2.40	8.88
R259895	24726.50	1.11	23.59	422.73	549.19	26.64	28.03	309.38	14.09	2.32	8.88
Moyenne	24739.77	1.03	24.41	513.50	525.59	28.68	43.45	370.07	12.39	2.29	8.77
CV (%)	0.0	5.5	6.0	19.4	5.1	8.0	58.7	21.0	18.5	3.9	2.0

Les résultats des analyses réalisées pour les sols de Cabaret (Tableau 4) ont révélé des teneurs plus faibles pour tous les éléments analysés, comparativement aux sols de Bas Boën. Les échantillons ont été collectés à 20 cm de profondeur dans une parcelle de sorgho, cultivé sans apport de fertilisants.

Tableau 4. Caractérisation de la fertilité des sols à Cabaret (Ouest)

Num Lab	Ca (ppm)	Cu	Fe	K	Mg	Mn	NO ³ -N	Na	P	Zn	pH
R259884	20086.70	3.27	64.00	97.17	453.88	35.35	6.21	116.23	4.11	1.38	8.52
R259885	23203.00	2.86	76.57	66.14	469.17	38.73	4.48	85.25	2.25	1.12	8.59
R259886	22320.30	2.85	73.14	86.55	496.84	35.87	5.33	104.35	2.55	1.04	8.54
R259887	22268.30	2.83	73.54	89.67	491.72	38.42	3.65	99.82	2.69	1.01	8.61
R259888	22991.50	2.76	70.05	81.54	496.16	35.09	5.80	84.17	2.77	1.26	8.55
R259889	21230.80	2.89	61.67	83.16	551.14	31.85	7.85	107.29	3.52	1.32	8.56
Moyenne	22016.77	2.91	69.83	84.04	493.15	35.89	5.55	99.52	2.98	1.19	8.56
CV (%)	5.3	6.2	8.4	12.3	6.7	7.0	26.2	12.7	23.3	12.9	0.39

Toutefois, il est nécessaire d'établir, par la recherche, les extracteurs qui sont les mieux appropriés pour les sols acides et alcalins de la région et même sur tout le territoire.

5. LES FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE POUR AMÉLIORER LA FERTILITÉ DES SOLS

Un ensemble de facteurs sont à considérer pour améliorer la fertilité des sols et y maintenir un bon équilibre d'éléments nutritifs.

APPLICATION DES FERTILISANTS MINÉRAUX

Les engrais minéraux, bien appliqués, favorisent une augmentation substantielle des rendements agricoles. En effet, l'application des fertilisants suppose l'adoption du principe des quatre Rs (Hochmuth et al., 2015). Selon

ce principe, la fourniture des nutriments nécessaires à la production des cultures implique de prêter attention à quatre facteurs majeurs de fertilisation: la bonne dose, la bonne source, la bonne localisation et le bon moment.

Ces principes sont, dans une certaine mesure, ignorés par les agriculteurs qui ne maîtrisent pas les démarches pour optimiser l'utilisation des engrais par les cultures.

L'utilisation des engrais chimiques reste très peu répandue dans la zone à cause de l'accès limité des agriculteurs à ces intrants ; mais surtout en raison de la situation de précarité économique à laquelle ces agriculteurs se trouvent confrontés. Aussi il n'existe

pas une grande diversité de formules disponibles sur le marché national.

Le projet AREA a introduit différentes formules d'engrais (Tableau 5) qui sont supposées répondre à la fois aux besoins des cultures pratiquées dans la zone et aux

caractéristiques des sols de la région. Ces formules doivent être testées sur les cultures les plus pratiquées à travers des essais.

Tableau 5. Formules d'engrais introduites par AREA dans le cadre de la composante "gestion de la fertilité des sols"

Désignation	Formule (N-P-K)	Recommandations par rapport au pH
Urée	46-0-0	Tout type
TSP	0-46-0	Tout type
MOP ¹	0-0-52	Acide
N-P-K	10-10-10 + Fe, Zn, Cu, Mn	Alcalin
Sulfate d'ammonium	21-0-0 + 24% S	Alcalin
Micronutriments	B (2.4%) ; Cu (2.4), Fe (14.4%) ; Mn (6,0%) ; Mo (0.06%) ; Zn (5.6%)	Alcalin

¹ Les sols alcalins dans la plaine du Cul-de-Sac présentent naturellement une teneur élevée en potassium

LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LA GESTION DE LA FERTILITÉ DES SOLS

La matière organique est un bon indicateur de la qualité des sols et joue un rôle fondamental dans la santé des sols. Les sols ayant une bonne teneur en matière organique (~ 5%) sont généralement plus productifs en raison de son influence positive sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Parmi ces propriétés, citons:

- l'agrégation du sol ou la formation de structures
- l'infiltration et la rétention en eau
- la réduction de la densité apparente
- l'augmentation de la capacité d'échange cationique (CEC)
- la libération de nutriments (macronutriments et micronutriments)
- l'activité des microorganismes.

Dans le corridor FTFW, le pourcentage en matière organique des sols varie beaucoup. Cette variation est contrôlée par plusieurs facteurs tels que : les types de sol, la couverture et le mode d'utilisation du sol et les techniques culturales avec ou sans labour.

Ainsi une étude pilote conduite par AREA (composante GFS) dans le bassin versant de la rivière Bretelle a permis de vérifier la forte influence des types de sol sur le stockage du carbone dans le sol (Tableau 6).

Tableau 6. Influence du type de sol, de la couverture et de l'utilisation des terres sur le stock de carbone organique du sol

Traitements	Stock de carbon (t/ha)
Classes de sol	
Typic Ustorthents	74,3 a
Lithic Calciustepts	63,8 ab
Lithic Ustorthents	52,2 abc
Typic Haplustepts	41,0 bc
Fluventic Haplustepts	31,3 c
Valeur-P	9.28e-06***
Classe de couverture et d'utilisation	
Bâtis	59,0 a
Sol nu	52,8 a
Végétation	49,4 a
Agriculture	32,4 a
Valeur-P	0,749076ns
COS x CUT	0,000585***

Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas statistiquement significative au seuil critique de 5% ; ns : non significatif ; *** différence hautement significative au seuil critique de 1%.

COS x CUT : Interaction entre le carbone organique du sol et la couverture et l'utilisation des terres.

LES CULTURES DE COUVERTURE ET LES ENGRAIS VERTS

Les cultures de couverture et les engrais verts sont préconisés dans l'amélioration de la fertilité des sols. Ils contribuent à l'augmentation de la teneur en matière organique du sol, favorisent la biofixation de l'azote grâce à l'association symbiotique rhizobia-légumineuses et limitent l'érosion des sols.

L'azote étant un macronutriment primaire souvent déficient dans le sol, joue un rôle essentiel dans le métabolisme général des plantes. Pour suppléer aux déficiences des sols en azote, les agriculteurs ont souvent recours aux engrais minéraux conventionnels (Urée, sulfate d'ammonium, etc.) qui occasionnent une augmentation des charges d'exploitation. Pourtant, les

cultures de couverture associées aux engrais verts peuvent offrir de nombreux bénéfices agronomiques tout en contribuant à fournir divers services écosystémiques.

Plusieurs espèces d'engrais verts peuvent être utilisées comme : *Canavalia* sp, *Crotalaria* sp, *Mucuna* (velvetbean), *Lablab purpureus* (pois nourrice), *Cajanus cajan* (pois congo), etc.

En effet, l'étude conduite par Adair et al. (2018) sur l'effet des cultures de couverture sur le contrôle des mauvaises herbes (Tableau 7) et d'espèces de nématodes (Tableau 8) parasites des plantes cultivées (*Meloidogyne* sp) est révélatrice des effets bénéfiques des associations multispécifiques sur, entre autres, la production de biomasse.

Tableau 7. Biomasse fraîche (kg·ha-1) de mauvaises herbes à 30 et 60 jours après plantation (JAP)^z à Bas Boën et Duvier

Traitements	Bas Boën		Duvier	
	30 JAP	60 JAP	30 JAP	60 JAP
Natural fallow	4915	4441	3465 a	4850
SHy	3216	4175	2481 ab	4884
SH/SS	3025	6908	2256 ab	3298
CP	1963	8214	1575 b	3283
CP/SS	1825	2508	1415 b	4367
LB	1703	3326	1480 b	2770
LB/SS	3014	3495	1344 b	2643
SH/CP/LB/SS	1793	2035	2185 b	2573
Niveau de significativité	NS	NS	*	NS

^zData are LS means of four replications of each treatment per site, determined using samples from within a 0.5 m × 0.5 m quadrat from each plot.

ySH = sunn hemp; SS = sorghum sudangrass; CP = cowpea; LB = lablab.

*Significatif ($P < 0.05$); NS = pas de difference significative

La même étude a également révélé l'influence des cultures de couverture sur la population de *Meloidogyne* et le facteur de reproduction de celui-ci (Tableau 8). Il faut mentionner que cette étude a été réalisée en Haïti dans le cadre la thèse de master de Robyn Adair avec l'appui du projet AREA.

Tableau 8. Population et facteur de reproduction de *Meloidogyne* sp à Bas Boën.

Traitements	Pi	Pf	RFy
Natural fallow ^x	2.5	3.3	1.02 ab
SH	8.0	3.0	0.40 b
SH/SS	8.3	1.5	0.26 b
CP	1.8	1.5	0.96 ab
CP/SS	8.0	4.0	0.63 ab
LB	1.8	8.3	3.04 a
LB/SS	8.3	0.5	0.23 b
SH/CP/LB/SS	1.3	2.5	1.19 ab

^zPi and Pf are least square means of nematode populations before planting (Pi) and at termination (Pf), of four replications of each treatment, respectively.

yRF values [$Pf+1/Pi+1$] are least square means of four replications from each cover crop or natural fallow plot shown. Least squares means followed by the same letters were not different ($P \leq 0.05$). $RF > 1$ represents a good nematode host; $RF < 1$ is a poor host.

^xNatural fallow plots composed of 82% *Portulaca oleracea*. SH = sunn Hemp, SS=Sorghum sudangrass; CP = cowpea; LB = lablab.

LES PRATIQUES CULTURALES ADÉQUATES

La mise en culture des terres induit l'exportation des nutriments du sol ; ce qui, par conséquent, contribue à l'appauvrissement des sols. Pour suppléer aux carences en ces nutriments, les pratiques culturales généralement adoptées impliquent l'utilisation des fertilisants minéraux, de la matière organique et d'engrais verts. D'autres pratiques agronomiques basées sur des principes d'association de cultures et de rotations sont essentielles pour le maintien de l'équilibre des nutriments du sol.

Ainsi les associations de céréales avec des légumineuses sont assez fréquentes dans les parcelles paysannes.

Différentes méthodes de cultures contribuent à l'amélioration de la fertilité des sols comme :

- Les cultures intercalaires
- Les cultures en relai
- Les jachères améliorées

La pratique du paillage (couverture morte) est également un moyen pour limiter l'évaporation du sol et conséquemment réduire la remontée de sels en surface par l'ascension capillaire. Elle est un excellent moyen de

lutte contre l'érosion et la salinisation des sols. Elle aide aussi à maintenir l'humidité du sol.

Si ces pailles se transforment en humus et subséquemment se minéralisent, elles deviennent une source d'éléments nutritifs pour les cultures. Les effets bénéfiques du paillage peuvent être assez expressifs dans des sols alcalins qui sont généralement affectés par la carence en micronutriments et en phosphore assimilable.

6. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS

La gestion de la fertilité des sols va au-delà des apports des fertilisants minéraux ou organiques. Elle sous-entend la prise en compte des limitations qui empêchent aux sols d'exprimer leur potentiel productif. Dès lors, le diagnostic de la fertilité des sols assorti de l'évaluation de l'état nutritionnel des plantes devient un outil indispensable dans la gestion des éléments nutritifs du sol, laquelle conditionne l'optimum économique. Pour réaliser un diagnostic qui reflète l'état de fertilité des sols, il est nécessaire de disposer d'un laboratoire suffisamment équipé pour réaliser des analyses selon des méthodes standards, c'est-à-dire un laboratoire qui adopte des



Figure 10. Entretien avec un agriculteur sur les pratiques culturales.

procédures d'analyses qui garantissent la précision et l'exactitude des résultats. Ce qui requiert des techniciens de laboratoire bien entraînés et qualifiés pour appliquer strictement les méthodes d'analyse et assurer la qualité des résultats.

En effet, les études de caractérisation des sols de la région ont permis de constater que ces sols présentaient, du point de vue pédogénétique, un bon niveau de fertilité naturelle avec une saturation par bases proche de 100%. Cependant, en se basant sur leurs caractéristiques distinctives, certaines limitations ont été décelées dont les plus manifestes sont : le pH alcalin des plaines alluviales, le pH acides des montagnes humides, l'érosion des sols, la faible profondeur des sols en terrains pentus et la présence des poches de salinité.

Dans ce contexte, pour une gestion intégrée de la fertilité des sols, il s'avère nécessaire d'adopter plusieurs mesures agronomiques, y incluant :

- Le lessivage et le drainage latéral des sels par l'eau d'irrigation de bonne qualité, surtout dans les zones à plus forte teneur en sels.
- La pratique du paillage (couverture morte) comme moyen de limiter l'évaporation du sol ; et conséquemment réduire la remontée de sels en surface en raison de l'ascension capillaire.
- L'incorporation d'engrais verts (*Crotalaria juncea*, *Mucuna atterima*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, etc.) dans les itinéraires techniques durant la période de jachère permettra non seulement de maintenir le sol à couvert mais aussi de favoriser la fixation d'azote, le contrôle des nématodes et l'augmentation du stock de carbone dans le sol.

- L'utilisation de fertilisants acidifiants et foliaires dans les zones de plaines est de nature à minimiser les effets de l'alcalinité sur la nutrition minérale des espèces cultivées. Les fertilisants comme : le phosphate d'ammonium, nitrate d'ammonium, Sulfate d'ammonium, Sulfate ferrique, Gypse, Urée, superphosphate triples et associés à des formules foliaires à plusieurs micro-éléments pourront fournir de bons résultats.
- La construction et la réhabilitation des infrastructures hydroagricoles pour assurer la disponibilité de l'eau d'irrigation n'est pas à négliger dans une démarche qui vise l'augmentation de la productivité agricole.
- Le contrôle de l'érosion sur les terrains à forte déclivité est une nécessité qui interpelle à une conjugaison d'efforts de la part des acteurs en vue de rendre durable le système d'agriculture de montagne.
- Il faut enfin, souligner que l'amélioration de la fertilité des sols est une étape importante dans l'accroissement substantiel des rendements des cultures. Néanmoins, sachant que le rendement est le résultat de l'interaction entre les facteurs génétiques et environnementaux, l'accent doit également être mis sur les autres facteurs comme :
 - » La disponibilité de matériels génétiques performants (variétés améliorées)
 - » Le contrôle des ravageurs et des pathologies des plantes
 - » L'élimination des mauvaises herbes
 - » L'irrigation avec de l'eau de qualité

BIBLIOGRAPHIE

- ADAIR, R., CHASE, C. A., SWISHER, M. E., MENGISTU, T. M., & JEUNE, W. (2018). Potential cover crop options for nematode and weed suppression in Haiti. In Proceedings of the Florida State Horticultural Society (Vol. 131, pp. 132-137). Florida State Horticultural Society.
- BRADY, N. C., & WEIL, R. R. (2002). The nature and properties of soils Upper Saddle River.
- CELESTIN, F., MYLAVARAPU, R., HOCHMUTH, G., LI, Y., JEUNE, W., & VAN SANTEN, E. (2019). Response of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to phosphorus fertilization in acidic and alkaline soils in Haiti. *Journal of Plant Nutrition*, 1-9.
- CHILDS, S. & HANKS, R.J., 1975. Model of soil salinity effects on crop growth. *Soil Science Society of America Journal*, 39(4), pp. 617-622.
- COLMET-DAAGE, F.; DELAUNE, M.; ROBBART, F.; LOHIER, G.; YOUANCE, J.;
- GAUTHEYROU, J. et M.; FUSIL, G.; KOUKOU, M. Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haïti situés sur calcaires durs. *Cahier O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, v. 7, n. 3, p. 1-71, 1969.
- GUTHRIE, R. L., & SHANNON, D. A. (1995). Soil profile descriptions for steeplands research sites in Haiti. United States Agency for International Development, Soil Management Collaborative Research Support Program, Auburn University.
- HIJMANS, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, P.G. JONES AND A. JARVIS. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. 2005.
- HOCHMUTH, G., MYLAVARAPU, R., & HANLON, E. (2015). The four Rs of fertilizer management. *Nutrient management of vegetable and row crops handbook*. Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida, Gainesville, FL, USA, 5-7.
- HORNECK, D. A., ELLSWORTH, J. W., HOPKINS, B. G., SULLIVAN, D. M., & STEVENS, R. G. (2007). Managing salt-affected soils for crop production.
- JEUNE, W. Solos e ambientes no Haiti ocidental: Gênese, classificação e mapeamento. 2015. 182 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.
- JEUNE, W., FRANCELINO, M. R., SOUZA, E. D., FERNANDES FILHO, E. I., & ROCHA, G. C. (2018). Multinomial logistic regression and random forest classifiers in digital mapping of soil classes in western Haiti. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.
- KOOHAFKAN, A. P; LILIN, CH. Arbres et arbustes d'Haïti. *MARNDR, FAO, Haïti*. 1989. pp 133.
- LIBOHOVA, Z., WYSOCKI, D., SCHOENEBERGER, P., REINSCH, T., KOME, C., ROLFES, T., & MATOS, M. (2017). Soils and climate of Cul de Sac Valley, Haiti: a soil water and geomorphology perspective. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(2), 91-101.
- RHOADES, J. D., CHANDUVI, F., & LESCH, S. M. (1999). Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements (No. 57). *Food & Agriculture Org.*
- WOODRING, W.P., J.S. BROWN, AND W.S. BURBANK. *Geology of the Republic of Haiti*. Department of Public Works, Baltimore, Maryland: Lord Baltimore Press. 1924. 631p.





FEED ^{THE} FUTURE

The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative