



Monitoring du sol dans un système en permaculture au Togo

Savane tropicale humide, Région maritime

Travail de Bachelor réalisé par Bühler Célia
Sous la responsabilité de Kellermann Liv
Zollikofen, le 6 décembre 2021

Déclaration sur la propriété intellectuelle et l'octroi des droits d'utilisation

Par ma signature, je déclare :

- connaître les Directives sur la gestion des plagiat à la Haute école spécialisée bernoise ainsi que les conséquences de leur non-respect ;
- m'y être conformé-e lors de la réalisation de ce travail ;
- avoir réalisé ce travail personnellement et de manière autonome ;
- accepter que mon travail soit testé à l'aide d'un logiciel de détection des plagiat et conservé dans la base de données de la BFH ;
- accorder à la HAFL, à titre non exclusif, un droit d'utilisation gratuit et non limité dans le temps de ce travail.

Lieu et date : Zollikofen, le 6 décembre 2021

Signature : Tuhler

Avis concernant l'utilisation des travaux estudiantins de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL

Tous les droits relatifs aux travaux de semestre, de minor, de bachelor ou de master sont propriété de leur auteur-e. Cependant, la HAFL détient, à titre non exclusif, un droit d'usage gratuit et non limité dans le temps.

Les travaux de semestre, de minor, de bachelor et de master font partie du cursus de la HAFL et sont rédigés par les étudiant-e-s de manière autonome. L'école décline toute responsabilité pour les erreurs qu'ils pourraient contenir et ne répond pas des dommages qui en découleraient le cas échéant.

Zollikofen, décembre 2015
La Direction

Table des matières

| | |
|---|----|
| Liste des abréviations | 1 |
| Liste des tableaux | 1 |
| Liste des figures | 1 |
| Résumé | 4 |
| 1 Introduction | 5 |
| 2 État des connaissances | 7 |
| 2.1 Permaculture : définition, concepts et recherche | 7 |
| 2.1.1 Permaculture et littérature scientifique | 7 |
| 2.2 Permaculture : effets et adoption | 9 |
| 2.2.1 Bénéfices pour le sol | 9 |
| 2.2.2 Autres bénéfices de la permaculture | 11 |
| 2.2.3 Barrières potentielles à l'adoption de la permaculture | 12 |
| 2.3 Monitoring du sol | 12 |
| 2.3.1 Santé du sol : définition et approches | 12 |
| 2.3.2 Paramètres de santé du sol : aperçu global | 12 |
| 3 Contexte | 15 |
| 3.1 Zone d'étude | 15 |
| 3.1.1 Situation géographique | 15 |
| 3.1.2 Climat | 15 |
| 3.1.3 Géologie et relief | 16 |
| 3.1.4 Pédologie | 17 |
| 3.2 Systèmes agricoles à Donomadé | 18 |
| 3.2.1 Typologie des ménages | 18 |
| 3.2.2 Champs et cultures | 20 |
| 3.2.3 Travaux du sol | 21 |
| 3.2.4 Résidus de récolte | 21 |
| 3.2.5 Élevage | 21 |
| 3.3 Système agricole de la FeMoDo | 22 |
| 3.3.1 Systèmes agroforestiers | 22 |
| 3.3.2 Paillage | 23 |
| 3.3.3 Mécanisation | 24 |
| 3.3.4 Engrais et traitements phytosanitaires | 24 |
| 3.4 Dynamique locale | 24 |
| 4 Méthodes | 25 |
| 4.1 Description du système sol | 25 |
| 4.1.1 Référencement et définition des points de mesure | 25 |
| 4.1.2 Sondages | 27 |
| 4.1.3 Profils | 27 |
| 4.2 Monitoring du sol | 28 |
| 4.2.1 Test à la bêche et Visual scoring (VS) de la structure | 28 |
| 4.2.2 Comptage des vers de terre et arthropodes | 29 |
| 4.2.3 Tea Bag Index (TBI) | 29 |
| 4.2.4 Mesure de l'humidité et de la température du sol | 30 |
| 4.3 Analyses statistiques | 32 |
| 4.3.1 Test T et test U de Mann-Whitney | 32 |
| 4.3.2 Modèles linéaires mixtes de séries temporelles | 32 |
| 4.4 Revue de la littérature | 33 |
| 4.5 Interviews de agriculteurs/-trices intégrés au monitoring | 33 |
| 5 Résultats et discussion | 34 |
| 5.1 Système sol à Donomadé | 34 |
| 5.1.1 Sondages à la tarière | 34 |

| | |
|--|----|
| 5.1.2 Profils de sol | 36 |
| 5.2 Monitoring du sol à la FeMoDo | 38 |
| 5.2.1 Tests à la bêche | 38 |
| 5.2.2 Vers de terre et arthropodes | 41 |
| 5.2.3 Tea Bag Index (TBI) | 42 |
| 5.2.4 Température du sol | 43 |
| 5.2.5 Humidité du sol | 46 |
| 5.3 Agriculteurs/-trices intégrés au monitoring | 49 |
| 5.3.1 Résultats | 49 |
| Perception du paillage | 50 |
| Coûts comparés du paillage et du système conventionnel | 50 |
| 5.3.2 Discussion | 51 |
| 6 Discussion générale | 53 |
| 6.1 Limitation de l'étude | 53 |
| 6.2 Pertinence d'un monitoring du sol à la FeMoDo | 53 |
| 6.3 Promotion d'innovations agricoles : rôles et responsabilités | 53 |
| 7 Conclusion et recommandations | 54 |
| 8 Bibliographie | 56 |
| Remerciements | 59 |
| Annexes | 60 |
| A. Fiches de relevé sondages | 60 |
| B. Formulaire de relevé pour le test à la bêche | 77 |
| C. Points de repère pour les points de mesure | 78 |
| D. Comptage arthropodes | 79 |
| E. Plots diagnostique analyse statistique R | 82 |
| F. Formulaire interview paysan-nes-s | 87 |
| G. Mandat | 93 |
| H. Annexe électronique | 95 |

Liste des abréviations

ETHZ : École Polytechnique Fédérale de Zürich

FeMoDo : Ferme Modèle de Donomadé

LBEV : Laboratoire de Botanique et d'Écologie Végétale de l'Université de Lomé

SPIRIT : Swiss Programme for International Research by Scientific Investigation Teams

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 Résumé des 12 principes de la permaculture selon David Holmgren | 8 |
| Tableau 2 Résumé des effets des techniques de permaculture sur des paramètres du sol choisis | 11 |
| Tableau 3 Liste des douze indicateurs sélectionnés pour le Biofunctool® | 14 |
| Tableau 4 Variables agricoles et socio-économiques de Donomadé en fonction du type de ménage | 18 |
| Tableau 5 Calendrier des six principales cultures à Donomadé (du semis à la récolte) | 20 |
| Tableau 6 Production végétale de la FeMoDo | 22 |
| Tableau 7 Nom des principales plantes composant le paillage à la FeMoDo et au village | 24 |
| Tableau 8 Points de référence pour le monitoring | 26 |
| Tableau 9 Paramètres du monitoring analysés avec un test T | 32 |
| Tableau 10 Relevé du profil de sol de la permaculture (FMD) | 36 |
| Tableau 11 Relevé du profil de sol du contrôle (FHN) | 37 |
| Tableau 12 Comptabilisation de l'état des sachets de thé après incubation de 39 jours | 42 |
| Tableau 13 Valeur de l'effect plot août 2021 | 43 |
| Tableau 14 Valeur de l'effect septembre 2021 | 44 |
| Tableau 15 Valeur de l'effect plot octobre 2021 | 44 |
| Tableau 16 Typologie des quatre agriculteurs/-trices intégré-e-s au monitoring | 49 |
| Tableau 17 Comparatif des coûts liés aux travaux du sol entre le système avec paillage et le système conventionnel pour un carré (400m ²) sur une année (12 mois) | 51 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 Définition stratifiée de la permaculture | 7 |
| Figure 2 Les résultats proportionnels des recherches parallèles pour "agroecology" (hachuré), la combinaison "agroecology" +"permaculture" (plein), et "permaculture" (lignes horizontales). Les nombres entre parenthèses indiquent le total combiné des réponses de chaque source de données | 7 |
| Figure 3 Fréquence de mention de huit paramètres les plus fréquents dans des études sur les couverts végétaux et le semis-direct | 13 |
| Figure 4 Exemple d'un rapport de monitoring du sol utilisant un code couleur comme output | 13 |
| Figure 5 Carte situation de la zone d'étude | 15 |
| Figure 6 Diagramme des précipitations journalières annuelles pour la station de Tabligbo | 15 |
| Figure 7 Extrait de la carte géologique simplifiée du Togo, Sud du pays | 16 |
| Figure 8 Carte du relief de la région de Donomadé | 16 |
| Figure 9 Carte pédologique du Togo | 17 |
| Figure 10 Extrait de la carte pédologique de A. Levêque | 17 |
| Figure 11 Forme d'exploitation de la surface cultivable en fonction du type de ménage | 19 |
| Figure 12 Exploitation de la surface cultivable en fonction du type de ménage | 19 |

| | |
|--|----|
| Figure 13 Ananas en culture associée avec les arachides (gauche) et ananas avec paillage (droite) | 20 |
| Figure 14 Champ d'ananas paillé avec manioc et bananiers | 20 |
| Figure 15 Champ labouré avant semis, avec palmiers déracinés et tas d'herbes brûlées | 21 |
| Figure 16 Enclos pour petits ruminants au village | 21 |
| Figure 17 Plan permacultural de la FeMoDo | 22 |
| Figure 18 Schéma cultural du système Attisso | 23 |
| Figure 19 Système Attisso avec haie fertilisante, bananiers, ananas paillés et papayers (de gauche à droite) | 23 |
| Figure 20 Carte du village et de la ferme avec les points de mesure | 25 |
| Figure 21 Schéma du carré de mesures pour le monitoring | 26 |
| Figure 22 Évaluation d'un sondage à la tarière | 27 |
| Figure 23 Creusement du profil de sol sur la parcelle en permaculture | 27 |
| Figure 24 Fourchette d'estimation de la profondeur utile d'horizons engorgés | 27 |
| Figure 25 Sous-type de sols en cas de mouillure par nappe permanente à battement (G) | 27 |
| Figure 26 Classes et notes de condition pour le Visual scoring (VS) de la structure | 28 |
| Figure 27 Matériel utilisé pour le comptage des vers de terre | 29 |
| Figure 28 Disposition des sachets de thé sur le champ | 29 |
| Figure 29 Disposition du TBI dans le carré de mesure | 29 |
| Figure 30 Schéma d'installation des loggers et tensiomètres | 31 |
| Figure 31 Tensiomètres sur le champ | 31 |
| Figure 32 Installation des loggers | 31 |
| Figure 33 Sondages à la tarière des points faisant partie du monitoring | 34 |
| Figure 34 Teneurs moyenne de texture par horizon, données issues des sondages (n=17) | 34 |
| Figure 35 | 34 |
| Figure 36 Boxplot valeur pH_{H_2O} dans l'horizon H1 (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.799$) | 35 |
| Figure 37 Boxplot teneur en matière organique de l'horizon 1 (H1) (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.045$) | 35 |
| Figure 38 Boxplot note de structure issue du test à la bêche | 38 |
| Figure 39 Boxplot note VESS | 38 |
| Figure 40 Fissure à la surface du sol sur la parcelle du point FHN8 (août 2021) | 38 |
| Figure 41 Visual scoring (VS) de la structure | 39 |
| Figure 42 Boxplot nombre de vers de terre par échantillon (18dm ³) | 41 |
| Figure 43 Boxplot nombre d'arthropodes par piège | 41 |
| Figure 44 Boxplot taux de décomposition k issu du TBI | 42 |
| Figure 45 Boxplot facteur de stabilisation S issu du TBI | 42 |
| Figure 46 Effect plot température du sol août 2021 | 43 |
| Figure 47 Effect plot température du sol septembre 2021 | 44 |
| Figure 48 Effect plot température du sol octobre 2021 | 44 |
| Figure 49 Variation des températures du sol à 2cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08) | 45 |
| Figure 50 Variation des températures du sol à 15cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08) | 45 |
| Figure 51 Variation des températures du sol à 35cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08) | 45 |
| Figure 52 Humidité du sol en fonction de la profondeur (août 2021) | 46 |
| Figure 53 Humidité du sol en fonction de la profondeur (octobre 2021) | 47 |
| Figure 54 Effect plot humidité du sol août 2021 | 47 |

| | |
|---|----|
| Figure 55 Effect plot humidité du sol août 2021 | 47 |
| Figure 56 Classes d'humidité par horizon pour la permaculture lors du test à la bêche (août 2021) | 48 |
| Figure 57 Classes d'humidité par horizon pour le contrôle lors du test à la bêche (août 2021) | 48 |
| Figure 58 Parcelle de maïs paillé à gauche et non paillé à droite, semés à la même date | 50 |

Résumé

BÜHLER Célia. Monitoring du sol dans un système en permaculture au Togo.

La thématique de la santé du sol n'a cessé de gagner en importance parmi les communautés scientifiques et agricoles mais elle a également gagné en visibilité auprès du grand public. La gestion durable des sols est reconnue comme une mesure cruciale en vue d'atténuer et de s'adapter au changement climatique. En tant que forme d'agroécologie, la permaculture peut apporter des solutions à ces enjeux. Pourtant elle n'est que peu considérée par la littérature scientifique.

Dans le cadre de ce travail un monitoring du sol a été développé et mis en place sur la ferme modèle en permaculture située à Donomadé (FeMoDo) au Togo. Les principales propriétés du sol ont été comparées entre les parcelles en permaculture et les parcelles conventionnelles des paysans de la région. Les types de sols ont été décrits avec des sondages à la tarière hollandaise. La structure du sol a été évaluée avec un test à la bêche (note VESS), les vers de terre ont été comptés, l'activité microbologique a été estimée avec le Tea Bag Index (TBI), la température et l'humidité du sol ont été mesurés avec des loggers respectivement des tensiomètres.

La teneur en matière organique dans le premier horizon était supérieure en permaculture (moyenne=4.7%) en comparaison au contrôle (moyenne=3.5%). Le nombre de vers de terre était significativement supérieur en permaculture (moyenne=5.8 vers/18dm³) comparé au conventionnel (moyenne=0.6/18dm³). C'était également le cas de la température du sol qui était significativement inférieure en permaculture à toutes les profondeurs (2cm, 15cm et 35cm). Pour le mois d'août, la température moyenne à 2cm sous la surface était de 28.69°C pour le contrôle et 27.05°C pour la permaculture. La valeur maximale atteinte sur le contrôle était de 39°C tandis que pour la permaculture elle était de 29°C, à la même date. Les notes VESS ont montré que les parcelles en permaculture avaient tendance à avoir une meilleure structure que celles en conventionnelles, sans que les résultats soient significatifs. L'humidité avait tendance à être supérieure en permaculture, sans que la différence soit significative. Finalement le TBI n'a pas montré de différence d'activité microbologique entre la permaculture et le contrôle. Dans le contexte de Donomadé, les parcelles conventionnelles sont principalement exposées au risque d'érosion hydrique en raison du travail intensif du sol (2 labours et 5 sarclages par année). La pratique du paillage proposée par la FeMoDo permet de réduire le travail du sol, de couvrir celui-ci pour le protéger de l'érosion et d'augmenter le stockage de l'humidité. Malgré les effets positifs du paillage, la charge de travail importante et la difficulté de se fournir en biomasse sont des freins évoqués par les paysans du village. Les arbres fruitiers (manguiers, bananiers, palmiers à huile, baobab) sont présents sur la majorité des parcelles conventionnelles.

Les méthodes du test à la bêche et du comptage de vers de terre sont simples, répliquables et peuvent être réalisés avec peu de matériel. Le test à la bêche permet d'évaluer un grand nombre d'indicateurs pertinents par observation et sans analyses de laboratoire. Le TBI est une méthode difficilement adaptable aux environnements riches en termites si peu de ressources sont à disposition pour protéger les sachets de thé de manière physique. Cette étude permet de constater que la santé des sols de Donomadé est bonne. L'enjeu des innovations apportées par la FeMoDo est principalement de maintenir la fertilité, la structure et les fonctions de ces sols. Le paillage permet de réduire la vulnérabilité à l'érosion et d'augmenter la capacité de rétention en eau du sol afin de faire face à l'irrégularité croissante des saisons des pluies.

Mots-clés : soil monitoring, soil health, permaculture, tropics

1 Introduction

Au cours de dernières années, la thématique de la santé du sol n'a cessé de gagner en importance parmi les communautés scientifiques et agricoles mais elle a également gagné en visibilité auprès du grand public. (Griffiths et al. 2018; Stewart et al. 2018; Pheap et al. 2019). La prise de conscience des multiples fonctions vitales des sols et des services écosystémiques qu'ils fournissent a mis en évidence la nécessité d'une gestion durable des sols. Les enjeux liés aux sols sont désormais reconnus comme primordiaux dans l'adaptation et l'atténuation du changement climatique (Pheap et al. 2019, Stewart et al. 2018). L'agroécologie et de l'agriculture de conservation permettent d'apporter des réponses à ces défis. Les pratiques qu'elles promeuvent sont notamment définies par une perturbation minimale du sol, un couvert permanent, une rotation diversifiée (Lahmar et al. 2012). La permaculture en tant que forme d'agroécologie applique et développe ces pratiques.

Les principes de la permaculture et de l'agroforesterie ont guidé l'ONG suisse Happy Togo et l'ONG togolaise Étoile Verte dans le développement de la ferme modèle à Donomadé (FeMoDo). Celle-ci se situe dans la région maritime du Togo, dans le Sud du pays. Comparativement à d'autres pays d'Afrique de l'Ouest comme le Ghana, le Bénin ou le Burkina Faso, le Togo "a reçu relativement peu d'attention de la part de la littérature scientifique" (Cornioley 2021). Pourtant, son secteur agricole représente plus de 40 % de son PIB et emploie près de 65 % de sa main-d'œuvre. (Mpoke-Bigg 2020). Comme le mentionne Cornioley (2021) dans son document de projet, la production agricole des petits exploitants "est vulnérable à un large éventail de facteurs de stress et de chocs environnementaux, notamment l'appauvrissement de la fertilité des sols (...) mais aussi le changement climatique, les ravageurs et les épidémies de maladies ". Les innovations proposées par le FeMoDo visent à réduire la vulnérabilité des petits exploitants face au changement climatique, notamment avec l'introduction du paillage et de l'agroforesterie. Un des objectifs est d'améliorer la santé des sols notamment en les protégeant de l'érosion et en améliorant la capacité de rétention de l'eau.

Bien que la permaculture ait gagné en visibilité au cours des dernières décennies, elle reste absente de la littérature scientifique contrairement à l'agriculture de conservation (CA) qui est passablement étudiée (Ferguson et Lovell 2014). Les multiples formes d'application et le manque d'une définition claire de la permaculture pourraient être les causes d'une fracture entre la communauté scientifique et la permaculture (ibid.). Pour le présent travail, la définition choisie est celle d'un système pratiquant le non-labour, la couverture permanente du sol avec du paillage, la rotation des cultures, les cultures associées ainsi que l'inclusion d'arbres fruitiers et fertilisants. De plus aucun engrais minéral ni de produits phytosanitaires de synthèse n'est utilisé.

Ce travail a pour objectif de documenter la santé du sol dans un système en permaculture. Toutefois lorsque le terme « santé du sol » est évoqué, les propriétés, indicateurs et méthodes peuvent grandement varier. Cette hétérogénéité rend difficile les comparaisons internationales, voire régionales (Stewart et al. 2018). Même si des efforts ont été faits pour standardiser le monitoring des sols dans les systèmes de culture conventionnels, il y a encore peu de recherches dans les systèmes alternatifs tels que la permaculture. Or afin de promouvoir des techniques culturelles innovantes, il est important de pouvoir les documenter de manière scientifique. Plusieurs questions restent néanmoins ouvertes : quels paramètres doivent être mesurés afin d'exprimer la santé du sol d'une manière dynamique et représentative ? Comment est-ce que le monitoring du sol peut-être à la fois standardisé et adapté aux conditions spécifiques du lieu ? Comment est-ce que les méthodes de monitoring du sol peuvent être adaptées à un environnement tropical, considérant le climat local spécifique ainsi que les ressources financières et techniques limitées ? L'objectif de cette étude est donc de répondre à ces questions en développant et initiant un monitoring du sol sur la ferme modèle FeMoDo. Les résultats obtenus pourront faire partie d'un projet d'observation international à long terme.

Questions de recherche

- a) Quelles sont les pratiques agricoles
 - a. conventionnelles du village de Donomadé ?
 - b. innovatives de la FeMoDo ?
- b) Quelles sont les caractéristiques principales du système sol à Donomadé ?
- c) Quelles sont les méthodes de monitoring du sol communément utilisées dans la littérature et lesquelles sont les plus pertinentes pour la permaculture ?
- d) Quelles méthodes de monitoring du sol sont les mieux adaptées au contexte tropical du Togo, à la fois d'un point de vue climatique et d'accessibilité du matériel ?
- e) Comment est-ce que les principales propriétés du sol diffèrent et évoluent-elles sur les parcelles exploitées selon les principes de la permaculture et sur celles exploitées selon les méthodes traditionnelles de la zone d'étude ?

Hypothèses

H0 : les principales propriétés du sol ne diffèrent pas entre les parcelles exploitées selon les principes de la permaculture et celles exploitées selon les méthodes traditionnelles

H1 : les principales propriétés du sol diffèrent entre les parcelles exploitées selon les principes de la permaculture et celles exploitées selon les méthodes traditionnelles

- f) Quelles sont les opportunités, les défis et les risques liés à l'introduction des innovations de la FeMoDo chez les paysans dans le contexte du village de Donomadé ?

2 État des connaissances

2.1 Permaculture : définition, concepts et recherche

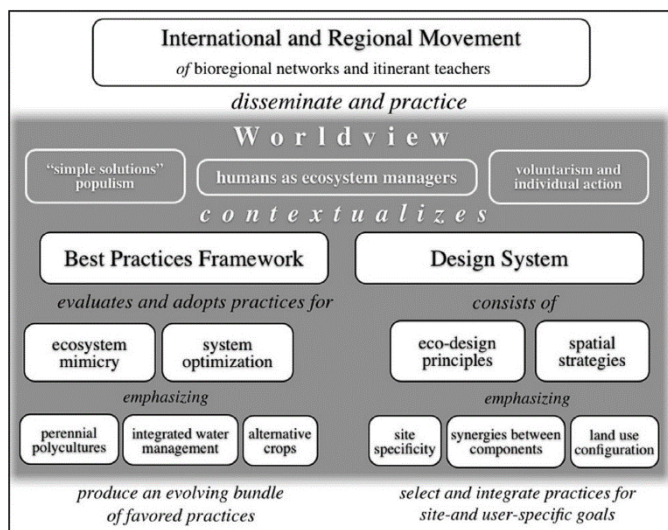


Figure 1 Définition stratifiée de la permaculture (Ferguson et Lovell 2014)

mouvement international, la vision du monde portée et promue par le mouvement, le système de design et un ensemble de bonnes pratiques (fig. 1). Ils relèvent également que le mouvement est fortement ancré dans la dimension régionale pour ce qui concerne son application, tout en gardant une attache forte à la pensée collective mondiale (ibid.).

Pour ce qui concerne la gestion du sol, la permaculture peut se traduire par des techniques telles que le paillage, le compost, les engrais verts, les engrais liquides, la succession écologique, la rotation des cultures, la polyculture diversifiée, l'agroforesterie, le biochar, la préparation du sol avec ou sans labour, l'aquaculture, les forêts-jardins et les cultures intercalaires (en particulier avec des légumineuses) (Nordin 2021). Les aspects retenus pour la définition de la permaculture dans le cadre de ce travail sont le non-labour, la couverture permanente du sol avec du paillage, la rotation des cultures et les cultures associées. Les cultures associées comprennent à la fois l'association de plusieurs espèces sur la même parcelle, mais également l'inclusion d'arbres (fruitiers et/ou fertilisants). Enfin, l'utilisation d'intrants minéraux et de produits phytosanitaires de synthèse n'est pas autorisée.

2.1.1 Permaculture et littérature scientifique

Malgré une augmentation des publications scientifiques sur la permaculture au cours des 10 dernières années, seuls 23.1% de celles-ci sont publiées dans le domaine des sciences du vivant (« life sciences ») (Ferguson et Lovell 2014). Ferguson et Lovell (2014) ont tenté d'expliquer l'éloignement entre la permaculture et la science. Selon eux, cette situation peut être expliquée d'une part par des affirmations « excessives et simplificatrices » faites par certains adeptes du mouvement, mais également par l'absence de projets de recherche multisites mesurant scientifiquement les effets de la permaculture (ibid.). À cela s'ajoute la difficulté de donner une définition claire de ce qu'est la permaculture, causant de la confusion et n'encourageant pas à une discussion rigoureuse et systématique (ibid.). Un autre aspect que relève en-

La permaculture est un courant de pensée basé sur l'agroécologie et fondé par Bill Mollison et David Holmgren dans les années 1970 (Mollison 2012; Nordin 2021). Il se base sur trois principes fondamentaux qui sont de (a) prendre soin de la terre, de (b) prendre soin des gens et de (c) partager le surplus (Rhodes 2012). Cela se traduit par des pratiques visant à imiter les écosystèmes naturels, en s'efforçant de garder une vue systémique et holistique (ibid.). En tant que système de conception la permaculture a pour objectif de mettre à disposition un set de techniques et de possibilités, en laissant à l'adoptant le soin d'évaluer et de choisir celles qui sont le mieux adaptées à sa situation (Nordin 2021). Ainsi la permaculture peut être adaptée à n'importe quel environnement (ibid.). En raison de cette diversité, il est difficile de définir la permaculture en englobant toutes ses variations. Ferguson et Lovell (2014) proposent une définition stratifiée divisée en quatre niveaux : le

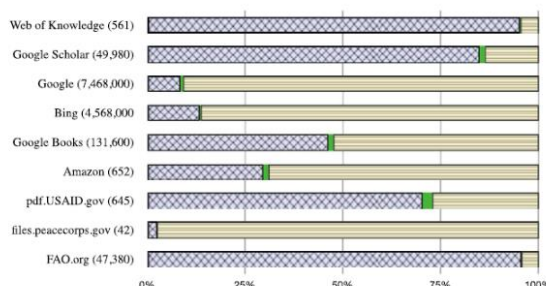


Figure 2 Les résultats proportionnels des recherches parallèles pour "agroecology" (hachuré), la combinaison "agroecology" + "permaculture" (plein), et "permaculture" (lignes horizontales). Les nombres entre parenthèses indiquent le total combiné des réponses de chaque source de données (Source : Ferguson et Lovell 2014)

core Ferguson et Lovell (2014) est que « les institutions académiques et les chercheurs sont souvent critiqués (*par les adeptes de la permaculture*) pour leur conservatisme, leur lenteur dans le changement, leur manque de vision et leur dépendance aux intérêts des entreprises ». Rhodes (2012) relève également que la permaculture n'est pas une approche valorisée par les centres de recherche CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) ni par les institutions de coopération au développement telles que la Banque mondiale. Les institutions internationales et la communauté scientifique préfèrent utiliser les termes « agroécologie » et « agriculture de conservation » (Ferguson et Lovell 2014). Cela se traduit par le nombre d'articles obtenus sur les principales plateformes de recherche comme Web of Knowledge et Google scholar (fig. 2) où le nombre d'articles pour une recherche avec « agroecolgy » est nettement supérieur à celui avec « permaculture ». Spécifiquement pour les sciences du sol, encore moins de littérature est disponible. L'étude faite au Bec-Hellouin en France (Tombeur et al. 2018) est un des rares exemples de recherche scientifique des effets de la permaculture sur les propriétés importantes du sol. Toutefois la permaculture peut être considérée comme une forme d'agroécologie (Hathaway 2016) ainsi qu'une forme d'agriculture de conservation (Chabert et Sarthou 2017). La permaculture promeut les trois principes de l'agriculture de conservation que sont (a) la rotation des cultures, (b) la couverture du sol et (c) le non-travail du sol (ibid.). L'agriculture de conservation n'exclut pas l'utilisation d'intrants chimiques et ne développe pas autant la pensée holistique que la permaculture (ibid.). En isolant les concepts de la permaculture, il est possible de trouver de la documentation scientifique correspondante. C'est ce que Krebs et Bach (2018) ont mis en évidence en reliant les 12 principes fondamentaux de la permaculture selon Holmgren avec des exemples de thématiques étudiés dans la littérature scientifique (tab. 1).

Tableau 1 Résumé des 12 principes de la permaculture selon David Holmgren (Source : Krebs et Bach 2018, traduction pers.)

| | Principe | Relation | Exemples de concepts liés étudiés scientifiquement |
|-----|--|---------------------------------------|--|
| I | Observer et interagir | Design, gestion | – Management adaptatif |
| II | Capter et stocker l'énergie | Structure de l'agroécosystème | – Application de paillis organique – Mesures de collecte des eaux de pluie – Éléments ligneux en agriculture |
| III | Obtenir un rendement | Design, gestion | – Évaluation de l'énergie – Concept de services écosystémiques |
| VI | Appliquer l'auto-régulation et accepter les retours | Structure de l'agroécosystème | – Amélioration des services écosystémiques de régulation – Habitats naturels dans les paysages agricoles – Bandes de fleurs sauvages |
| V | Utiliser et valoriser des ressources renouvelables et des services | Structure de l'agroécosystème | – Légumineuses et fumier animal comme source de nutriments – Champignons mycorhiziens |
| VI | Ne pas produire de déchets | Structure de l'agroécosystème | – Fumier animal – Excréments humains – Déchets organiques utilisés pour l'alimentation des animaux |
| VII | Faire un design du modèle aux détails | Structure de l'agroécosystème, design | – Mimétisme des écosystèmes naturels – Utilisation d'animaux de pâturage dans les climats froids et secs – Agroforesterie structurellement complexe dans les climats tropicaux |

| | | | |
|------|--|-------------------------------|---|
| VIII | Intégrer plutôt que séparer | Structure de l'agroécosystème | <ul style="list-style-type: none"> - Intégration du bétail dans la culture du maïs - Céréales et colza utilisés pour le fourrage et la récolte de grains - Intégration de la pisciculture dans la culture du riz - Polyculture (cultures) |
| IX | Utiliser des solutions petites et lentes | Structure de l'agroécosystème | <ul style="list-style-type: none"> - Relation inverse productivité-taille - Systèmes agroforestiers |
| X | Utiliser et valoriser la diversité | Structure de l'agroécosystème | <ul style="list-style-type: none"> - Diversité des espèces végétales - Diversité des pollinisateurs - Diversité des habitats - Systèmes agricoles diversifiés |
| XI | Utiliser les bordures et valoriser ce qui est marginal | Structure de l'agroécosystème | <ul style="list-style-type: none"> - Densité élevée des bordures de champ - Bordures avec forêts |
| XII | User de créativité et répondre au changement | Design, gestion | <ul style="list-style-type: none"> - Prise de décision dans l'incertitude - Augmenter la résilience écologique - Succession naturelle dirigée |

2.2 Permaculture : effets et adoption

Dans leur étude en Afrique du Sud et au Zimbabwe, Didarali et Gambiza (2019) ont mis en évidence l'amélioration de la santé humaine, l'augmentation de la résilience face au changement climatique et la réduction des coûts des intrants comme étant les trois principaux bénéfices de la permaculture.

2.2.1 Bénéfices pour le sol

Afin de déterminer les effets de la permaculture sur le sol, quatre pratiques fondamentales sont prises en considération : le non-labour, le paillage organique, la rotation des cultures et les cultures associées. Bien qu'elles ne représentent pas l'ensemble des aspects de la permaculture, elles permettent d'obtenir une vue d'ensemble de ses effets sur le sol (tab. 2).

Non-labour

Après une expérimentation de 20 ans pour comparer le non-labour avec le labour traditionnel, Pareja-Sánchez et al. (2017) ont démontré que le non-labour permettait de limiter la dégradation du sol ainsi que la formation de croûte à la surface. Le taux d'infiltration de l'eau était également deux fois supérieur dans le système de non-labour comparé au système traditionnel (ibid.). Blanco-Canqui et Ruis (2018) ont de leur côté déterminé une augmentation du taux d'infiltration de 17 à 86% pour les systèmes en non-labour, et une augmentation de la disponibilité en eau de 44%. Toutefois dans les systèmes en non-labour, les changements dans les propriétés importantes du sol semblent être limités aux 10 premiers centimètres du sol (ibid.). Le non-labour permet d'augmenter la masse microbienne de 37% en comparaison aux systèmes de labour traditionnels bien que cet effet soit limité aux premiers 20cm du sol (Chen et al. 2020). Le non-labour a également permis une augmentation du carbone et de l'azote total du sol et une diminution du pH (ibid.).

Paillage organique

Le paillage permet de réduire l'évaporation de surface, d'augmenter l'infiltration de l'eau et la rétention des précipitations et de lutter contre l'érosion (Jordán et al. 2010; Karuku et al. 2014). Le paillage limite l'impact des gouttes de pluie à la surface du sol en permettant la fragmentation des gouttes et l'amélioration de l'infiltration (Jordán et al. 2010). Mulumba et Lal (2008) ont démontré que l'humidité du sol ainsi que la capacité en eau disponible étaient supérieures grâce au paillage organique. Une meilleure conservation de l'humidité du sol permet de semer les cultures plus tôt et également d'augmenter la

densité de semis avec pour effet d'augmenter les rendements (Karuku 2018). La porosité du sol a également augmenté sous les traitements avec paillage en comparaison à ceux où le sol était à nu (ibid.). Le paillage permet de réduire la température du sol grâce à l'effet d'Albédo et la réflexion des rayons solaires (Carrer et al. 2018). Les vers de terre épigées et anéciques sont favorisés par le paillage tandis que les systèmes conventionnels favorisent les vers de terre endogées (Turbé et al. 2010). Dans les systèmes avec paillage, la biomasse des vers de terre peut être jusqu'à 12 fois supérieure à celle dans les systèmes conventionnels. Mhlanga et al. (2021) ont démontré que la combinaison du paillage et de la rotation a permis d'augmenter les rendements du maïs de 6% en non-labour et de 13% avec labour. En revanche, l'implémentation de paillage ou de rotation seuls ont conduit à des rendements similaires ou inférieurs au système traditionnel avec labour (ibid.).

Rotation des cultures

La rotation des cultures permet de réduire la pression des maladies et des ravageurs du sol, ainsi que d'augmenter le rendement des cultures en comparaison aux monocultures (Alvey et al. 2001). Une augmentation de la teneur du sol en carbone organique grâce à la rotation, bien que cela dépende des techniques pratiquées conjointement telles que la fertilisation ainsi que de la réduction du travail du sol (Fujisaki et al. 2018). Selon Alvey et al. (2001) le pH de la rhizosphère était supérieur dans les systèmes en rotation en comparaison aux monocultures. Concernant le phosphore, ils ont également démontré qu'une rotation céréales/légumineuses permettait d'augmenter l'absorption de phosphore par les plantes car sa disponibilité est améliorée (ibid.).

Cultures associées

La culture associée est définie par Brooker et al. (2015) comme une technique cultivant deux ou plusieurs espèces végétales sur une parcelle en les faisant coexister pendant une période. La culture associée est un élément essentiel de plusieurs systèmes de culture traditionnels, notamment pour les petits exploitants (ibid.). En comparaison à des systèmes en culture pure, la culture associée améliore la teneur du sol en macro-agrégats (Tian et al. 2019), permet une meilleure rétention de l'azote grâce aux espèces complémentaires (Cong et al. 2015), augmente l'activité microbienne (Brooker et al. 2015) et promeut la biodiversité du sol grâce à la diversité des exsudats racinaires produits (Zhong et Zeng 2019).

Permaculture

Bien que les projets de recherche sur les systèmes en permaculture ne soient pas nombreux, celui de Tombeur et al. (2018) ont documenté les effets des techniques de permaculture sur les propriétés du sol. Ils ont notamment relevé que :

- Les sols en permaculture avaient des teneurs en carbone organique significativement supérieure dans les premiers 20cm du sol (moyenne de 60.3g/kg pour la permaculture contre 11.0 g/kg pour le champ conventionnel)
- Le pH_{H_2O} ne différait pas significativement entre la permaculture et le champ conventionnel (moyenne de 7.4 pour la permaculture contre 7.1 pour le champ conventionnel)
- Le CEC (Cation Exchange Capacity) du champ conventionnel est trois fois inférieur comparé à la permaculture, ce qui est directement lié à la teneur inférieure en carbone organique
- La proportion des différentes tailles d'agrégats diffère significativement entre la permaculture et le champ conventionnel. La permaculture a une majorité de macro-agrégats (250-2000 μm) tandis que le champ conventionnel c'est les micro-agrégats (50-250 μm) qui sont majoritaires. Cela s'explique d'une part par le manque d'apport de carbone organique et de la réduction des macro-agrégats par le labour.

Tableau 2 Résumé des effets des techniques de permaculture sur des paramètres du sol choisis

| | Effets des techniques de permaculture |
|----------------------------|---|
| Propriétés du sol | |
| Carbone organique | <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes qui combinent plusieurs techniques : taux de carbone organique supérieur que les systèmes avec des techniques seules (Fujisaki et al. 2018) • Non-labour : ↗ carbone organique (Chen et al. 2020) • Permaculture : ↗ carbone organique (moyenne de 60.3g/kg pour la permaculture contre 11.0 g/kg pour le champ conventionnel) (Tombeur et al. 2018) |
| pH | <ul style="list-style-type: none"> • Non-labour : ↘ du pH (Chen et al. 2020) • Rotation : ↗ du pH dans la rhizosphère (Alvey et al. 2001) • Permaculture : pas de différence significative entre la permaculture (7.4) et le champ conventionnel (7.1) (Tombeur et al. 2018) |
| Nutriments | <ul style="list-style-type: none"> • Culture associée : meilleure rétention de l'azote grâce aux espèces complémentaires (Cong et al. 2015) • Rotation : ↗ absorption de phosphore par les plantes car sa disponibilité est améliorée (Alvey et al. 2001) |
| Microorganismes | <ul style="list-style-type: none"> • Culture associée : ↗ l'activité microbienne (Brooker et al. 2015) • Non-labour : ↗ masse microbienne de 37% en comparaison aux systèmes de labour traditionnels (Chen et al. 2020) • Culture associée : ↗ biodiversité du sol grâce à la diversité des exsudats racinaires produits (Zhong et Zeng 2019). |
| Vers de terre | <ul style="list-style-type: none"> • Paillage : Favorisation des vers de terre épigées et anéciques (Turbé et al. 2010) • Paillage : ↗ biomasse vers de terre par rapport aux systèmes conventionnels (Turbé et al. 2010) |
| Termites | <ul style="list-style-type: none"> • Paillage : favorise les termites car celles-ci peuvent dégrader la cellulose (Turbé et al. 2010) ; grâce à cette capacité les termites ont un rôle majeur dans les réseaux trophiques • Paillage : peut être rapidement dégradé par les termites (Karuku et al. 2014) |
| Humidité | <ul style="list-style-type: none"> • Paillage : ↗ infiltration de l'eau, ↗ rétention de l'eau des précipitations, ↘ évaporation de surface, ↗ humidité du sol (Jordán et al. 2010; Karuku et al. 2014) |
| Température | <ul style="list-style-type: none"> • Paillage : ↘ T°C du sol notamment grâce à l'effet d'Albédo et à la réflexion des rayons solaires (Carrer et al. 2018) |
| Structure | <ul style="list-style-type: none"> • Permaculture : macro-agrégats > micro-agrégats tandis que c'est le contraire pour le champ conventionnel (Tombeur et al. 2018) |
| Menaces pour le sol | |
| Érosion | <ul style="list-style-type: none"> • Paillage : fractionnement des gouttes de pluies, amélioration de l'infiltrations → ↘ érosion hydrique (Jordán et al. 2010) • Non-labour : ↗ taux d'infiltration → ↘ érosion hydrique (Pareja-Sánchez et al. 2017) |
| Étanchéification | <ul style="list-style-type: none"> • Non-labour : limiter la dégradation du sol ainsi que la formation de croûte à la surface (Pareja-Sánchez et al. 2017) |

2.2.2 Autres bénéfiques de la permaculture

Dans son étude réalisée au Malawi, Conrad (2014) a démontré que les agriculteurs pratiquant la permaculture bénéficiaient d'avantages en termes d'agriculture, d'environnement, de moyens de subsistance et de sécurité alimentaire et nutritionnelle en comparaison aux agriculteurs pratiquant uniquement l'agriculture conventionnelle. Le cadre agro-forestier mis en place par la permaculture permet à la fois d'améliorer la sécurité alimentaire grâce aux arbres fruitiers mais également de générer des revenus des produits forestiers non ligneux tels que les champignons ou le miel par exemple (Nordin 2021).

2.2.3 Barrières potentielles à l'adoption de la permaculture

La charge de travail élevée, les attaques de maladies et ravageurs ainsi que le manque de connaissances sur les pratiques adaptées ont été identifiés par Didarali et Gambiza (2019) comme les principales difficultés liées à l'adoption de la permaculture. Bien que le paillage présente des effets positifs pour le sol, il n'est pas nécessairement adopté par les agriculteurs. Les coûts et le travail liés à la fauche, à la collecte, au transport et à l'application du paillage sont autant de facteurs qui découragent l'adoption de cette technique (Karuku 2018). L'utilisation de résidus de récolte laissés sur champ est une alternative à l'apport de paille, mais fournit moins de biomasse (ibid.). Dans les climats tropicaux, les termites peuvent aussi consommer une partie importante du paillage ce qui nécessite ensuite une charge de travail supplémentaire pour renforcer le paillis (Karuku et al. 2014). Karuku (2018) met également en garde contre le risque d'appauvrissement nutritif des surface où la biomasse est prélevée pour le paillage, tout comme le risque accru d'érosion sur ces surfaces lorsque celles-ci sont régulièrement fauchées. Il relève encore la compétition qu'il peut exister entre la biomasse pour la pâture, le fourrage et le paillage, entraînant de potentiels conflits entre les différents acteurs (ibid.). Les rendements individuels des cultures peuvent être inférieurs dans un système en permaculture que dans un système conventionnel (Jacke et Toensmeier 2005). Toutefois si le système est considéré dans son ensemble, alors la polyculture telle qu'elle est pratiquée en permaculture permet d'obtenir des rendements supplémentaires grâce à la diversification de la production (ibid.).

2.3 Monitoring du sol

Le sol en tant que système complexe a des multiples fonctions (OFEV 2021) :

- Fonction d'habitat
- Fonction régulatrice
- Fonction de production
- Fonction de support
- Source de matières premières
- Fonction d'archivage

Ces nombreuses et différentes fonctions implique que le sol a de nombreux utilisateurs et bénéficiaires. Comme le relève Gobat et al. (2010) « Le sol que le scientifique ausculte péniblement avec ses instruments a été depuis longtemps compris par d'autres, sous des angles différents ». Dans ce contexte Kibblewhite et al. (2008) ont mis en avant qu'il est nécessaire de reconnaître que les méthodes proposées pour évaluer la santé du sol ne doivent pas uniquement être valides scientifiquement mais doivent également être pratiques et pertinentes pour les agriculteurs. Cela est confirmé par Gobat et al. (2010) pour qui « toute approche scientifique globale du sol se doit d'être d'abord fonctionnelle ».

2.3.1 Santé du sol : définition et approches

La notion de santé du sol peut-être distinguée entre approche réductionniste et approche systémique ou intégrée (Kibblewhite et al. 2008). La première prend en considération des indicateurs indépendants relatifs à propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (ibid.). Cette vision est par exemple exprimée dans les travaux de Doran et al. (1994) qui ont développé une équation pour définir un index de qualité du sol basé sur six composants (production d'aliments et de fibres, érosivité, qualité des eaux souterraines, qualité des eaux de surface, qualité de l'air, qualité des aliments). Kibblewhite et al. (2008) oppose à cette vision une approche systémique où la santé du sol est plus que la simple addition d'une liste de paramètres. Selon leur définition, un sol agricole sain est « un sol qui est capable de supporter la production de nourriture et de fibres, à un niveau et avec une qualité suffisante afin de satisfaire les besoins humains, tout en continuant à fournir d'autres services écosystémiques qui sont essentiels pour le maintien de la qualité de vie humaine et la conservation de la biodiversité » (ibid.).

2.3.2 Paramètres de santé du sol : aperçu global

De nombreux projets de recherche se sont déjà intéressés aux paramètres de la santé et à la qualité du sol (Kibblewhite et al. 2008 ; Thoumazeau et al. 2019 ; Pheap et al. 2019). L'enjeu est de mettre en

relation des indicateurs facilement mesurables avec des services écosystémiques plus difficile à évaluer, par exemple le lien entre le nombre de vers de terre et l'infiltration de l'eau (Griffiths et al. 2018). Stewart et al. (2018) ont réalisé une revue de 192 études afin de déterminer quels indicateurs étaient le plus souvent utilisés pour parler de santé du sol dans des articles traitant de couverts végétaux et du semis direct (fig. 3).

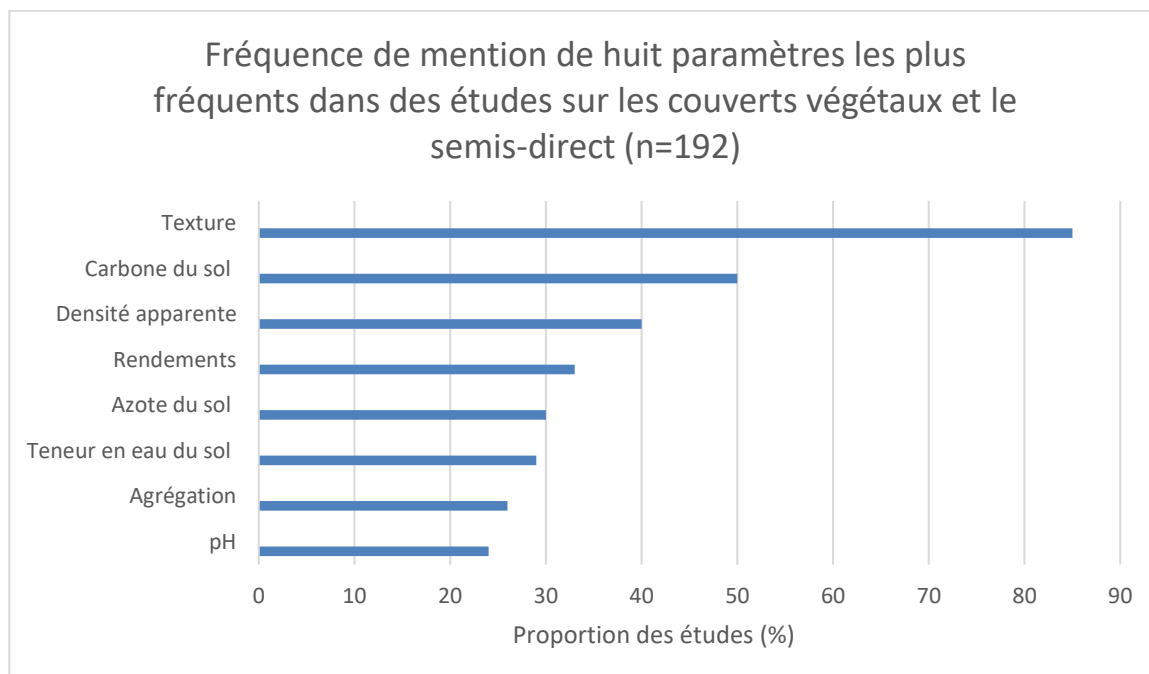


Figure 3 Fréquence de mention de huit paramètres les plus fréquents dans des études sur les couverts végétaux et le semis-direct (Source : Stewart et al. 2018, repr. pers.)

Selon les résultats de Stewart et al. (2018), la texture du sol est un des aspects qui revient le plus souvent, bien que ce soit une donnée du site plus qu'une variable influencée par les pratiques agricoles. Elle est suivie par le carbone du sol et la densité apparente. Les rendements n'apparaissent que dans un tiers des études bien que ce soit un paramètre de première importance pour les agriculteurs (ibid.). À noter que le taux de matière organique n'est pas mentionné.

Griffiths et al. (2018) présente un rapport de monitoring du sol sous une forme synthétisée de « feux de circulation » (fig. 4). Chaque paramètre est mesuré et son score comparé à une intervalle optimale. Les valeurs « objectifs » sont définies en fonction du type d'exploitation et du type de sol. Une couleur est attribuée au résultat : vert si le score est bon (risque faible, continuer à monitorer), orange s'il faut surveiller ce paramètre (risque modéré, investigations supplémentaires nécessaires) et rouge si une action immédiate est nécessaire (risque élevé, investigations urgentes) (ibid.). En plus des paramètres chimiques, un paramètre de structure (VESS) et un paramètre biologique (vers de terre) sont prises en compte.

| Measure | Overview | Score | Target range |
|-------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| Potentially Mineralisable N | Green | 28.7 mg kg ⁻¹ | >21 mg kg ⁻¹ |
| Organic Matter (LOI) | Red | 5.96 % | >9.5 % |
| pH | Yellow | 6.1 | 6.5-7.5 |
| Extractable Phosphorus | Yellow | 4.39 mg L ⁻¹ | 4.5-13.5 mg L ⁻¹ |
| Extractable Potassium | Green | 87.9 mg L ⁻¹ | >76 mg L ⁻¹ |
| Extractable Magnesium | Green | 154 mg L ⁻¹ | 61-1000 mg L ⁻¹ |
| Extractable Calcium | Yellow | 1500 mg L ⁻¹ | >3000 mg L ⁻¹ |
| Extractable Sodium | Yellow | 11.2 mg L ⁻¹ | >50 mg L ⁻¹ |
| Visual Evaluation of Soil Structure | Yellow | 2.75 | <2.4 |
| Earthworm count | Yellow | 6.25 per 20cm ⁻² | >8 |

Figure 4 Exemple d'un rapport de monitoring du sol utilisant un code couleur comme output (source : Griffiths et al. 2018)

Thoumazeau et al. (2019) ont développé un set d'indicateurs appelé Biofunctool® (tab. 3) . Chaque indicateurs est lié à une fonction du sol décrites par Kibblewhite et al. (2008). Ce set d'indicateurs dépend de plusieurs méthodes précises nécessitant un laboratoire et/ou du matériel spécifique.

Tableau 3 Liste des douze indicateurs sélectionnés pour le Biofunctool® (source : Thoumazeau et al. 2019, adapté)

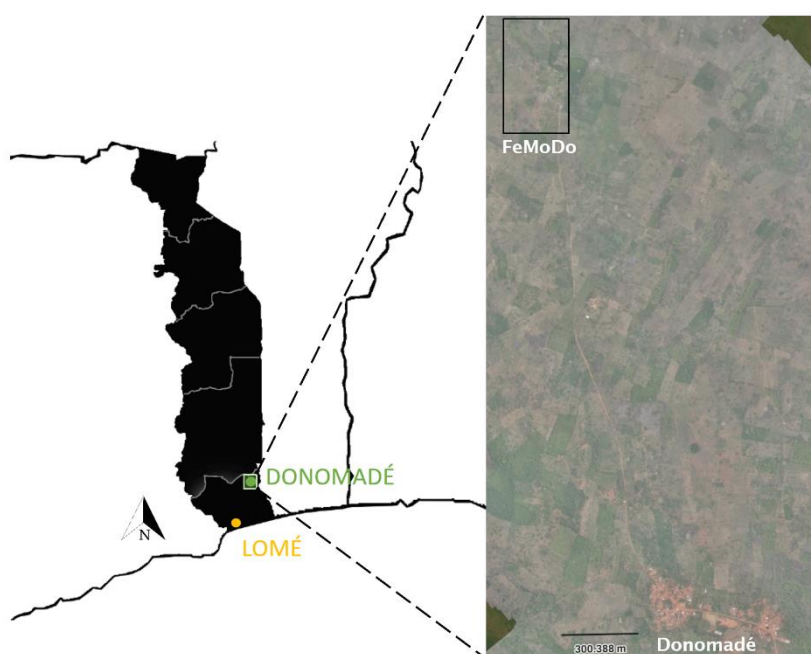
| Fonction du sol (Kibblewhite et al. 2008) | Nom de l'indicateur | Variable mesurée |
|--|------------------------|---|
| Maintien de la structure | AggSoil | Stabilité des agrégats (2-10 cm) |
| Maintien de la structure | AggSurf | Stabilité des agrégats (0-2 cm) |
| Maintien de la structure | Beerkan | Potentiel d'infiltration |
| Maintien de la structure | VESS | Evaluation visuel de la structure du sol |
| Cycle des nutriments | AEMNO3 | NO ₃ ⁻ fixé sur les membranes d'échange des anions |
| Cycle des nutriments | NminSoil | Azote du sol disponible (NO ₃ ⁻ et NH ₄ ⁺) |
| Transformation du carbone | Cast | Densité de coulée de sol |
| Transformation du carbone | Lamina | Bait Lamina |
| Transformation du carbone | POXC | Carbone oxydable |
| Transformation du carbone | SituResp | Respiration basale du sol |
| Transformation du carbone | Fragment | Index de litière |
| Transformation du carbone | Skeleton | Index de litière |

3 Contexte

Le présent chapitre vise à faire une description climatique, géologique, pédologique et agricole du site de l'étude. La description des systèmes agricoles est principalement basée sur des observations personnelles ainsi que sur les communications personnelles de M. Agbéwanou (responsable de la production végétale) pour la partie de la FeMoDo.

3.1 Zone d'étude

3.1.1 Situation géographique



Le village de Donomadé (6°47'30.2"N ; 1°31'47.3"E) et la ferme modèle FeMoDo (6°48'39.8"N ; 1°31'32.2"E) sont situés dans la partie Sud du Togo, dans la région maritime (fig. 5). Ils dépendent de la préfecture de Yoto et du canton de Tométy-Kondji. La zone est caractérisée par sa proximité avec la réserve de faune de Togodo (FRT). La forêt classée de Togodo-Sud, qui est le plus proche de la zone d'étude, est protégée depuis 1954 (Adjonou et al. 2016). Depuis 2005, son statut est passé à celui de parc national (ibidem).

Figure 5 Carte situation de la zone d'étude (Source : Blättler 2019 ; Happy Togo 2019)

3.1.2 Climat

Selon la classification de Köppen (1936), le climat de la zone d'étude correspond à une savane tropicale humide avec une saison sèche hivernale (Aw). Ce climat est caractérisé par deux saisons des pluies, à savoir une grande saison de fin mai à début juillet (avec un maximum en juin) et une petite saison en septembre (fig. 6). Les précipitations annuelles moyennes sont de 1030 mm (Djaman 2017). La température annuelle moyenne est de 27°C, avec un maximum en mars et un minimum en août (FAO 2005).

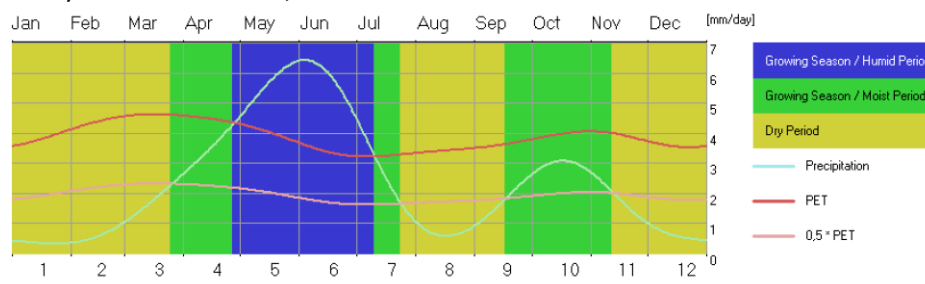


Figure 6 Diagramme des précipitations journalières annuelles pour la station de Tabligbo (Source : FAO 2005)

3.1.3 Géologie et relief

La région sud du pays correspond aux plateaux sédimentaires aussi appelés Terres de barre (Lamouroux 1969). Le socle granito-gneissique a été soumis des transformations qui ont conduit à une formation géologique tertiaire. Ces « formations détritiques sablo-argileuses du "Continental Terminal" (...) venues en recouvrement vers le milieu du Tertiaire et (qui) constituent le matériau originel de très bons sols de cultures, les Terres de Barre » (ibid.). Selon la carte de Kissao et al. (2009), la zone de la ferme se situe à limite entre plusieurs types de roches à savoir la roche sédimentaire de la zone Sud, le gneiss et les migmatites de la plaine Benino-Togolaise (fig. 7). De manière générale, des roches sédimentaires correspondent à une roche mère meuble, ce qui va permettre une altération de la roche plus rapide (Derruau 2010).

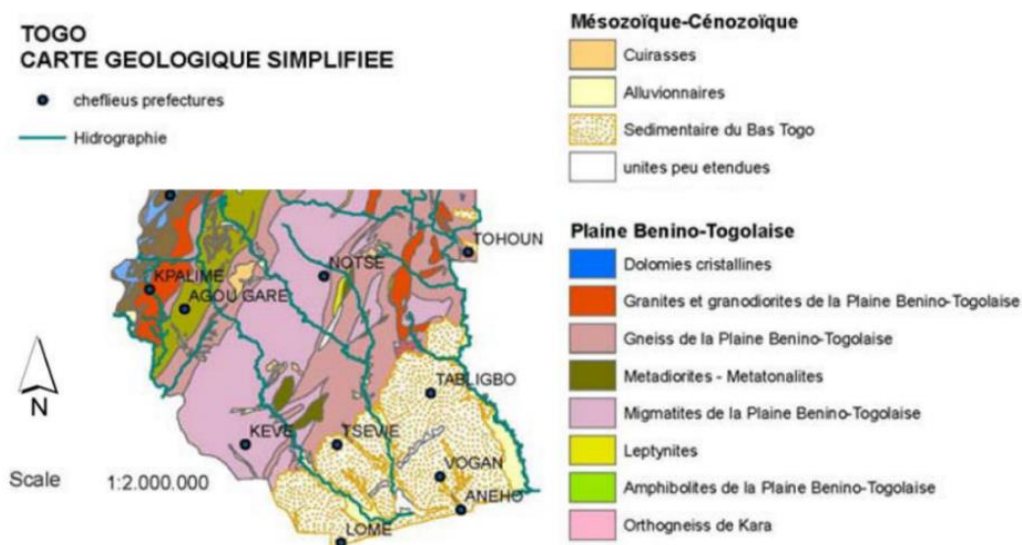


Figure 7 Extrait de la carte géologique simplifiée du Togo, Sud du pays (Source : Kissao et al. 2009)

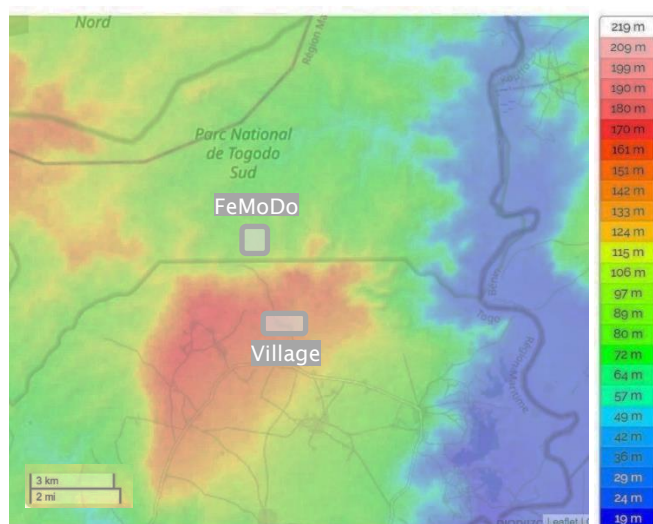


Figure 8 Carte du relief de la région de Donomadé (source : topographic-map.com 2017)

Le relief de la zone de Donomadé présente une colline au niveau du village et une plaine en direction du parc de Togodo. La ferme se situe au bas de la colline, à une altitude d'environ 105m. Le village se trouve quant à lui à une altitude d'environ 150m. La zone d'étude se situe à proximité du fleuve mono, à l'Est, qui marque la frontière avec le Bénin. Les collines à proximité de la ferme semblent être dû à des affleurements de latérite, qui devrait préférentiellement être nommé cuirasse. Cette cuirasse est composée de fer et de manganèse (Mawussi 2021, communication personnelle).

3.1.4 Pédologie

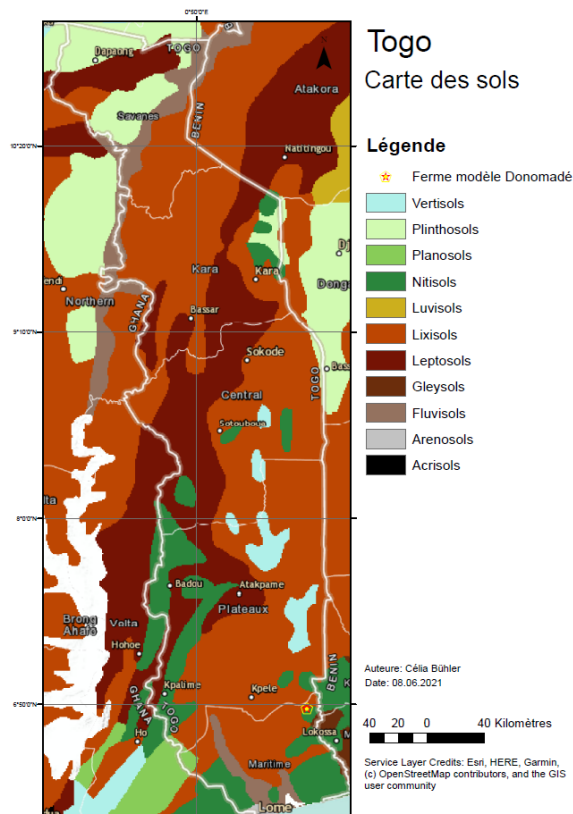


Figure 9 Carte pédologique du Togo

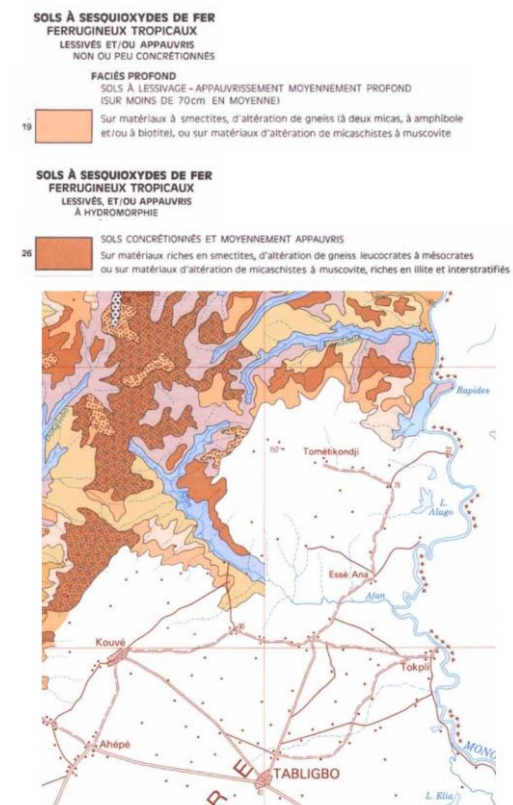


Figure 10 Extrait de la carte pédologique de A. Lévêque (source : Lévêque 1979)

Selon la classification de la FAO les sols de la zone pourraient être des Nitisols, à la limite avec des Lixisols au Nord avec la réserve de Togodo (Jones 2013). Selon la classification française il serait question de sols ferrallitiques ou de sols ferrugineux (Lamouroux 1969).

Classification française

La ferme et le village de Donomadé se situent probablement sur des sols ferrugineux sols ferrugineux indurés (Mawussi 2021, communication personnelle). Ces sols constituent la majorité des sols du Togo. Ils ne sont pas considérés comme de bons sols agricoles car leur fertilité dépend principalement de l'horizon humifère en surface et ils sont très sensibles à l'érosion hydrique (Lamouroux 1969). Ils ne doivent pas être confondus avec les sols ferrallitiques dont le nom est proche. Ces derniers se trouvent plus au Sud des Terres de barre et sont considérés comme les meilleurs sols du Togo étant profonds et riches en éléments minéraux (ibid.)

Classification FAO

Les Nitisols sont des sols rouges profonds avec une structure bien développée. La forme d'argile dominante est la kaolinite. Le développement des racines est limité à l'horizon de surface car le sous-sol est fortement acide ce qui entraîne une toxicité de l'aluminium. En raison d'une teneur élevée en fer actif, les nitisols présente une forte fixation de phosphate (Jones 2013)

Les lixisols sont des sols légèrement acides avec un horizon d'accumulation des argiles. Contrairement aux nitisols, ils ne présentent pas de structure bien développée. En revanche la forme d'argile dominante est également la kaolinite ce qui limite la capacité de rétention des nutriments. Ces sols sont particulièrement sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Une couche de mulch en surface durant les

périodes de jachère permet d'éviter qu'une croûte de surface se forme et des techniques de collecte de l'eau peuvent être mises en place pour stocker le plus d'eau possible (Jones 2013).

Un autre facteur important des caractéristiques pédologiques est la teneur en matière organique des sols. Pour le Togo, Lamouroux (1969) donnait une teneur en matière organique entre 1 et 3% pour les des jachères arbustives denses du sud-Togo. Après un à deux ans de cultures vivrières, il estimait que ces taux pouvaient baisser jusqu'à 0.5% sur des terres cultivées appauvries (ibid.).

3.2 Systèmes agricoles à Donomadé

3.2.1 Typologie des ménages

Novotny et al. (sans date) ont déterminé une typologie des ménages agricoles dans la communauté de Donomadé dans le cadre de leur projet de recherche « Is there a future for sustainable agriculture in Togo ? ». Leurs recherches ont permis de mettre en avant 6 types de stratégies différents (tab. 4) au sein du village de Donomadé (env. 600 habitants). Les types sont définis comme suit :

- Type 1 : locataires à large échelle, intensif en main d'œuvre, production diversifiée
- Type 2 : propriétaires à large échelle, ménages pauvres en main d'œuvre
- Type 3 : locataires à moyenne échelle, monoculture, ménages dépendant de la force de travail familiale, ménages les plus pauvres
- Type 4 : propriétaires à moyenne échelle, polyculture, intensif en main d'œuvre
- Type 5 : petits propriétaires, polyculture, intensif en main d'œuvre
- Type 6 : petits locataires, polyculture, utilisent des intrants

Tableau 4 Variables agricoles et socio-économiques de Donomadé en fonction du type de ménage (Source : Novotny et al. sans date, adapté. Données collectées en juillet 2021)

| | | Types de stratégie des ménages agricoles (total n=77) | | | | | | Moyenne |
|---|---|--|-------------|-------------|------------|-------------|------------|---------|
| | | 1 (n=13) | 2 (n=18) | 3 (n=10) | 4 (n=6) | 5 (n=21) | 6 (n=9) | |
| Part du type en fonction du nombre total de ménages | | 16.9% | 23.4% | 13% | 7.8% | 27.3% | 11.6% | Ø |
| Nombre de parcelles | Nombre de parcelles exploitées par ménage | 2.7 | 1.8 | 2.5 | 1.7 | 1.4 | 1.4 | 2 |
| Surface cultivable (ha) | Surface cultivable par ménage (ha) | 1.6 | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.6 | 0.9 |
| Culture pure (%) | Proportion de la surface cultivable qui est occupée par une espèce dominante (>80%) | 60% | 50% | 80% | 10% | 20% | 20% | 40% |
| Culture mixte (%) | Proportion de la surface cultivable qui est occupée par deux ou plus d'espèces dominantes (si aucune espèce >80%) | 20% | 20% | 10% | 80% | 80% | 80% | 50% |
| Autosuffisance en maïs (mois) | Nombre de mois durant lequel le ménage est autosuffisant en maïs | 8 | 10 | 5 | 11 | 7 | 6 | 8 |
| Revenu agricole (FCFA) | Revenu annuel du ménage qui est généré par des activités agricoles | 164'000 | 43'000 | 43'500 | 118'000 | 33'500 | 78'000 | 70'000 |
| Autres revenus (FCFA) | Revenu annuel du ménage qui est généré par d'autres activités (hors-exploitation, transformation, vente de biens) | 535'000 | 268'000 | 76'000 | 107'000 | 159'500 | 190'500 | 237'000 |

Selon Novotny et al. (sans date) un ménage moyen à Donomadé possède 2 parcelles, totalisant une surface légèrement inférieure à 1 ha (0.9 ha). En moyenne 70% de la surface exploitée appartient aux agriculteurs et 30% est louée. Le groupe majoritaire est celui des petits propriétaires faisant de la polyculture, système intensif en main d'œuvre. En termes de sécurité alimentaire, le groupe avec la meilleure auto-suffisance en maïs est le groupe 1 (8 mois), et celui avec la plus basse est le groupe 3 (5 mois).

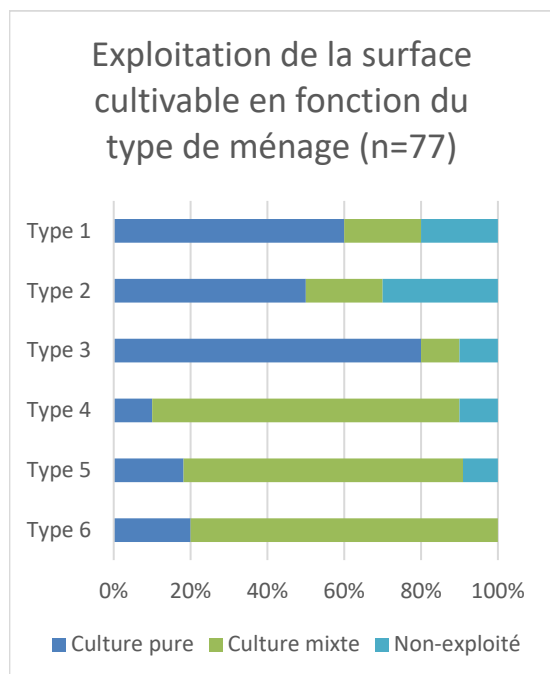


Figure 11 Forme d'exploitation de la surface cultivable en fonction du type de ménage (Source : Novotny et al. sans date, repr. pers. Données collectées en juillet 2021)

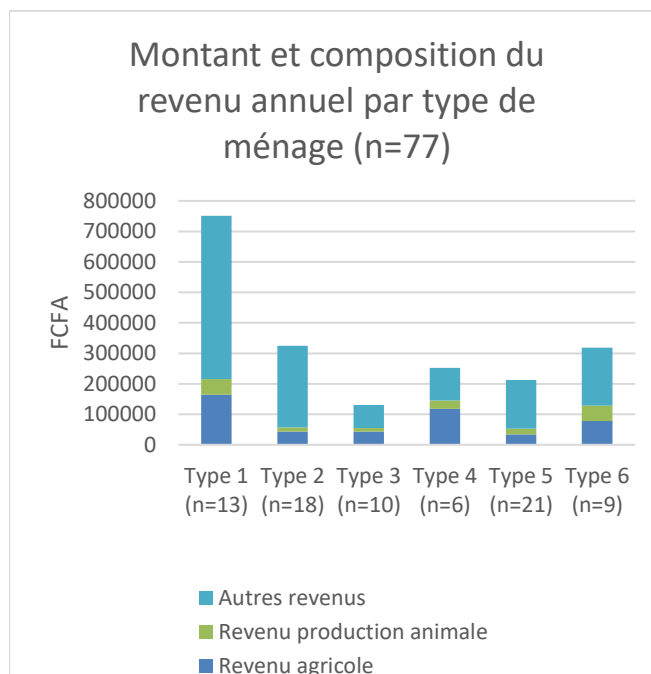


Figure 12 Exploitation de la surface cultivable en fonction du type de ménage (Source : Novotny et al. sans date, repr. pers. Données collectées en juillet 2021)

Selon les informations de Novotny et al. (sans date), les type 1, 2 et 3 exploitent principalement leur surface avec des cultures pures (fig. 11). Les types 4, 5 et 6 eux pratiquent majoritairement la polyculture. Le type 3 est celui qui dispose du plus de terrains non-exploités puisque leur proportion atteint près du quart de la surface à disposition des ménages.

En termes de revenus annuels totaux, le type 1 est celui qui a les revenus les plus importants (751'000 FCFA) tandis que le type 3 a les plus faibles (131'000 FCFA) (fig. 12). Les trois autres groupes se situent environ dans le même intervalle, à savoir entre 200'000 et 300'000 FCFA de revenus par an. À noter pour tous les groupes, la majorité des revenus est issue d'autres activités que l'agriculture (Novotny et al. sans date).

3.2.2 Champs et cultures



Figure 13 Ananas en culture associée avec les arachides (gauche) et ananas avec paillage (droite)

Les agriculteurs pratiquent généralement deux saisons de cultures sur une année, en adéquation avec les saisons des pluies (tab. 5). Les cultures annuelles les plus représentées sont le maïs, le niébé (haricot), le soja, les arachides, le manioc et l'igname. Le manioc reste une longue période sur champ car c'est un moyen de conservation naturelle. Il est récolté au fur et à mesure de la saison afin d'être directement vendu ou transformé. Les plants de manioc sont régulièrement utilisés afin de délimiter les parcelles. Le manioc est souvent associé au maïs dans des schémas de cultures associées. Il est possible de voir une ligne de maïs pour une ligne de manioc, mais aussi deux ou trois lignes de maïs entre deux lignes de manioc. Certaines paysannes sèment également les arachides entre les lignes de maïs ou entre les ananas (fig. 13). Les cultures d'ananas et de fruits de la passion se sont développés au cours des dernières années sur les parcelles du village.

Tableau 5 Calendrier des six principales cultures à Donomadé (du semis à la récolte)

| Culture | Janv. | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-----------------|-------|---------|-------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|------|------|
| Maïs | | | | 1 ^{ère} saison | | | | | 2 ^{ème} saison | | | |
| Niébé | | | 1 ^{ère} saison | | | | | 2 ^{ème} saison | | | | |
| Soja | | | | | | 1 ^{ère} saison | | | 2 ^{ème} saison | | | |
| Arachide | | | | 1 ^{ère} saison | | | 2 ^{ème} saison | | | | | |
| Manioc | | | | | | | | | | | | |
| Igname | | | | | | | | | | | | |

En termes d'arbres, les bananiers (doux et plantain), les palmiers à huile, les manguiers sauvages et les teks sont largement représentés sur les parcelles (fig. 14). Les noix des palmiers sont récoltées par les femmes afin de faire de l'huile rouge. Les palmiers en fin de cycle sont abattus et leur sève collectée pour faire du vin de palme, qui est ensuite distillé. Les teks sont principalement installés en plantations et les arbres vendus au bord du champ pour être transporté vers les villes avoisinantes. Les manguiers sauvages revêtent une importance en période de soudure. Les mangues jouent ainsi un rôle dans la sécurité alimentaire. Elles sont consommées lorsque les réserves de maïs et de manioc sont épuisées, en attendant les prochaines récoltes. L'arbre à soufre (*Morinda lucida*) est également préservé par les agriculteurs sur leurs champs et ses feuilles sont administrées aux petits ruminants pour son effet vermifuge.



Figure 14 Champ d'ananas paillé avec manioc et bananiers

3.2.3 Travaux du sol



Figure 15 Champ labouré avant semis, avec palmiers déracinés et tas d'herbes brûlées

Les agriculteurs du village ne disposent d'aucune mécanisation motorisée pour les travaux aux champs. Tous les travaux sont effectués à la houe et à la machette. Le labour et le sarclage sont effectués avec la houe. La fauche et l'abatage des arbres sont eux faits à la machette. Pour chaque saison de culture, les agriculteurs réalisent généralement un labour, puis trois sarclages. Les feux de brousse ne sont pas pratiqués systématiquement. Des feux volontaires sont déclenchés afin de chasser le gibier à la fin de la saison sèche, mais ne sont pas la méthode courante de désherbage avant labour. Il est en revanche fréquent que les agriculteurs qui sarclent leurs champs collectent les herbes et les disposent en tas afin de les faire brûler (fig. 15).

3.2.4 Résidus de récolte

Les résidus de récolte sont majoritairement laissés sur le champ. Dans certains cas ils sont collectés et mis en tas afin d'être brûlés comme les herbes du sarclage. Si les agriculteurs pratiquent le paillage sur leur parcelles (p.ex. ananas), il arrive certaines fois qu'ils collectent les résidus de récolte pour les utiliser en tant que paillage. Les gousses d'arachides sont communément jetées sur la route pour un rituel spirituel. Ce geste doit permettre d'obtenir de bonnes récoltes pour la saison suivante. Les feuilles des plantes de manioc sont quant à elles rapportées au village pour être séchées et utilisées comme fourrage pour les petits ruminants.

3.2.5 Élevage

L'élevage et l'utilisation d'engrais de ferme ne sont que peu développés dans le village de Donomadé. Les animaux présents sont les poules, les pintades, les chèvres ainsi que les moutons. Un élevage d'escargots est également en développement. Les animaux sont laissés libres de paître autour des maisons et dans les alentours proches du village durant la journée. La nuit ils sont ramenés dans les habitations et dorment généralement dans la même pièce que les femmes. Cette pratique est courante en raison des nombreux cas de vols de bétail si les animaux sont laissés à l'extérieur. Certains ménages avec plus de ressources disposent d'un enclos avec des barrières en bois (fig. 16).



Figure 16 Enclos pour petits ruminants au village

3.3 Système agricole de la FeMoDo

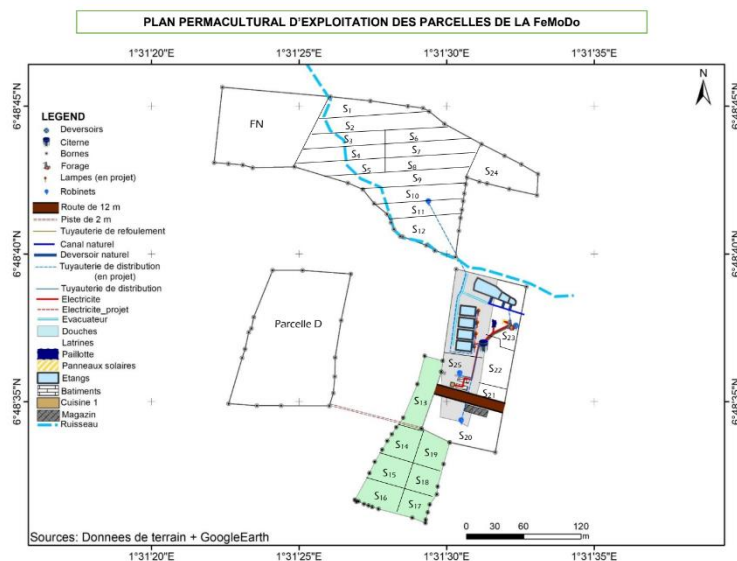


Figure 17 Plan permacultural de la FeMoDo (Source : Happy Togo 2021)

Le terrain de la FeMoDo est exploité selon les principes de la permaculture depuis 2016. La superficie exploitée par la ferme est de 5.5 ha, dont 0.6 ha de forêt. Les surfaces cultivées couvrent une superficie de 4.9 ha, répartis sur 26 parcelles. La taille moyenne par parcelle est de 0.18 ha.

3.3.1 Systèmes agroforestiers

La ferme applique l'agroforesterie ainsi que la culture en couloirs. Deux systèmes cohabitent sur l'exploitation, chacun avec un design spécifique. Les deux systèmes sont le système « Taungya » et le système « Attisso ». Sur chaque parcelle, un seul système est présent. Le paillage est présent sur toutes les parcelles de la FeMoDo.

Système Taungya

Le système Taungya a vu le jour sur l'île de Java à la fin du 19^{ème} siècle (Wiersum 1982). Initialement implémenté dans les plantations de teks, ce système avait pour but de permettre un reboisement en faisant cohabiter des cultures annuelles avec des espèces d'arbres choisies (ibid.). Des cultures vivrières comme les bananiers plantains, l'igname et les légumes sont implémentées en association avec des arbres (Agyeman et al. 2004). Les cultures sont conduites durant trois ans puis l'ombrage des arbres devient trop important et les cultures sont laissées de côté jusqu'à l'abattage des arbres et le recommencement d'un cycle (ibid.). Dans l'ensemble la FeMoDo présente une grande variété de cultures (Tab. 6).

Tableau 6 Production végétale de la FeMoDo

| Arbres fruitiers et fruits | Racines et tubercules | Maraîchage |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Manguier (greffée) | Patate douce | Tomates |
| Papayer | Manioc | Piment |
| Fruit de la passion | Igname | Betteraves |
| Ananas | Taro | Carottes |
| Citronnier | Légumineuses | Céréales |
| Oranger | Pois d'angole | Maïs |
| Banancier (doux) | Niébé (haricot) | Riz |
| Banancier (plantain) | Arachide | «Feuilles» |
| Corossolier | Soja | Gboma (grande morelle) |
| Canne à sucre | | Adémé (corette potagère) |

Système Attisso

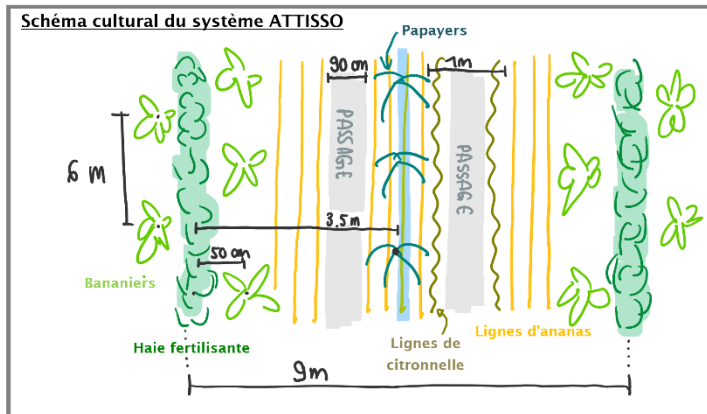


Figure 18 Schéma culturel du système Attisso

Après chaque coupe les branches riches en nutriments sont utilisées comme paillage et l'arbre produit des rejets avec une croissance rapide. Les lignes de citronnelles ont une fonction de répulsif contre les ravageurs.

Un des objectifs principaux du système Attisso est de produire des récoltes durant toute l'année grâce aux fruitiers qui produisent aussi en saison sèche (papayer par exemple). En effet dans le système traditionnel, les champs ne sont pas occupés de fin décembre à mi-mars (fig. 5). Cela permet à la fois aux agriculteurs de bénéficier d'une autre source de revenu en saison sèche mais également d'améliorer la sécurité alimentaire des ménages.



Figure 19 Système Attisso avec haie fertilisante, bananiers, ananas paillés et papayers (de gauche à droite)

3.3.2 Paillage

La biomasse utilisée pour le paillage sur la ferme est issue de la fauche des parcelles avoisinantes. La graminée principalement présente est l'herbe de Guinée (*Panicum maximum*), accompagnée d'autres graminées poussant naturellement sur les jachères ou les bords de chemins (tab. 7). L'épaisseur de paillage sur la ferme est d'environ 6cm à 8cm en situation idéale. Toutefois cette épaisseur n'est pas vérifiée sur toutes les parcelles et fluctue au cours des saisons et des années, en fonction des renforcements effectués.

Tableau 7 Nom des principales plantes composant le paillage à la FeMoDo et au village

| Nom français | Nom latin | Famille |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Herbe de Guinée | <i>Panicum maximum</i> | Poacées (graminées) |
| Fonio à grosses graines | <i>Bracharia deflexa</i> | Poacées (graminées) |
| / | <i>Chloris pilosa</i> | Poacées (graminées) |
| Chiendent patte-de-poule | <i>Dactyloctenium aegyptiaca</i> | Poacées (graminées) |
| Sainfoin tortueux | <i>Desmodium tortosum</i> | Fabacées |
| Éleusine pied-de-poule | <i>Eleusine indica</i> | Poacées (graminées) |
| Gomphrena | <i>Gomphrena celosiodes</i> | Amaranthacées |
| Impérate cylindrique | <i>Imperata cylindrica</i> | Poacées (graminées) |
| / | <i>Pennisetum polystachyum</i> | Poacées (graminées) |
| Sida à feuilles aiguës | <i>Sida acuta</i> | Malvacées |
| Herbe à queue de rat | <i>Sporobolus pyramidalis</i> | Poacées (graminées) |

En moyenne pour pailler une unité de surface cultivée, il faut faucher 4 à 10 unités de prairie (Agbéwanou 2021, communication personnelle). Agbéwanou (2021, communication personnelle) recommande de faire un paillage de fond en début de cycle puis un renforcement toutes les 2 à 3 fois par cycle. Il conseille également de désherber manuellement les herbes qui réussissent à passer le paillage au début, afin de réduire leur développement par la suite.

3.3.3 Mécanisation

La ferme n'utilise pas de mécanisation motorisée, uniquement des outils manuels. L'outil principalement utilisé est la machette. La houe n'est pas utilisée car la ferme ne pratique pas le labour, selon les principes de la permaculture et de l'agriculture de conservation.

3.3.4 Engrais et traitements phytosanitaires

Aucun engrais minéral ni produit phytosanitaire n'est utilisé. Des biopesticides sont toutefois produits pour le traitement de maladies et de ravageurs. Ceux-ci sont préparés à bases de feuilles ou de graines de neem (*Azadirachta indica*) et de papayer (*Carica papaya* L.) puis sont pulvérisés sur les plantes attaquées à l'aide d'un pulvérisateur à dos. Pour la fertilisation des parcelles, les branches des arbres fertilisant sont laissées sur le sol après la taille. Du compost est également produit sur la ferme avec un système à trois fosses. Au vu de la faible quantité produite pour l'instant, l'application de compost est limitée à la parcelle S25 destinée au maraîchage.

3.4 Dynamique locale

Le ferme FeMoDo est en interaction direct avec les villageois de Donomadé et leurs autorités locales. Ces dernières sont composées du Chef du village et du CVD (comité villageois de développement). Lorsque la ferme, l'équipe Étoile Verte ou celle d'Happy Togo souhaite réaliser un nouveau projet, le chef du village est toujours consulté. Les membres du CVD sont les interlocuteurs désignés lorsqu'il s'agit d'organiser des événements ou des formations à la ferme pour les villageois. La ferme emploie trois villageois à plein temps pour les travaux réguliers ainsi qu'une équipe de trois autres villageois chargés de mettre en place les techniques de la FeMoDo dans les champs des agriculteurs adoptants. Cette équipe est nommée équipe « carbone ». Les agriculteurs adoptants, aujourd'hui majoritairement des femmes, viennent travailler tous les mardis matin sur la ferme. En échange de quoi elles reçoivent des rejets d'ananas et des plants d'arbres fruitiers ainsi que le soutien de l'équipe « carbone » pour la mise en place du système de culture Attisso dans leurs champs.

4 Méthodes

4.1 Description du système sol

Les types de sols de la zone proche de la ferme ont été décrits à l'aide de 17 sondages à la tarière hollandaise et deux profils de sol.

4.1.1 Référencement et définition des points de mesure

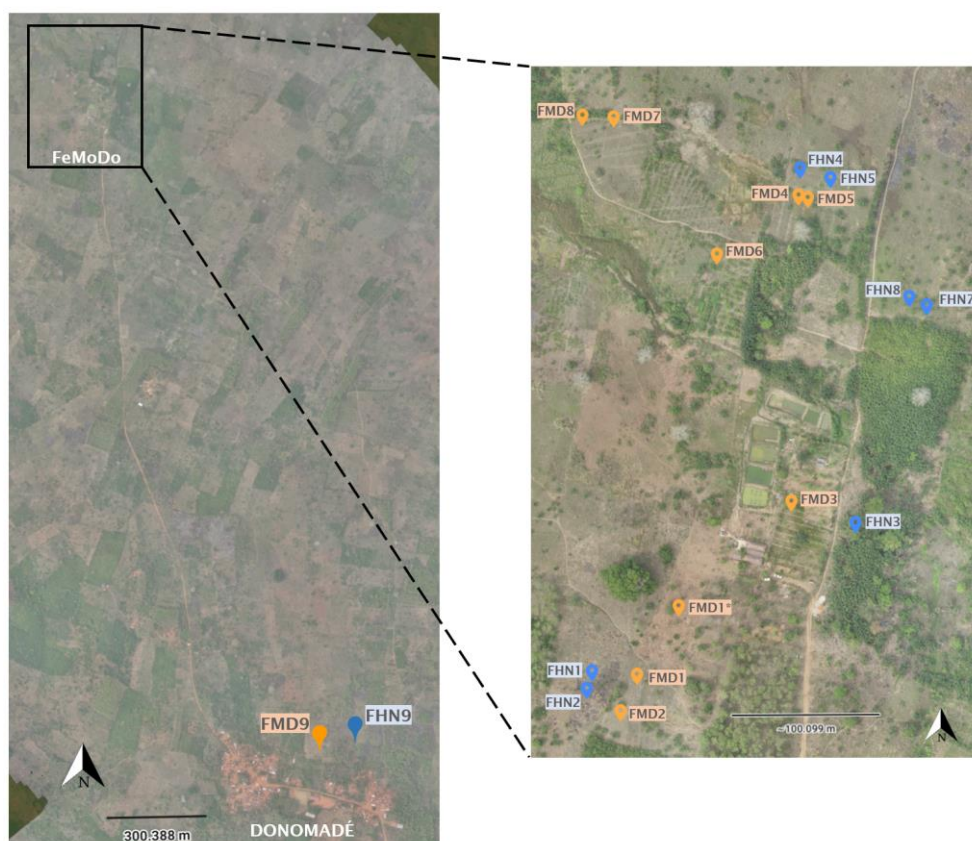


Figure 20 Carte du village et de la ferme avec les points de mesure (source des orthophotos : Happy Togo 2019)

Afin de décrire et comparer le sol des deux systèmes, neuf paires de points ont été choisies. Pour chaque point choisi sur les parcelles en permaculture (FMD), un point de contrôle (FHN) à proximité a été déterminé (fig. 20). Cette stratégie avait pour but de limiter la variabilité due aux variations naturelles des sols. La ferme modèle dispose d'un total de 24 parcelles couvrant une surface de 6ha. Dans le cadre du monitoring, huit parcelles ont été observées sur la ferme modèle (permaculture). Pour le contrôle, six parcelles appartenant à des paysans du village ont été prises en considération (tab. 8). Huit paires de points (15 points) se situent aux alentours de la ferme, et une paire de points se situe au village. À noter que pour la paire se situant au village, le point « permaculture » n'est pas situé sur une parcelle exploitée par la ferme modèle mais sur la parcelle d'une paysanne ayant adopté la technique du paillage sur son propre champ. Pour le point FMD6, il n'y a pas de point contrôle.

Pour les mesures longues durée (tensiomètres et loggers de température), un point « permaculture » et un point « contrôle » ont été définis. Initialement ceux-ci devaient se situer juste à côté des carrés de mesures FMD1 et FHN1. Cela est véridique pour FHN1, mais le point « permaculture » a dû être déplacé sur la parcelle S14, au point FMD1* en raison de l'absence de culture sur la parcelle S15 entre juillet et septembre, situation qui aurait faussé les comparaisons.

Tableau 8 Points de référence pour le monitoring

| Code point | N° parcelle sur la ferme / exploitant | Coordonnées GPS | |
|------------|---------------------------------------|-----------------|----------|
| FMD1 | S15 | 6.809086 | 1.524334 |
| FMD2 | S16 | 6.808832 | 1.524416 |
| FMD3 | S22 | 6.810140 | 1.525467 |
| FMD4 | S24 | 6.811993 | 1.525420 |
| FMD5 | S24 | 6.811989 | 1.525540 |
| FMD6 | S6 | 6.811694 | 1.524950 |
| FMD7 | S2 | 6.812310 | 1.524489 |
| FMD8 | S10 | 6.812351 | 1.524184 |
| FMD9 | Mignanou ALOBANDE | 6.792557 | 1.531392 |
| FHN1 | Koffi EDOH | 6.809075 | 1.524074 |
| FHN2 | Koffi EDOH | 6.808929 | 1.524024 |
| FHN3 | Agbélénouko DATEH | 6.810043 | 1.525712 |
| FHN4 | Amélévi TOMÉTY | 6.812239 | 1.525523 |
| FHN5 | Amélévi TOMÉTY | 6.812147 | 1.525730 |
| | | | |
| FHN7 | Agbélénouko DATEH | 6.811354 | 1.526394 |
| FHN8 | Agbélénouko DATEH | 6.811565 | 1.526186 |
| FHN9 | Amélévi TOMÉTY | 6.792805 | 1.532493 |

Chaque point de mesure est référencé grâce à ses coordonnées GPS, puis est enregistré dans l'application maps.me. Cela permet aux personnes ne disposant pas de GPS de retrouver les points facilement. Le jeu de données de l'application maps.me regroupant tous les points peut être transféré d'un téléphone à l'autre via Bluetooth. Un repère physique (palmier, bananier, baobab) a été choisi à proximité de chaque point afin qu'il puisse être retrouvé précisément les années suivantes. La distance du point de référence au repère physique a été mesurée, et l'orientation cardinale référencée (annexe C). Les points pourront ainsi être retrouvés lors des prochaines campagnes de mesure. Dans un premier temps la zone sera repérée grâce au point dans l'application maps.me. Le repère physique identifié et finalement la distance mesurée pour retomber précisément sur le point de référence. Pouvoir retrouver le point avec précision est important afin de ne pas faire des mesures sur un échantillon de sol perturbé qui fausserait les résultats.

À partir de chaque point de référence, un carré de 1x1m est délimité et sert de zone d'échantillonnage pour toutes les mesures du monitoring (fig. 21). Pour l'année 2021, le carré de référence est orienté en direction du Sud. Lors de la prochaine campagne de mesure, le carré de référence sera orienté en direction du Nord. De ce fait il est possible de faire deux campagnes de mesure à partir d'un seul point de référence.

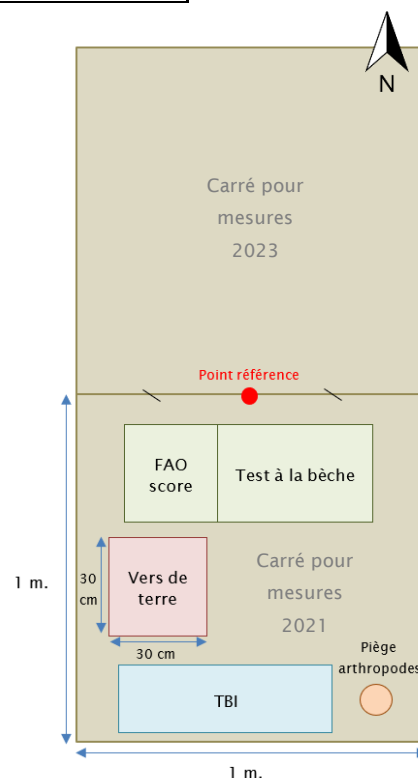


Figure 21 Schéma du carré de mesures pour le monitoring

4.1.2 Sondages

Sur chaque point de référence, un sondage à la tarière hollandaise a été effectué. Tous les sondages ont été réalisés du 15 au 20 juillet 2021. Les sondages ont été décrits selon la feuille de relevé en annexe A. Pour chaque sondage les horizons sont identifiés et nommés. Pour chaque horizon, la texture, le pH_{H_2O} , la teneur en matière organique ainsi qu'une éventuelle hydromorphie sont déterminées. La teneur en matière organique est estimée visuellement en se basant sur la couleur du sol, tout comme l'hydromorphie qui est déterminée en fonction d'éventuelles taches de rouilles visibles. La texture est déterminée grâce à un test tactile.



Figure 22 Évaluation d'un sondage à la tarière

Le pH_{H_2O} a été mesuré grâce aux bandelettes indicatrices MQuant® 5-10 de Merck (référence : 109533). Pour chaque horizon, un échantillon de 11gr de sol a été prélevé et mis dans un conteneur en plastique fermable. Ensuite 25gr d'eau ont été ajoutés et l'ensemble a été mélangé à l'aide d'une baguette en bois. Le conteneur est ensuite refermé et repose durant huit heures. Après huit heures, une bandelette est trempée dans la partie supérieure du liquide durant trois secondes. La bandelette est retirée du liquide et déposée sur une surface plane. Après 30 secondes, la couleur du réactif est comparée à celle de la référence afin de déterminer la valeur du pH_{H_2O} de l'horizon.

4.1.3 Profils



Figure 23 Creusement du profil de sol sur la parcelle en permaculture

Afin de compléter la description du sol à l'aide des sondages, deux profils de sols ont été réalisés le 19 et 20 juillet 2021. Un profil par système a été réalisé, soit un profil « permaculture » juste à côté du point FMD6 et un profil « contrôle » à côté du point FHN7. Bien que n'étant pas situés proches, ces points ont été choisis car ils présentaient des sondages avec des caractéristiques similaires. Un trou d'un mètre de profondeur a été creusé (fig. 23). Comme pour les sondages, les horizons ont été déterminés. Pour chaque horizon la densité du sol a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre, puis le nombre de racines par dm^2 ($10 \times 10 cm$) a été déterminé par comptage. L'hydromorphie a été déterminée et les deux profils décrits à l'aide d'un formulaire spécifique. La forme des agrégats a été déterminée en suivant la classification de Hasinger et al. (2004) et la profondeur utile calculée en tenant compte des facteurs de correction (fig. 22 et 23).

| degré de mouillure de l'horizon | Facteur de correction de la profondeur pour déterminer la profondeur utile |
|---------------------------------|--|
| cn ou (g) | 0,8 à 1,0 |
| g | 0,5 à 0,8 |
| gg | 0,1 à 0,5 |
| r | 0,0 à 0,1 |

La valeur exacte du facteur de correction dans la fourchette de valeurs indiquée est déterminée par la qualité de la structure et / ou la densité apparente des horizons.

Figure 24 Fourchette d'estimation de la profondeur utile d'horizons engorgés (Source : Brunner et al. 1997)

| Sous-type | Limite supérieure horizon g | Limite supérieure horizon gg |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| G1 humide en profondeur | 90 - 120 cm | et en dessous de 120 cm (si existant) |
| G2 faiblement gleyifié | 60 - 90 cm | ou 90 - 120 cm |
| G3 gleyifié | 0 - 60 cm | ou 60 - 90 cm |
| G4 fortement gleyifié | | 40 - 60 cm |
| G5 très fortement gleyifié | | 20 - 40 cm |
| G6 extrêmement gleyifié | | 0 - 20 cm |

Figure 25 Sous-type de sols en cas de mouillure par nappe permanente à battement (G) (Source : Brunner et al. 1997)

4.2 Monitoring du sol

Le monitoring du sol se base sur sept indicateurs :

1. Note de structure déterminée grâce à un test à la bêche
2. FAO score pour la structure
3. Nombre de vers de terre (comptage 30x30cm)
4. Nombre de vers d'arthropodes (comptage piège)
5. Tea Bag Index (facteur de stabilisation et taux de décomposition)
6. Température du sol (tensiomètres)
7. Humidité du sol (loggers)

Les indicateurs 1 à 5 sont mesurés sur chacun des points de référence, soit sur 17 points. Les indicateurs 6 et 7 ne sont mesurés que sur deux points de référence, soit un point « permaculture » et un point « contrôle » (voir 4.4.1 pour les emplacements).

4.2.1 Test à la bêche et Visual scoring (VS) de la structure

Pour le test à la bêche, un bloc d'environ 30x20x20cm est extrait selon la méthode VESS (Zihlmann et al. 1999; Ball et al. 2007; Ball et al. 2012). Le bloc est ensuite déposé sur une bêche, les horizons sont déterminés puis les paramètres évalués. Une note par paramètre et par horizon est attribuée (Annexe B). Afin de déterminer la note globale du bloc, chaque paramètre est pondéré en fonction de l'épaisseur de l'horizon. Une note par paramètre est ainsi calculée, puis les notes pondérées de chaque paramètre sont additionnées pour donner une note globale par bloc.

Dans le même trou où a été extrait le premier bloc de sol pour le test à la bêche, un second bloc est extrait (fig. 21) afin de réaliser de le Visual scoring (VS) de la structure selon la méthode de Shepherd (2000). La bêche avec le bloc de sol sont tenus à hauteur de hanches puis le bloc est basculé afin de faire tomber sur une bêche en plastique sous laquelle est disposée une planche en bois. Le bloc est ainsi cassé en fragments de différentes tailles et ceux-ci sont triés par ordre de grandeur (fig. 26). Pour chaque bloc, donc chaque point de référence, une note VS peut être attribuée.

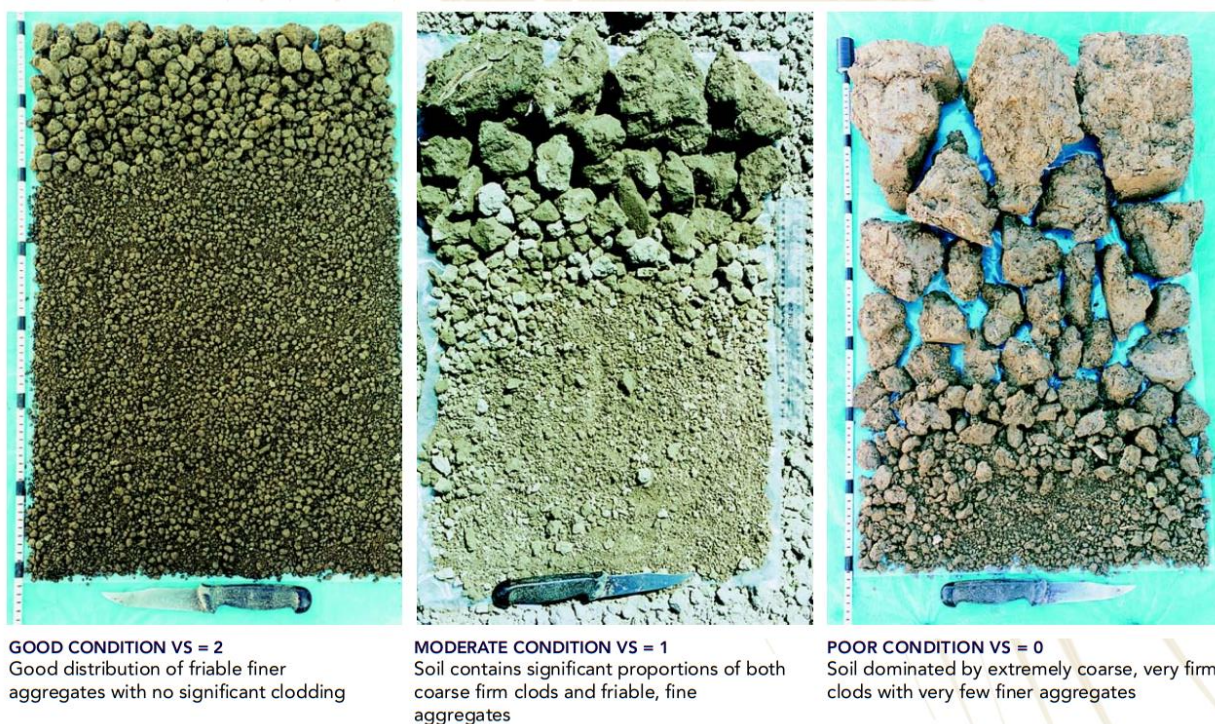


Figure 26 Classes et notes de condition pour le Visual scoring (VS) de la structure (Source : Shepherd 2000)

4.2.2 Comptage des vers de terre et arthropodes



Figure 27 Matériel utilisé pour le comptage des vers de terre

Le nombre de vers de terre a été déterminé par triage à la main sur un échantillon de 30x30x20cm (18 dm³). L'échantillonnage a eu lieu le 4 et 5 août 2021, directement après une pluie soit dès que les précipitations ont cessé. Une pluie fine a eu lieu dans la nuit du 3 au 4 août puis une pluie plus forte a eu lieu le matin du 4 août. Le bloc de sol a été extrait à l'aide d'une bêche puis déposé dans un bac en plastique et les vers terre récoltés ont été déposés dans un récipient en plastique. Ils ont ensuite été relâchés sur place.

Le nombre d'arthropodes a été déterminé grâce à des pièges. Un trou a été creusé et un verre en plastique y a été déposé de manière que le bord du verre soit au même niveau que le sol. Le verre a été rempli avec 1dl d'alcool local (Sodabi) afin de garantir une meilleure conservation des arthropodes qui y tombent. Sur les parcelles « permaculture », le verre a été recouvert de paillage. Le contenu des pièges a été collecté 72 heures après la mise en place, et les arthropodes ont été classifiés, comptés puis photographiés (Annexe D).

4.2.3 Tea Bag Index (TBI)



Figure 28 Disposition des sachets de thé sur le champ

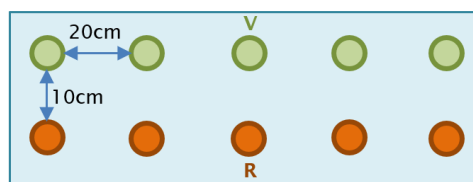


Figure 29 Disposition du TBI dans le carré de mesure

Le Tea Bag Index (TBI) a été réalisé selon le protocole de Keuskamp et al. (2013), en prenant en compte le protocole adapté aux environnements tropicaux riches en termites (Teo et al. 2020). Les sachets de thé ont été mis en terre le 5 août (fig. 28) et collectés le 12 septembre 2021, soit une période d'incubation de 39 jours. La période choisie est celle entre les deux saisons des pluies, en partant du postulat que c'est une période riche en activité microbiologique. La période de 39 jours est plus courte que celle recommandée dans le protocole de Keuskamp et al. (2013) ainsi que dans celui de Teo et al. (2020). Pour les climats tempérés la période d'incubation recommandée est de 90 jours, et peut être raccourcie pour les climats tropicaux. Toutefois il a été choisi de retirer les sachets après 39 jours afin de limiter les dommages dus aux termites. Dans chaque carré de mesure, cinq paires de sachets de thé ont été disposées, soit cinq sachets de thé vert (V) et cinq sachets de thé rooibos (R) (fig. 29).

L'analyse statistique selon la méthode scientifique prend les paires en considération. Si un des sachets de thé est endommagé par des termites, la paire doit être éliminée. Comme le mentionne Teo et al. (2020), afin de protéger les sachets de manière fiable contre les dommages des termites, une protection physique (tissus métallique) est nécessaire. En raison des coûts élevés de cette méthode, il a été choisi de suivre l'option « citizen scientists » (ibidem) et de ne pas protéger les sachets. Par conséquent une

analyse non-appariée a été réalisée et considérant uniquement les deux groupes « permaculture » et « contrôle ».

Les sachets ont été collectés et observés sur le terrain. S'ils présentaient des perforations d'un diamètre ≥ 3 mm, ils étaient éliminés car considérés comme endommagés par les termites. Les sachets considérés comme valides ont été séchés 48h à 70°C puis pesés avec une balance de précision à quatre décimales. Le facteur de stabilisation S a été calculé sur la base des valeurs des sachets de thé vert et le taux de décomposition k sur la base des sachets de thé rooibos selon les étapes suivantes :

- Les estimations de S ont été réalisées pour chaque sachet de thé vert valide. La valeur a_g correspond à la perte de poids de chaque sachet de thé vert à la fin de la période d'incubation
- La moyenne des valeurs individuelles a été calculée afin de déterminer la valeur moyenne de S pour le site et de calculer ensuite la valeur moyenne a_r pour le site
- Le taux de décomposition k a été estimé à partir de chaque sachet de thé rooibos non-endommagé par les termites, en utilisant la valeur moyenne a_r .

Définition des variables

a_g = fraction décomposable (thé vert)

H_g = *fraction hydrolysable (thé vert)

S = facteur de stabilisation

a_r = fraction décomposable (thé rooibos)

H_r = *fraction hydrolysable (thé rooibos)

t = durée d'incubation (jours)

$W(t)$ = poids du contenu du sachet après t jours d'incubation

k = taux de décomposition

* les valeurs marquées d'un astérisque sont données dans le protocole de Keuskamp et al. (2013)

Formules utilisées

$$S = 1 - \frac{a_g}{H_g}$$

$$a_r = H_r * (1 - S)$$

$$W(t) = a_r * e^{-kt} + (1 - a_r) \rightarrow k = -\frac{1}{t} \ln \left(\frac{W(t) - 1 + a_r}{a_r} \right)$$

Les calculs ont été réalisés séparément pour les parcelles « permaculture » et les parcelles « contrôle » afin de comparer les valeurs selon le traitement.

4.2.4 Mesure de l'humidité et de la température du sol

Les mesures de l'humidité et de la température du sol ont été réalisées sur les deux points mentionnés au chapitre 3.3.1. Pour la permaculture sur le point FMD1*» et à côté du point FHN1 pour le contrôle. Des tensiomètres ont été installés dans le sol à 15cm et 35 cm de profondeur. Des loggers de température ont été installés à 2cm, 15cm et 35 cm de profondeur (fig. 32). Sur la parcelle en permaculture, le mulch était d'une épaisseur de 5cm et la culture présente était l'arachide. Sur la parcelle de contrôle le sol n'était pas couvert et les cultures présentes étaient le maïs et le niébé (haricot).

4.2.4.1 Humidité du sol

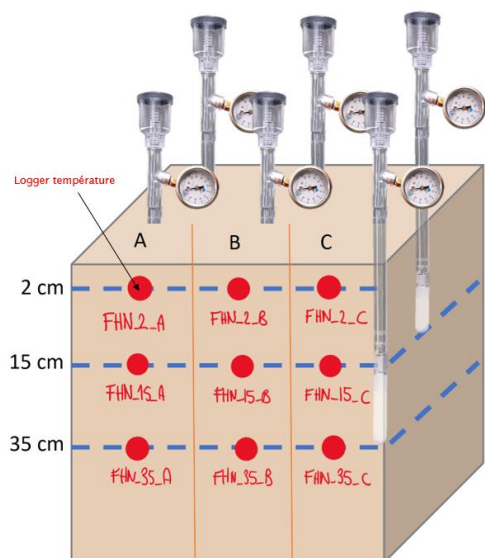


Figure 30 Schéma d'installation des loggers et tensiomètres

L'humidité du sol a été mesurée grâce à des tensiomètres Jet Fill de la marque Soilmoisture® (référence : 2725ARL24-L). Les mesures ont été réalisées durant deux périodes : 2 au 11 août 2021 (10 jours, saison sèche) et 6 au 12 octobre 2021 (7 jours, petite saison des pluies). Durant chaque période, les valeurs ont été relevées deux fois par jour (7h et 16h). Les tensiomètres sont composés d'une bougie en céramique, d'un tube en plastique, d'un cadran pour indiquer la pression et d'un couvercle servant de réservoir d'eau. Le principe du tensiomètre est qu'il mesure le potentiel énergétique de l'eau présente dans le sol. La bougie en céramique est en contact direct avec le sol. Grâce à sa structure poreuse, elle permet à l'eau de circuler et d'équilibrer la tension entre l'eau dans le tube et l'eau dans le sol. Le tube fermé permet de mesurer les variations de tension grâce à un effet de vacuum (Smajstrla et Harrison 1998). La valeur en centibars ainsi mesurée peut se lire sur le cadran du tensiomètre. Une valeur de 0 centibars correspond à de l'eau ou à un sol complètement détrempe, et une valeur de 100 centibars correspond à un sol complètement sec.

Afin de préparer les tensiomètres, ceux-ci ont été montés (fig. 13) puis ont été rempli d'eau de pluie mélangée avec du liquide stabilisant Aquastabil de la marque Julabo® (référence : 8940006). Une fois le couvercle refermé, les tensiomètres ont été placés dans un bac avec un fond d'eau afin que les bougies soient immergées. Cette opération doit servir de calibrage aux tensiomètres et leur permettre de se régler sur 0. En effet la pression interne et externe de l'eau doit s'égaliser. Après 24h, les tensiomètres sont contrôlés et si besoin les cadrans sont remis à 0 grâce à un tournevis. Pour l'installation au champ, un trou est creusé à l'aide d'une tarière de diamètre adapté. Un peu de terre est récupérée et émulsionnée avec de l'eau. Le mélange ainsi obtenu est versé dans le trou puis le tensiomètre est inséré en faisant quelques aller-retours. L'espace autour du tube est rebouché avec un peu de terre de façon à former un léger monticule afin que l'eau de pluie ne coule pas le long du tube.

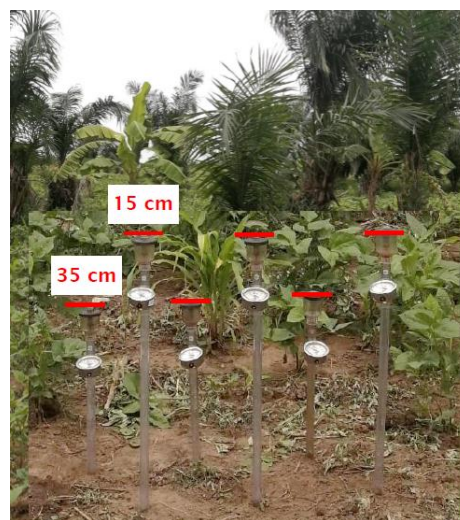


Figure 31 Tensiomètres sur le champ

4.2.4.2 Température du sol



Figure 32 Installation des loggers

La température du sol a été mesurée grâce à aux loggers Pendant® MX Temp de la marque HOBO® (référence : MX2201). Les données de trois périodes ont été analysées : 2 au 15 août 2021 (14 jours, saison sèche), 10 au 24 septembre (15 jours, transition entre deux saisons) et 24 septembre au 8 octobre 2021 (15 jours, petite saison des pluies). Les loggers sont restés dans le sol du 1^{er} août au 8 octobre et ont enregistré la température toutes les deux heures durant cette période.

Afin d'installer les loggers, un trou à d'abord été creusé à la bêche puis des cavités individuelles ont été creusées sur la paroi à l'aide d'une fourchette (fig. 15). Les loggers ont été insérés

dans les cavités puis reliés ensemble à l'aide de colsons en plastique afin de faciliter leur déterrement. Le trou a ensuite été rebouché et le paillage remis en place. Les données ont été récupérées durant l'expérience grâce à la liaison bluetooth et à l'application android HOBOMobile®.

4.3 Analyses statistiques

Les paramètres mesurés dans le cadre du monitoring du sol ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel NCSS 9. En raison des différents types de données mesurées, deux tests ont été effectués : test T et tableau de contingence avec khi-carré. La valeur significative a été fixée à 5% (p-value=0.05) pour tous les tests effectués. Dans toutes les comparaisons, l'hypothèse était bilatérale.

Selon le design des relevés, 17 points d'échantillonnage ont été pris en considération. Afin de limiter la variabilité au sein des données collectées, les points ont été déterminés par paire de points proches. Toutefois l'analyse statistique ne considère pas les paires dans l'analyse mais les deux groupes. Ainsi le traitement « permaculture » (n=9) est comparé au groupe « contrôle » (n=8). Pour des raisons d'abréviation, dans certains cas le groupe « permaculture » est abrégé « FMD » et le groupe « contrôle » est abrégé « FHN ».

Les analyses statistiques des données des tensiomètres (humidité) et loggers (température) ont été réalisées par Alexander Burren (collaborateur BFH-HAFL) avec une des modèles linéaires mixtes de séries temporelles.

4.3.1 Test T et test U de Mann-Whitney

Pour les paramètres dont la variable réponse était numérique (tab. 9), un test T a été effectué afin de déterminer s'il y avait une différence significative entre les deux groupes. Si l'égalité de variance et la normalité des données ont été acceptées (test d'hypothèses), les valeurs p du test T d'égalité de variance ont été utilisées. Dans le cas où la normalité aurait été rejetée, les résultats auraient été calculés avec le test U de Mann-Whitney. Toutefois ici tous les paramètres se prêtaient à l'utilisation d'un test T.

Tableau 9 Paramètres du monitoring analysés avec un test T

| Paramètre | Unité | Type de variable |
|--|------------------------------------|-----------------------|
| Sondage | | |
| pH (H1) | pH H ₂ O | Quantitative continue |
| %MO (H1) | % | Quantitative continue |
| Test à la bêche | | |
| Note test à la bêche | Points | Quantitative continue |
| Macroaune | | |
| Vers de terre | Nbre vers de terre par échantillon | Quantitative discrète |
| Arthropodes | Nbre arthropodes par piège | Quantitative discrète |
| Tea Bag Index (TBI) | | |
| Facteur de décomposition k (rooibos tea) | / | Quantitative continue |
| Facteur de stabilisation S (green tea) | / | Quantitative continue |

4.3.2 Modèles linéaires mixtes de séries temporelles

Les paramètres de la température du sol et le potentiel matriciel (humidité du sol) ont été analysés à l'aide de modèles linéaires mixtes de séries temporelles. Les modèles suivants ont été utilisés avec correction de l'autocorrélation :

Température du sol

Température du sol = μ + méthode x profondeur + (méthode x profondeur | moment) random + (instrument de mesure) random + reste (random)

Tension d'aspiration

Tension d'aspiration = μ + méthode x profondeur + (méthode x profondeur | date) random + (appareil de mesure) random + reste (random)

Le logiciel R et les paquets "arm" (Gelman et al. 2016), "optimx" (Nash et Varadhan 2011 ; Nash 2014), "brms" (Bürkner 2017 ; Bürkner 2018) ont été utilisés.

4.4 Revue de la littérature

Afin de planifier les méthodes à utiliser pour le monitoring du sol ainsi que d'appréhender les spécificités des sols tropicaux, une revue de la littérature a été effectuée. La recherche de documents a été faite sur les plateformes « Web of Science » et « Google Scholar ». Les mots clés utilisés ont été « soil monitoring », « soil health », « soil health assessment », « permaculture », « conservation agriculture ». En plus de la documentation en ligne, des ouvrages imprimés ont été consultés. Au total 65 sources ont été exploitées afin de compléter la collecte de données sur le terrain.

4.5 Interviews de agriculteurs/-trices intégrés au monitoring

Afin de compléter les observations et les mesures de terrain, quatre entretiens ont été réalisés avec les paysans dont les parcelles font partie du monitoring. Les interviews ont été réalisés du 8 au 10 octobre 2021 en suivant un guide d'entretien (Annexe F). Deux femmes et deux hommes ont été interrogés. Trois entretiens ont eu lieu au domicile de la personne et un entretien a eu lieu à la FeMoDo. Les deux entretiens des hommes ont été réalisés sans traducteur et ceux des deux femmes avec un traducteur.

5 Résultats et discussion

5.1 Système sol à Donomadé

5.1.1 Sondages à la tarière

5.1.1.1 Résultats

Sondages

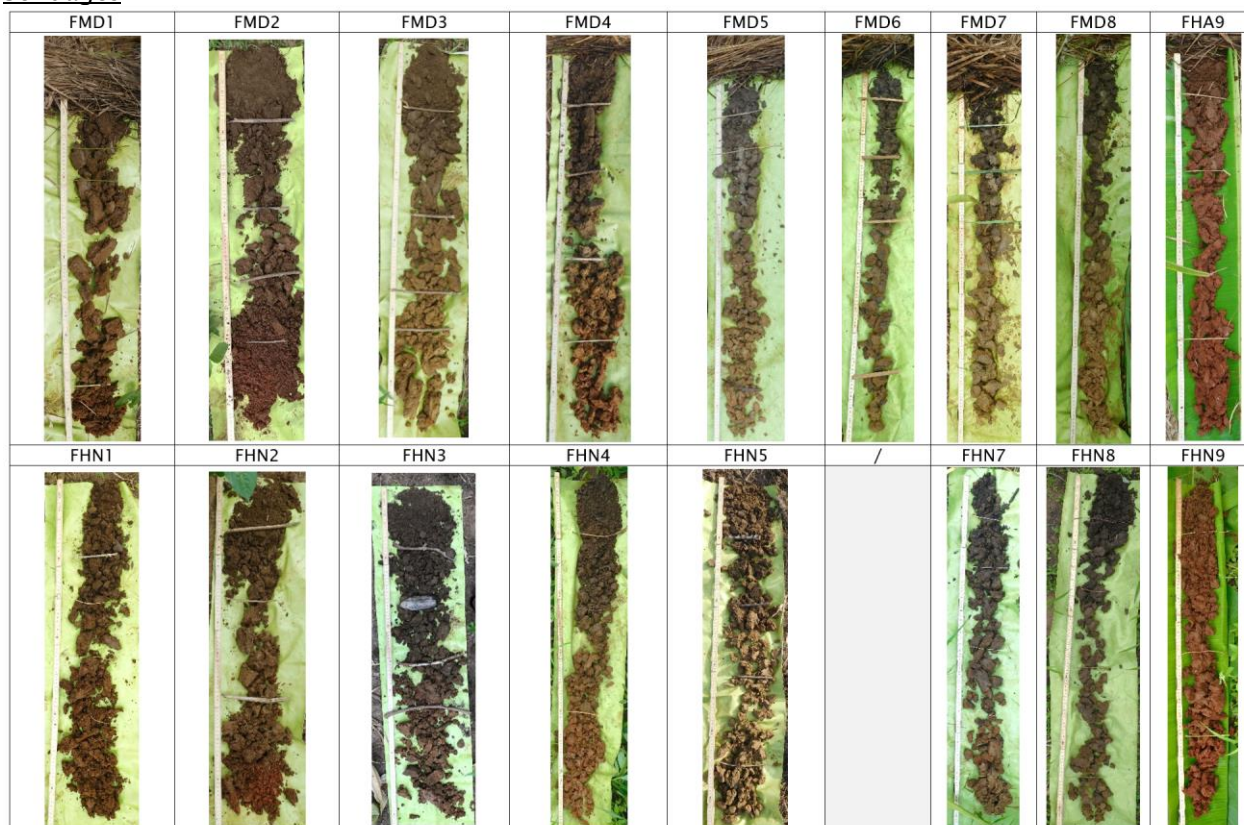


Figure 33 Sondages à la tarière des points faisant partie du monitoring

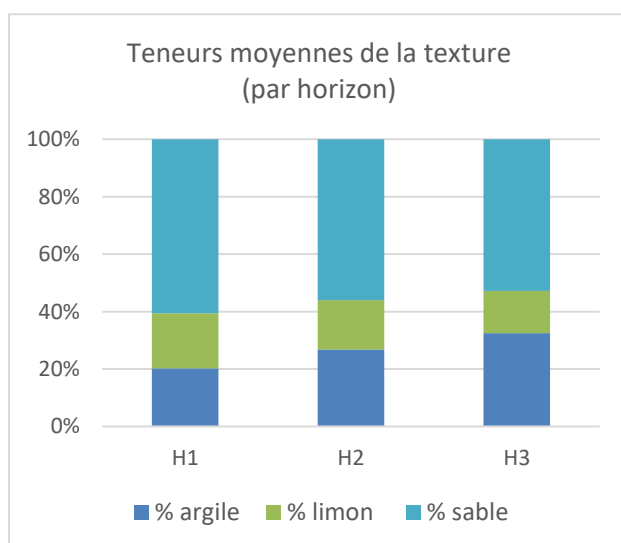


Figure 34 Teneurs moyenne de texture par horizon, données issues des sondages (n=17)

Les sondages à la tarière ont mis en évidence des sols bruns-rouges dans la zone de la ferme et des sols rouges au village. En moyenne quatre horizons ont pu être identifiés. Les points situés proches des bas-fonds présentaient des horizons inférieurs avec de l'hydromorphie et une coloration tendant vers le jaune. De manière générale la teneur en argile élevée, avec une moyenne de 20.1% d'argile dans le 1^{er} horizon, 26.7% dans le 2^{ème} horizon et 32.6% dans le 3^{ème} (fig. 34). Les horizons 2 et 3 semblent présenter une zone d'accumulation des argiles. Les sondages des points les plus au Sud (FMD1, FMD2, FHN1, FHN2) montrent une couche graveleuse à 70cm.

Teneur en matière organique et pH_{H2O}

La teneur en matière organique du premier horizon (H1) diffère significativement entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 36). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.045$ avec une teneur plus élevée sur les parcelles en permaculture. La moyenne de la teneur en matière organique dans le premier horizon était de 4.67 pour les points permaculture et 3.55 pour les points contrôle.

La valeur pH_{H2O} du premier horizon (H1) ne diffère pas entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 37). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.799$. La moyenne de la valeur pH_{H2O} pour le premier horizon était de 5.81 pour les points permaculture et 5.85 pour les points contrôle.

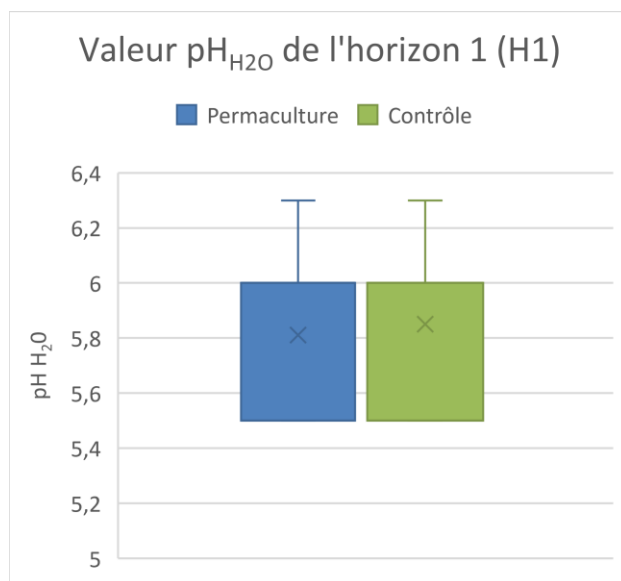


Figure 36 Boxplot valeur pH_{H2O} dans l'horizon H1 (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.799$)

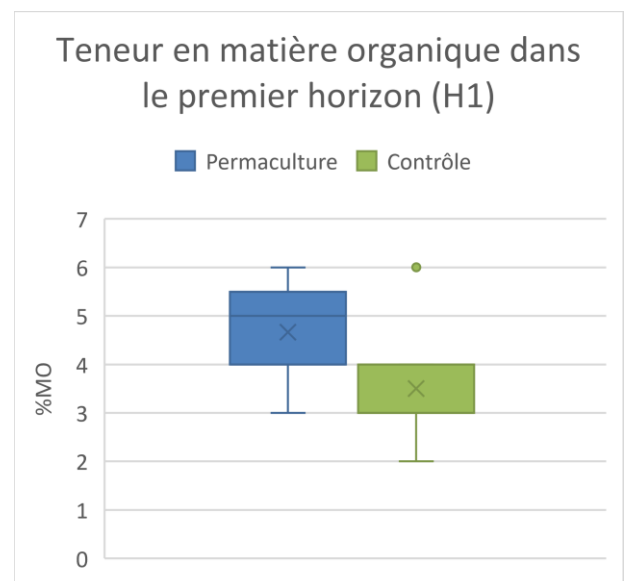


Figure 37 Boxplot teneur en matière organique de l'horizon 1 (H1) (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.045$)

5.1.1.2 Discussion

Types de sol

Les sols mis à jour avec les sondages semblent plus se rapprocher des lixisols que des nitisols. Les sondages présentent un horizon d'accumulation des argiles dans le 2^{ème} horizon, ce qui correspond la description de Jones (2013). De plus les valeur pH ne sont pas fortement acide, ce qui serait une caractéristique des nitisols. Selon la classification française il s'agirait de sols ferrugineux tropicaux à hydromorphie (Lamouroux 1969), ce qui confirme les dire du Pr. Dr. Mawussi (2021, communication personnelle). La différence de couleur entre les sols de la ferme et ceux du village peuvent s'expliquer par les mouvements de l'eau et la proximité avec la nappe phréatique. Les parcelles proches de la ferme se situent dans une dépression (bas-fond) tandis que les deux parcelles du village se situent sur un plateau. Les parcelles du village sont bien drainées et éloignées de la nappe phréatique ce qui permet au fer d'être constamment oxydé (Mawussi 2021, communication personnelle). Au contraire, les parcelles des bas-fonds sont proches de la nappe et subissent les fluctuations du niveau d'eau entre les saisons sèches et pluvieuses. L'engorgement temporaire modifie la forme du fer qui tour à tour est oxydé en saison sèche et réduit en saison pluvieuse. C'est ce qui permet d'expliquer les taches de rouille et la couleur différente de celle de la terre du village.

La couche graveleuse relativement proche de la surface sur les points le plus au Sud (FMD1, FMD2, FHN1, FHN2) peut s'expliquer par le fait que c'est une zone légèrement en pente et située au bas de la colline. L'horizon C est ainsi plus proche de la surface. D'un point de vue agronomique ces parcelles

seraient particulièrement adaptées aux arbres de la famille des *citrus* qui ont généralement des racines peu profondes et se développant latéralement.

Teneur en matière organique

La teneur en matière organique semble être plus élevée sur les parcelles en permaculture que sur les parcelles de contrôle. Toutefois la valeur p est haute et le résultat est à considérer avec modération. Les deux moyennes (4.67% pour la permaculture et 3.55% pour le contrôle) sont bien plus élevées que les valeurs évoquées par Lamouroux (1969). Ce dernier mentionnait un taux de matière organique de 1 à 3% pour des jachères arbustives, soit des terres non cultivées (ibid.). Cela a été confirmé par Mawussi (2021, communication personnelle) qui dit n'avoir que rarement observé des teneur en matière organique supérieures à 3% au Togo. Les valeurs élevées trouvées dans le cadre de cette étude sur des parcelles cultivées semblent en contradiction avec ces données. Une comparaison avec des valeurs d'analyses de laboratoire serait nécessaire pour vérifier les estimations faites visuellement. À noter que l'estimation de la teneur en matière organique ayant été faite visuellement, des erreurs peuvent être faites par les examinateurs. Les différences naturelles de couleurs entre les sols tropicaux et les sols tempérés peuvent fausser la perception de personnes non-aguerries.

Valeurs pH_{h2o}

Le pH_{h2o} est presque identique sur les parcelles en permaculture et le contrôle. Cela semble indiquer que les pratiques de permaculture n'ont pas une incidence sur le pH du sol, du moins pas à court terme. Dans leur étude au Bec-Hellouin, Tombeur et al. (2018) n'ont pas non plus détecté de changement dans le pH entre le système en permaculture et le système traditionnel. Le constat de Chen et al. (2020) selon lequel le non-labour devrait réduire le pH du sol n'est pas vérifié dans ce cas. Les bandelettes indicatrices utilisées dans cette étude avaient une précision de 0.5 et nécessitaient une lecture visuelle de la valeur (couleur). Ces deux facteurs réduisent la précision de la mesure et risquent d'invisibiliser les faibles différences éventuelles. Il est possible que le pH soit une valeur qui mette du temps à évoluer et de possibles changements ne seront observables que dans plusieurs années.

5.1.2 Profils de sol

5.1.2.1 Résultats

Tableau 10 Relevé du profil de sol de la permaculture (FMD)



| FMD - Ananas colline | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----|----------------|----------|-----|--------------|-------------|-----------------------------|----------|---|------------------|
| N° | Profondeur (cm) | | Horizon | Esquisse | %MO | Pénétrömètre | Structure | Racines par dm ² | Porosité | Commentaires | Prof. utile (cm) |
| 1 | -9 | 0 | Ol Of | | 100 | | | | | | |
| 2 | 0 | 8 | A | | 4 | 3 | Pè3/Pè5 | 40 | 3 | Porosité texturale Très peu de pores biologiques | 8 |
| 3 | 8 | 32 | B ₁ | | 2 | 5 | Pè3/Pè5/Po5 | 6 | 3 | Pores biologiques | 24 |
| 4 | 32 | 64 | B ₂ | | 0.5 | 7 | Po4/Po5 | 5 | 3 | Pores biologiques | 32 |
| 5 | 64 | 80 | Bcng | | 0 | 7 | Fr4 | 3 | 3 | Pores biologiques | 9,6 |
| 6 | 80 | 90 | Bgg | | 0 | 4 | Fr4 | 0 | 2 | Pores texturaux | 2 |
| 75.6 | | | | | | | | | | | |

Le profil « permacultr » a pu être creusé jusqu'à une profondeur de 90cm, au-delà de laquelle la nappe apparaissait (tab. 10). Le premier horizon est un composé du paillage, grossier au-dessus (Ol) puis en fermentation à la surface du sol minéral (Of). Il a été observé que des racines d'ananas se développaient à la surface du sol sous le paillage. Cinq horizons ont été identifiés pour le sol minéral. Des concrétions de manganèse ont été observées dans l'horizon 5. La profondeur utile n'est pas limitée par des graviers mais par une forte hydromorphie à partir de 64cm. La limite supérieure de l'horizon gg étant de 80cm, ce sol est considéré comme gleyifié (G3).

Tableau 11 Relevé du profil de sol du contrôle (FHN)



| FHN - Ananas Agbè | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|----|---------|----------|-----|--------------|-------------|---------------------------------------|----------|----------------------------------|------------------|
| N° | Profondeur (cm) | | Horizon | Esquisse | %MO | Pénétrömètre | Structure | Racines par dm ² | Porosité | Commentaires | Prof. utile (cm) |
| 1 | 0 | 9 | Ah | | 7 | 3 | Pè5/Pè2 | Entre plantes : 4 Sous plante : 20 | 3 | Pores fins Porosité texturale | 9 |
| 2 | 9 | 47 | Bcn | | 4 | 7 | Pè5/Pè3 | 13 | 3 | Pores biologique | 34.2 |
| 3 | 47 | 65 | Bg | | 0.5 | 5 | Po4/Po3 | 7 | 3 | Pores biologiques | 10,8 |
| 4 | 65 | 90 | Bgg | | 0 | 8 | Pr5/Fr3/Po2 | 3 | 3 | Pores biologiques | 5 |
| 5 | 90 | 92 | BCr | | 0 | | | | | | 0 |
| 59 | | | | | | | | | | | |

Le profil « contrôle » a pu être creusé jusqu'à une profondeur de 92cm, au-delà de laquelle la nappe apparaissait et une couche de graviers était atteinte (tab. 11). Le premier horizon est très dense en racines en raison de la couche de végétation gazonnante sous les ananas. Cinq horizons ont été identifiés pour le sol minéral. Des concrétions de manganèse ont été observées dans le 2^{ème} horizon. La profondeur utile est limitée par des graviers dans le dernier horizon, mais le facteur principal de limitation est la forte hydromorphie des horizons 3 et 4. La limite supérieure de l'horizon gg étant à 65cm ce sol est considéré comme gleyifié (G3), à la limite d'être considéré comme fortement gleyifié (G4).

5.1.2.2 Discussion

Les deux profils sont relativement similaires toutefois le profil du contrôle présente une hydromorphie plus forte. Cela est dû à sa position proche du ruisseau qui est en eaux lors de la saison des pluies. La densité du sol est également proche au vu des valeurs du pénétrömètre. Le 2^{ème} horizon est légèrement plus meuble en permaculture que dans le contrôle. La couche gazonnante du contrôle donne au premier horizon une riche teneur en matière organique ainsi qu'une bonne structure grâce aux racines fines. Les racines qui ont poussé entre le paillage et la surface du sol suggèrent que l'horizon Of et la surface du sol sous paillage sont riches nutritivement. Des racines sont encore observables jusqu'à 90cm dans le contrôle, contre 80cm en permaculture. Probablement que cela est dû aux palmiers à proximité qui ont de fortes racines. Plus de vers de terres ont été trouvés lors du creusement du profil sur le contrôle qu'en permaculture. Cela peut être dû au fait que la parcelle de contrôle n'a pas été labourée ni sarclée depuis plus d'un an, d'où la couverture herbeuse. Cet environnement pourrait être favorable aux vers de terre, en offrant des conditions proches de la permaculture.

5.2 Monitoring du sol à la FeMoDo

5.2.1 Tests à la bêche

5.2.1.1 Résultats

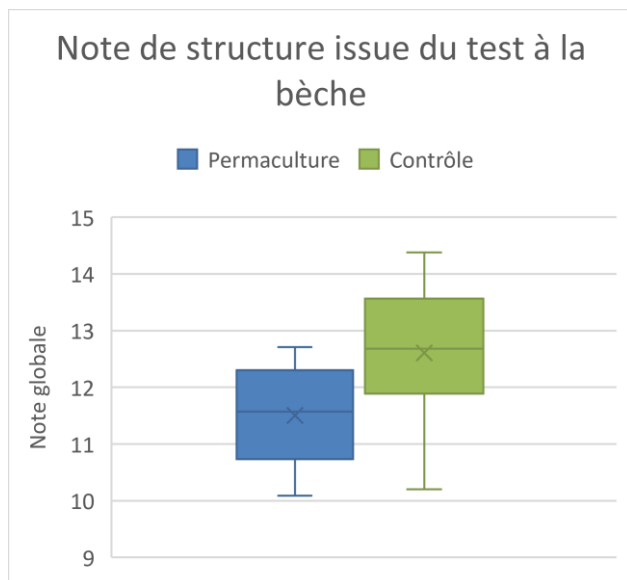


Figure 38 Boxplot note de structure issue du test à la bêche (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.054$)

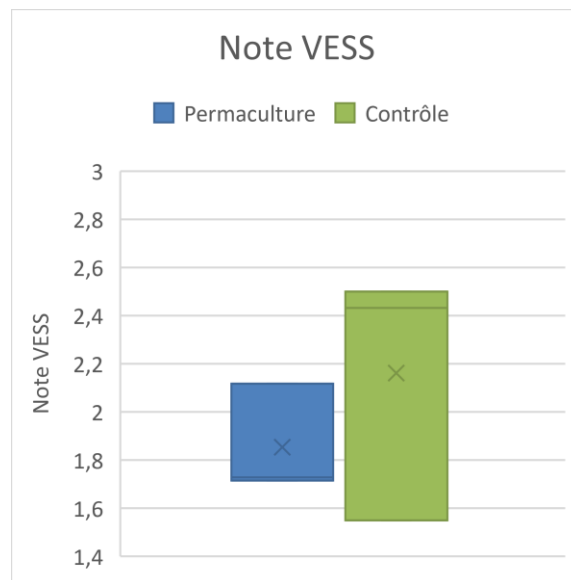


Figure 39 Boxplot note VESS (test t deux échantillons, $n_1=9$, $n_2=8$, $p=0.096$)



Figure 40 Fissure à la surface du sol sur la parcelle du point FHN8 (août 2021)

Aucune différence significative n'a pu être démontrée pour la note d'ensemble du test à la bêche (fig. 38). Toutefois il semble que la permaculture a une légèrement meilleure note moyenne (moyenne=11.5) que le contrôle (moyenne=12.6). À savoir que plus la valeur est basse, meilleure est la structure. Bien que ce facteur ne soit pas noté, plusieurs parcelles du contrôle ont présenté une croûte de surface. Cette croûte était particulièrement visible après une période sèche, laissant même apparaître des fissures dans certains cas (fig. 40).

Concernant la note VESS, il n'est également pas possible de mettre en évidence une différence significative (fig. 39). Toutefois le contrôle semble avoir une note sensiblement plus élevée que la permaculture. La note VESS moyenne pour la permaculture est de 1.94 tandis que celle du contrôle est de 2.28. Les parcelles en permaculture semblent être plus homogènes dans leur note de structure VESS car la variance est plus petite que pour le contrôle.

Visual scoring (VS) de la structure



Figure 41 Visual scoring (VS) de la structure

Selon la classification de Shepherd (2000), tous les VS semble correspondre à la catégorie 2, soit une condition moyenne (fig. 41). Les point FHN7 serait classable dans la catégorie 0, soit une mauvaise condition.

5.2.1.2 Discussion

Selon Ball et al. (2007), des notes VESS entre 1 et 3 sont acceptables, et les notes 4 et 5 demandent un changement de pratiques. Dans ce cas même la note la moins bonne, soit celle du contrôle, présente une moyenne de 2.28. Il est possible de dire qu'à ce jour les sols de agriculteurs ont encore une bonne structure. L'enjeu n'est donc pas de restaurer les sols des agriculteurs mais plutôt de de maintenir cette structure satisfaisante. Le visual scoring (VS) semble indiquer que tous les relevés se trouvent dans catégorie 1, ce qui signifie une condition de structure du sol moyenne. Il n'y a pas de grandes différences visuelles entre les points en permaculture et les points de contrôle.

La croûte de surface qui est apparue sur certaines parcelles n'est pas réellement prise en compte dans le calcul de la note, où alors ce facteur est fortement pondéré puisqu'il se limite à une fine épaisseur à la surface. Or c'est un paramètre important concernant l'infiltration de l'eau et l'érosion. Ces deux points ont été évoqués par Jordán et al. (2010) et Pareja-Sánchez et al. (2017). Dans ce contexte les méthodes de la FeMoDo et notamment le paillage, permettraient de limiter cette étanchéification du sol et l'érosion hydrique. Dans ce cas, les techniques de permaculture seraient un moyen d'atténuer un problème existant sur les parcelles des villageois. Toutefois sur certaines parcelles, et notamment la FHN7 ainsi que la FHN9, les paysans laissent leurs champs en semi-jachère. C'est notamment le cas où des ananas ont été planté sans paillage et où les interlignes ne sont pas désherbées. Dans ce cas la pratique n'est pas optimal d'un point de vue des rendements des cultures, en revanche elle a des effets très positifs sur la structure du sol. Le développement des racines de cette couche herbeuse améliore la structure du sol et permet également de maintenir l'humidité à la surface. De plus l'infiltration est améliorée grâce au même mécanisme de fractionnement des gouttes de pluie et l'érosion est aussi réduite. C'est un cas de pratique du système conventionnel qui n'est pas optimale d'un point de vue agronomique mais excellente d'un point de vue pédologique.

Le test à la bêche est un test pertinent et qui demande peu de matériel. De manière générale la méthode du test à la bêche et de la note VESS sont de bons indicateurs car ils permettent de tenir compte d'une série de paramètres qui ne sont généralement pas mesurés. Dans le contexte du Togo et des pratiques conventionnelles n'utilisant pas de machines, les différences sont moins marquées que si des exploitations européennes avec charrue étaient comparées avec des exploitations en semi-direct ou permaculture. Même si les différences entre les systèmes ne sont pas marquées, cela veut aussi dire que les sols de Donomadé sont en bon état structural. Afin de rendre la note du test à la bêche plus réaliste, trouver un moyen de prendre en compte la croûte de surface. Cela pourrait par exemple être fait avec la mesure du taux d'infiltration, en mesurant le temps qu'il faut à un volume donné d'eau pour être absorbé par le sol. Le visual scoring (VS) est donne un résultat visuel intéressant, mais difficile à valoriser statistiquement. De plus c'est une méthode qui demande beaucoup de temps et de patience. Ainsi c'est quelque chose d'intéressant à faire s'il y a assez de temps à disposition ainsi que la volonté de représenter les résultats de manière visuelle. Avec un plus grand échantillon il serait éventuellement possible de faire des statistiques descriptives avec les classe obtenues (2, 1 ou 0).

5.2.2 Vers de terre et arthropodes

5.2.2.1 Résultats

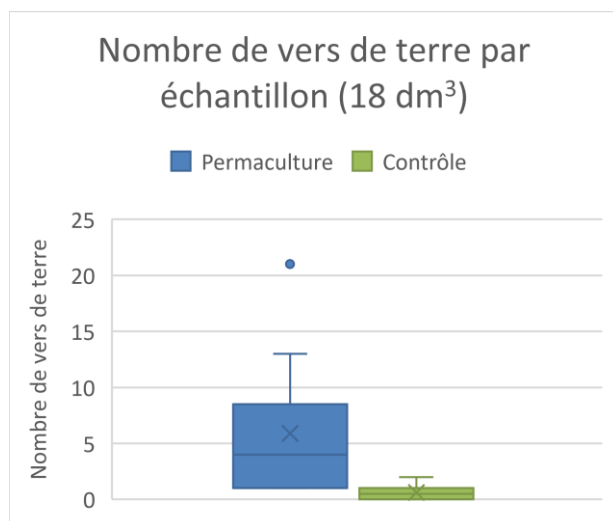


Figure 42 Boxplot nombre de vers de terre par échantillon (18dm³) (test t deux échantillons, n₁=9, n₂=8, p=0.045)

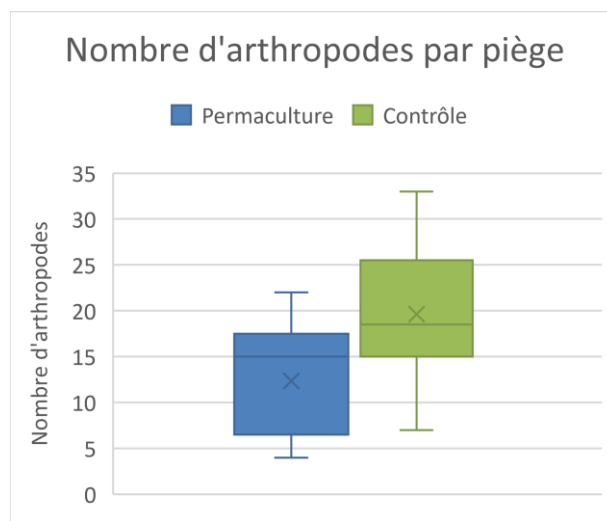


Figure 43 Boxplot nombre d'arthropodes par piège (test t deux échantillons, n₁=9, n₂=8, p=0.054)

Le nombre de vers de terre diffère significativement entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 42). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.045$ avec le nombre de vers de terre plus élevé sur les parcelles permaculture. La moyenne du nombre de vers de terre était de 5.89 pour les points permaculture et 0.63 pour les points contrôle.

Le nombre d'arthropodes ne diffère pas significativement entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 43). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.054$, avec une tendance à un nombre supérieur d'arthropodes pour le contrôle. La moyenne du nombre d'arthropodes était de 12.34 pour les points permaculture et 19.63 pour les points contrôle.

5.2.2.2 Discussion

Le nombre de vers de terre semble être supérieur sur les parcelles en permaculture par rapport au contrôle, ce qui confirme les observations de Turbé et al. (2010) en lien avec le paillage. L'augmentation de l'humidité et la réduction de la température du sol grâce au paillage sont des éléments qui peuvent favoriser l'activité des vers de terre. Bien que le boxplot montre une différence éloquent, la valeur p n'est que de 0.045. Cela s'explique par le faible nombre de données qui engendre des degrés de liberté élevés. Ces résultats sont donc à prendre avec précaution et demanderaient des investigations à plus large échelle pour être confirmés. Il est également ressorti que le moment de prélèvement doit être soigneusement choisi. En effet, lors du prélèvement fait en août, les vers de terre étaient de très petite taille. Cela peut s'expliquer par le cycle de reproduction des vers de terre, où les cocons restent en dormance jusqu'à ce que des conditions favorables apparaissent. Cette année, les précipitations de la première saison des pluies ont été inférieures à la moyenne. Les œufs de vers de terre ne se sont probablement pas développés aussi rapidement et ont bénéficié des pluies de septembre pour sortir de leur dormance. Cela s'est vérifié lors des relevés des sachets de thé au mois de septembre, où les vers de terre semblaient plus nombreux et de plus grande taille. Cela met en évidence l'importance de bien choisir la date de relevé et de s'adapter aux précipitations. De plus, il a été observé que les vers de terre sortent en masse après un épisode de pluies fortes, ce qui souligne également l'importance de faire la collecte juste après une pluie pour trouver les vers en surface. Avec suffisamment de vers de terre, la masse d'échantillonnage pourrait être réduite à un carré de 20x20x20cm, soit 8 dm³ au lieu de 18 dm³ comme c'était le cas dans cette étude.

Le nombre plus élevé d'arthropodes sur le contrôle qu'en permaculture va à l'encontre des hypothèses, notamment avec les cultures associées qui devraient favoriser la biodiversité selon Zhong et Zeng (2019). Dans ce cas la différence est très probablement due à la méthode de collecte des arthropodes. Les verres ont été enterrés dans le sol au niveau de la surface. Dans le système en permaculture, le verre a été recouvert de paillage tandis que sur le contrôle il était à l'air libre. Plus d'arthropodes ont ainsi pu tomber dans le piège « ouvert », ce qui fausse probablement ces résultats. De plus le seul nombre d'arthropodes collectés n'est pas un indicateur pertinent. Il serait plus intéressant de s'intéresser à la diversité des individus collectés qu'à leur nombre absolu. Toutefois cela demande des études très détaillées avec des connaissances poussées en biologie, Ainsi le nombre peut rester un bon compromis dans les systèmes de monitoring proposant des méthodes accessibles.

5.2.3 Tea Bag Index (TBI)

5.2.3.1 Résultats

Au cours de l'expérience trois points de contrôle ont été perdus car les paysans ont labouré leurs champs. Au total 46 sachets de thé vert et 43 sachets de thé rooibos étaient valides, soit 89 sachets sur les 170 mis en terre (tab. 12). Cela revient à un taux de perte de 47.6%.

Tableau 12 Comptabilisation de l'état des sachets de thé après incubation de 39 jours

| | Permaculture | Contrôle | Total sachets valides |
|--|--------------|----------|-----------------------|
| Sachets de thé vert valides | 29 | 17 | 46 |
| Sachets de thé vert endommagés | 12 | 7 | |
| Sachets de thé vert détruits/perdus | 4 | 16 | |
| Sachets de thé rooibos valides | 30 | 13 | 43 |
| Sachets de thé rooibos endommagés | 14 | 10 | |
| Sachets de thé rooibos détruits/perdus | 1 | 17 | |
| Total sachets valides | 59 | 30 | 89 |

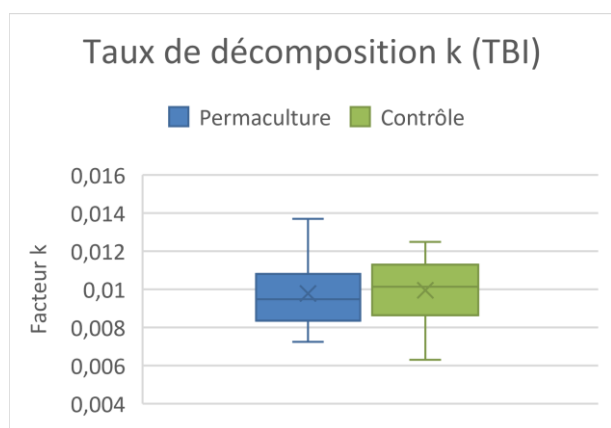


Figure 44 Boxplot taux de décomposition k issu du TBI (test t deux échantillons, $n_1=29$, $n_2=17$, $p=0.764$)

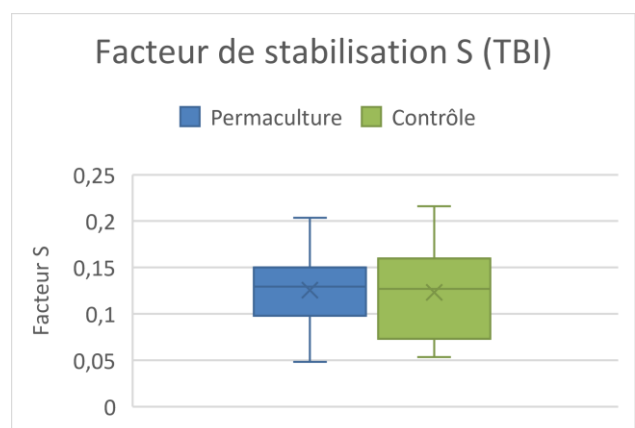


Figure 45 Boxplot facteur de stabilisation S issu du TBI (test t deux échantillons, $n_1=29$, $n_2=17$, $p=0.792$)

Le taux de décomposition k ne diffère pas significativement entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 44). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.764$. Le facteur de stabilisation S ne diffère pas significativement entre les parcelles permaculture et les parcelles contrôle (fig. 45). L'analyse statistique avec un test-t a démontré une valeur $p=0.792$.

5.2.3.2 Discussion

Le facteur de stabilisation S et le taux de décomposition k ne diffèrent pas significativement entre les deux traitements, ce qui semble indiquer que l'activité microbiologique n'est pas plus élevée en permaculture. Ce résultat ne permet pas de confirmer les résultats de Brooker et al. (2015) qui présentent une activité microbienne supérieure dans les systèmes avec cultures associées, ni les résultats de Chen et al. (2020) qui ont démontré une masse microbienne plus élevée avec le non-labour. Ces résultats non-significatifs sont toutefois à relativiser avec la méthode utilisée. Dans un premier temps le temps d'incubation a été réduit par rapport au protocole original, en raison des dégâts dus aux termites. Ensuite trois points de contrôle ont été perdus en raison du labour des parcelles. Le choix économique et pratique de ne pas protéger les sachets avec du tissu métallique a eu un impact direct sur le nombre de sachets utilisables dans l'évaluation.

La méthode du Tea Bag Index semble prometteuse au premier abord. Mais différentes difficultés ne la rendent pas aussi accessible que ce qui est vanté :

- Les sachets de thé sont difficiles à trouver, même en Europe
- Dans les environnements riches en termites, une protection physique serait nécessaire pour ne pas perdre trop de sachets à l'évaluation mais cette protection coûte cher et n'est pas facilement disponible. Dans le contexte des pays en développement cette option ne semble pas réaliste.
- Afin de déterminer soi-même le facteur S et le taux de décomposition k, il faut résoudre des équations relativement complexes à partir des formules données dans le document de Keuskamp et al. (2013)

Pour ces différentes raisons, le TBI n'est pas une méthode de premier choix dans le set du monitoring. Si dans tous les cas il faut apporter du matériel depuis l'Europe, peut-être que la méthode bait-lamina serait plus précise et moins contraignante.

5.2.4 Température du sol

5.2.4.1 Résultats

Les effect plots sont interprétés en fonction de la valeur moyenne de chaque traitement sur toute la période de mesure ainsi que de l'intervalle dans laquelle se situent les 95% des données (moustaches ou whiskers). Deux traitements sont considérés comme significativement différents si leurs moustaches ne se chevauchent pas, soit lorsque la valeur minimum d'un intervalle est supérieure à la valeur maximum d'un autre intervalle.

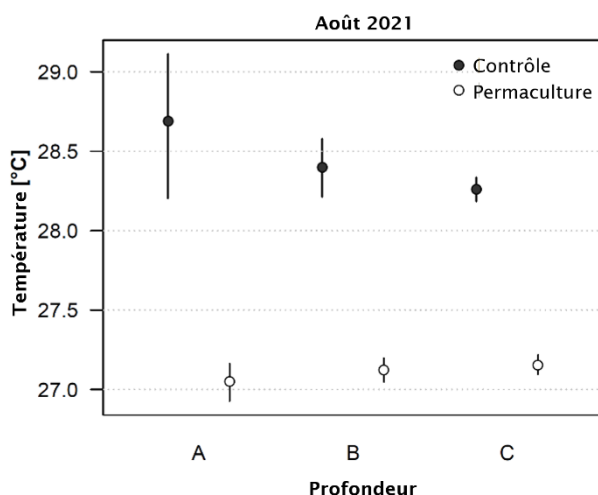


Figure 46 Effect plot température du sol août 2021 (points = moyennes du modèle, intervalle de 95%, A=2cm, B=15cm, C=35cm)

Pour chaque profondeur (A, B et C), la température de la parcelle en permaculture est significativement inférieure à celle du contrôle (fig. 46). De manière générale, la température de la parcelle en permaculture est significativement inférieure à celle du contrôle. Au sein des traitements (permaculture, contrôle), il n'y a de différence significative entre les profondeurs. Toutefois pour le contrôle la température a tendance à diminuer avec la profondeur. Pour la permaculture cela semble être l'inverse, avec une température légèrement supérieure à 15cm (B) et 35cm (C) par rapport à 2cm (A).

Tableau 13 Valeur de l'effect plot août 2021

| Trait. | Prof. | Moyenne | Min | Max |
|----------|-------|---------|-------|-------|
| Contrôle | A | 28.69 | 28.20 | 29.11 |
| Perma | A | 27.05 | 26.93 | 27.16 |
| Contrôle | B | 28.40 | 28.21 | 28.58 |
| Perma | B | 27.12 | 27.05 | 27.20 |
| Contrôle | C | 28.26 | 28.18 | 28.33 |
| Perma | C | 27.15 | 27.10 | 27.22 |

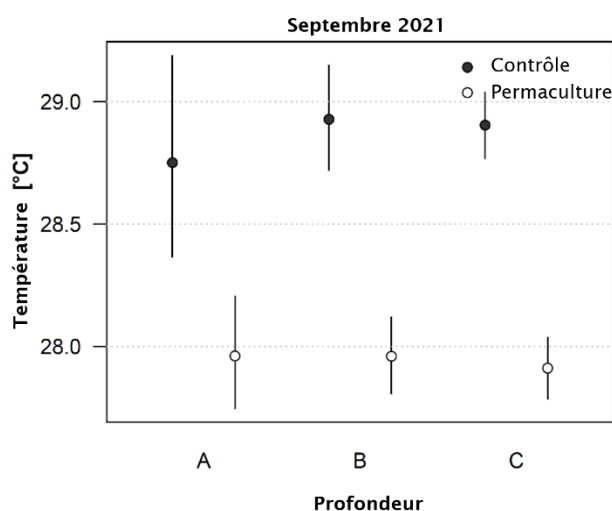


Figure 47 Effect plot température du sol septembre 2021 (points = moyenne du modèle, intervalle de 95%, A=2cm, B=15cm, C=35cm)

Pour chaque profondeur (A, B et C) la température de la parcelle en permaculture est significativement inférieure à celle du contrôle (fig. 47). De manière générale, la température de la parcelle en permaculture est significativement inférieure à celle du contrôle. Au sein des traitements (permaculture, contrôle), il n'y a de différence significative entre les profondeurs. À l'inverse du mois d'août, la température a tendance à augmenter avec la profondeur pour le contrôle. Tandis que pour la permaculture la température semble légèrement baisser plus en profondeur.

Tableau 14 Valeur de l'effet septembre 2021

| Trait. | Prof. | Moyenne | Min | Max |
|----------|-------|---------|-------|-------|
| Contrôle | A | 28.75 | 28.37 | 29.19 |
| Perma | A | 27.96 | 27.75 | 28.20 |
| Contrôle | B | 28.93 | 28.72 | 29.15 |
| Perma | B | 27.96 | 27.81 | 28.12 |
| Contrôle | C | 28.91 | 28.77 | 29.04 |
| Perma | C | 27.91 | 27.79 | 28.04 |

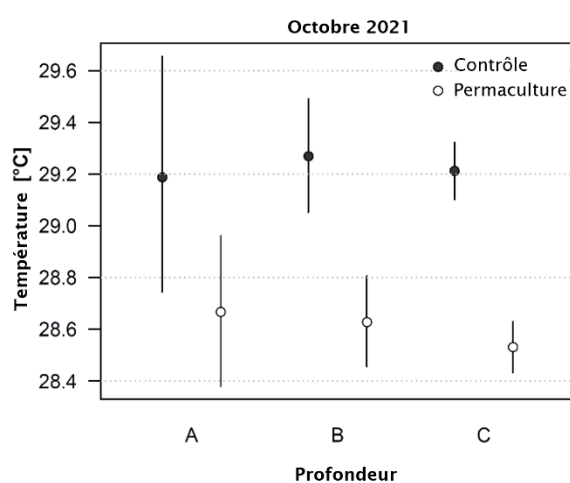


Figure 48 Effect plot température du sol octobre 2021 (points = moyenne du modèle, intervalle de 95%, A=2cm, B=15 cm, C=35cm)

Pour la profondeur A, la température de la parcelle en permaculture n'est pas significativement différente du contrôle (fig. 48). Toutefois une tendance est observée, avec une température inférieure en permaculture. Pour les profondeurs B et C, la température de la parcelle en permaculture est significativement inférieure au contrôle. Il n'y a pas de différence significative au sein des traitements. Comme pour le mois de septembre, en permaculture la température a tendance à diminuer avec la profondeur.

Tableau 15 Valeur de l'effet plot octobre 2021

| Trait. | Prof. | Moyenne | Min | Max |
|----------|-------|---------|-------|-------|
| Contrôle | A | 29.19 | 28.74 | 29.66 |
| Perma | A | 28.67 | 28.38 | 28.96 |
| Contrôle | B | 29.27 | 29.05 | 29.49 |
| Perma | B | 28.63 | 28.46 | 28.81 |
| Contrôle | C | 29.21 | 29.10 | 29.32 |
| Perma | C | 28.53 | 28.43 | 28.63 |

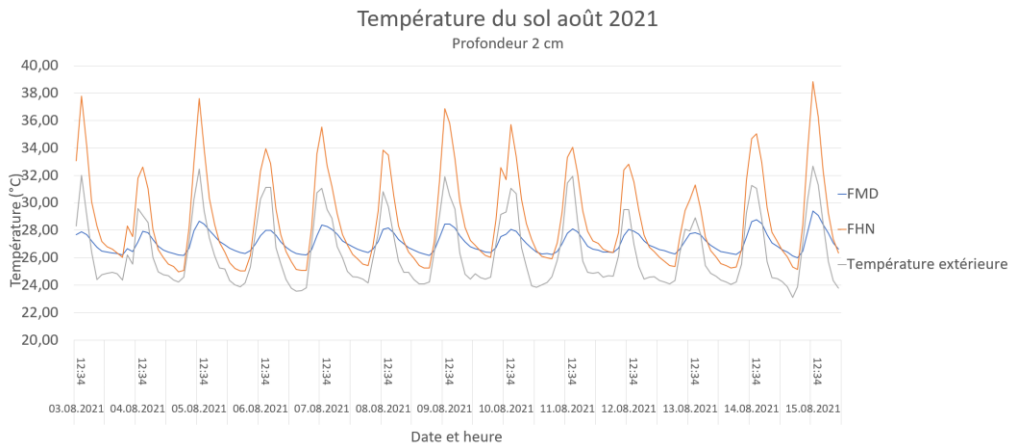


Figure 49 Variation des températures du sol à 2cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08)

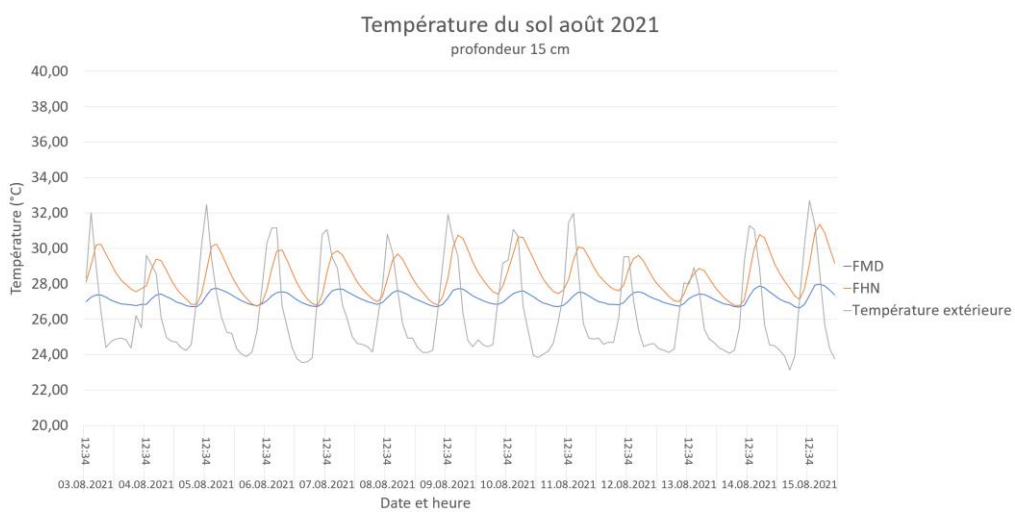


Figure 50 Variation des températures du sol à 15cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08)

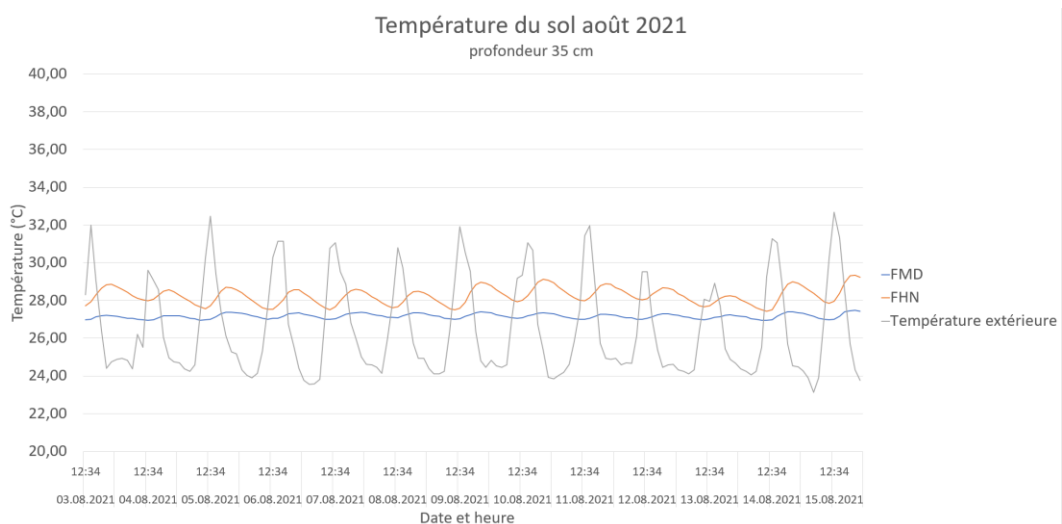


Figure 51 Variation des températures du sol à 35cm durant le période de mesure du mois d'août 2021 (03.08 au 15.08)

Les diagrammes de variations de température sur la période (ici du 3 au 15 août 2021) mettent en évidence les cycles journaliers, avec des pics dans la température du sol vers 13:00 et les valeurs les plus basses vers 10:30 (fig. 49,50 et 51). Pour le contrôle, des valeurs proches de 40°C ont été mesurées mi-août à 2cm sous la surface. Les pics de température du sol semble être décalé sur la droite en comparaison à ceux de la température de l'air. De manière générale il est possible de voir que dans les deux systèmes, le sol se réchauffe plus rapidement qu'il ne se refroidit.

L'amplitude des variations est plus grande à 2cm sous la surface qu'à 35 cm dans les deux systèmes. À 2cm sous la surface sur le contrôle, l'amplitude des variations de température du sol semble même être plus importante que les variations de la température de l'air. Pour le contrôle, l'amplitude des variations change fortement entre les trois profondeurs, tandis que les variations semblent moindres en permaculture. À 35cm de profondeur, les variations journalières semblent même être presque entièrement lissées pour la permaculture.

5.2.4.2 Discussion

De manière générale les variations de température sont moins grandes en permaculture que sur le contrôle, et la moyenne des températures sur la période est inférieure en permaculture. Cela confirme ce que Carrer et al. (2018) ont mis en avant dans leur étude sur le paillage. Concernant la température du sol, il est possible de dire que le paillage est le facteur qui a le plus d'impact direct en comparaison aux autres techniques de la permaculture.

Les tendances d'évolution de la température du sol en fonction de la profondeur semblent être inversée entre le mois d'août et les mois de septembre/octobre. Tandis qu'en août la température sur le contrôle diminue avec la profondeur, sur la permaculture la température est presque constante voir augmente légèrement à 35cm. Pour les mois de septembre et octobre le processus est inversé. Toutes les moyennes des traitements semblent augmenter sur la période, ce qui est étonnant en considérant les saisons des pluies. Le mois d'août correspond à la saison sèche, mais des pluies ont commencé mi-septembre et ont poursuivi jusqu'en octobre. Il était attendu que les températures du sol soient inférieures durant ces mois pluvieux mais ce n'est pas le cas.

En ce qui concerne la technique de mesure, les loggers HOB0 sont fortement recommandables. Ils sont robustes, résistant à l'eau, facile d'utilisation, autonome et enregistre des données en continu. Il est possible de les installer une fois et de les laisser plusieurs mois dans le sol. Ils sont particulièrement arrangeant si la personne en charge de l'expérience ne peut pas toujours être présente sur le site. De plus avec la connexion Bluetooth, les données peuvent être récupérées en cours d'expériences sans avoir à déterrer les boîtiers.

5.2.5 Humidité du sol

5.2.5.1 Résultats

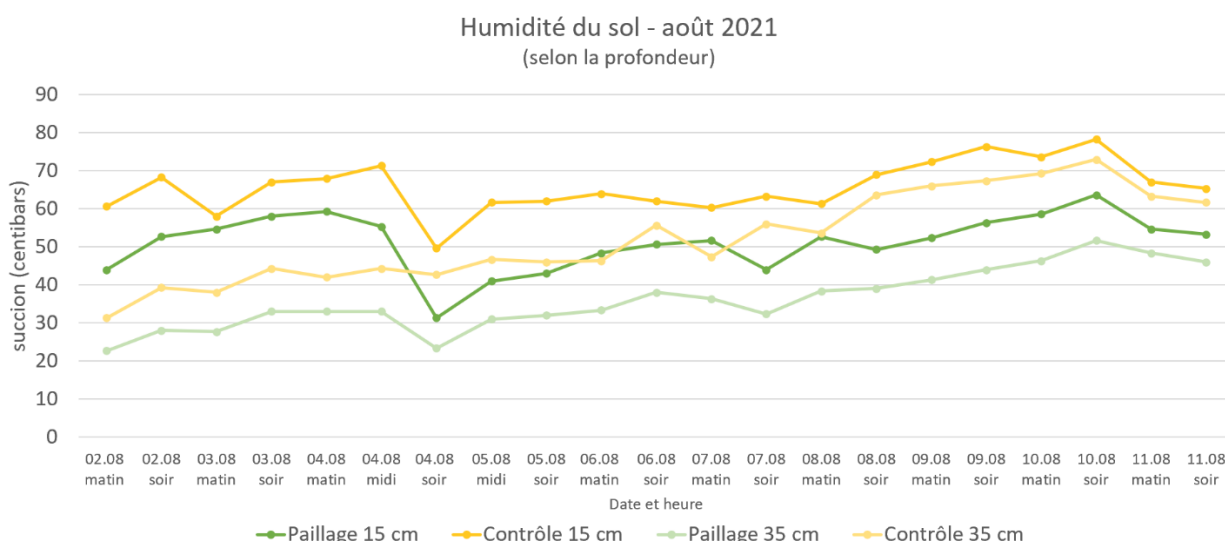


Figure 52 Humidité du sol en fonction de la profondeur (août 2021)

Pour le mois d'août, à profondeur égale le contrôle est toujours plus sec que le paillage (fig. 52). Pour le paillage, les courbes de 15cm et 35cm suivent les mêmes tendances. Pour le contrôle c'est en revanche moins le cas.

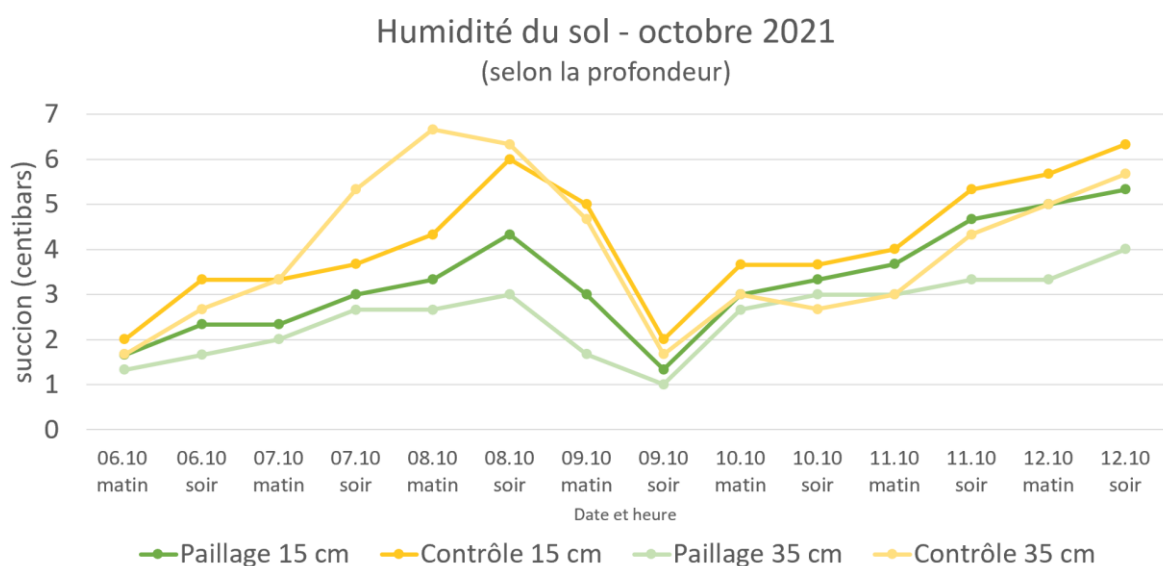


Figure 53 Humidité du sol en fonction de la profondeur (octobre 2021)

Contrairement au mois d'août, pour le mois d'octobre les courbes sont plus proches les unes des autres (fig. 53). Dans l'ensemble la permaculture semble tout de même toujours plus humide que le contrôle.

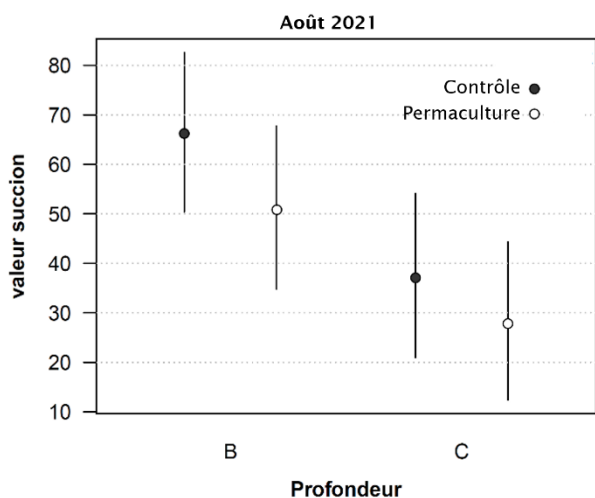


Figure 54 Effect plot humidité du sol août 2021 (points = moyennes du modèle, intervalle de 95%, B=15cm, C=35cm)

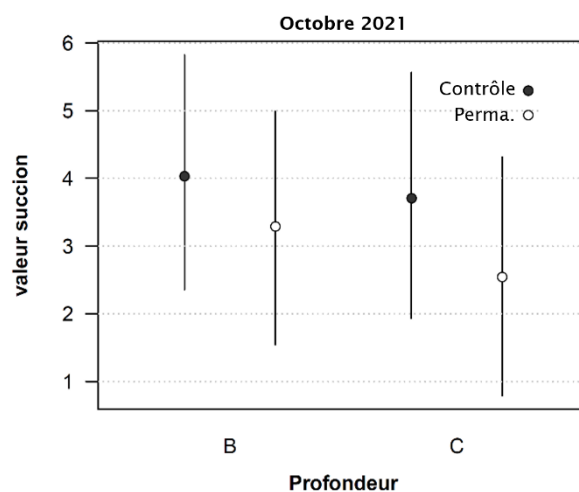


Figure 55 Effect plot humidité du sol août 2021 (points = moyennes du modèle, intervalle de 95%, A=15cm, B=35cm)

Malgré les tendances observées sur les graphiques, les analyses statistiques n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les traitements, ni au mois d'août (fig. 54) ni au mois de septembre (fig. 55). La seule différence significative est entre le contrôle à 15cm et la permaculture à 35cm, ce qui n'apporte pas d'information pertinente dans ce cas.

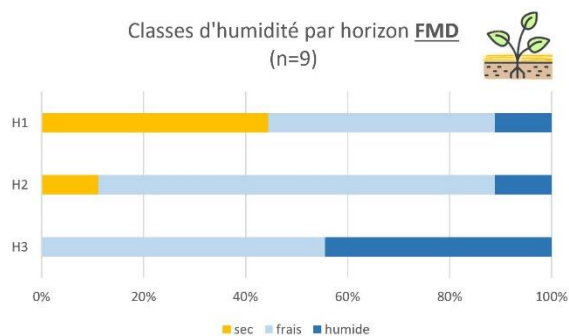


Figure 56 Classes d'humidité par horizon pour la permaculture lors du test à la bêche (août 2021)

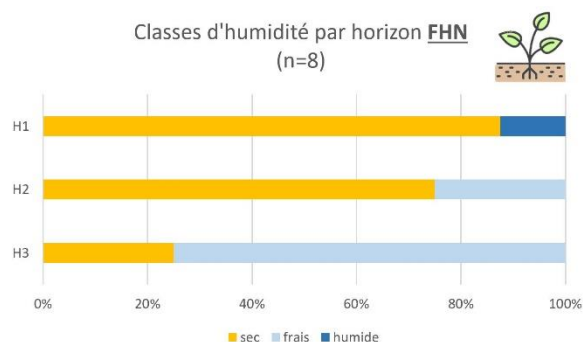


Figure 57 Classes d'humidité par horizon pour le contrôle lors du test à la bêche (août 2021)

Lors du test à la bêche, les horizons ont aussi été évalués en fonction de leur teneur en humidité soit sec, frais ou humide (fig. 56 et 57). D'un point de vue uniquement visuel, il est possible de voir que le contrôle est plus sec que la permaculture, et ce pour tous les horizons. Toutefois la différence est particulièrement marquée pour les horizons 1 et 2. En faisant une analyse statistique (tableau de contingence et test du khi-carré), il est possible de démontrer une différence significative. Pour le tableau de contingence les catégories « frais » et « humide » ont été regroupées en raison du faible nombre de données. Ainsi avec le test statistique seul l'horizon 2 est significativement plus sec dans le contrôle que dans la permaculture ($p=0.007$). Les horizons 1 ($p=0.064$) et 3 ($p=0.11$) ne sont pas significativement différents entre les traitements.

5.2.5.2 Discussion

L'augmentation de l'humidité le soir du 04.08 (fig. 52) est due aux pluies qui sont tombées dans la nuit du 03.08 au 04.08 ainsi que le matin du 04.08. Il est intéressant de noter que toutes les profondeurs marquent une augmentation de l'humidité, sauf la profondeur de 35cm sur le contrôle. Cela pourrait s'expliquer par le fait que sur le contrôle, les gouttelettes arrivent directement sur le sol sans être freinées. Dans le cas des pluies tropicales, une grande quantité d'eau tombe en peu de temps et si les gouttelettes ne sont pas fractionnées cela entraîne du ruissellement de surface qui ne permet pas une bonne infiltration de l'eau. Ce qui pourrait expliquer qu'ici l'horizon du contrôle à 35cm n'ait pas bénéficié de l'eau de pluie. Le paillage au contraire semble améliorer l'infiltration de l'eau puisque dans les deux horizons l'humidité augmente. Cela corrobore les constats fait par Jordán et al. (2010) et Karuku et al. (2014).

Les tensiomètres sont des outils analogues relativement simples d'utilisation. Ils sont adaptés à de nombreuses situations. Toutefois ils sont contraignants pour le relevé des valeurs, qui doit se faire manuellement au contraire des loggers qui enregistrent à intervalles définies. Ainsi si les tensiomètres sont utilisés, il faut soit que la personne en charge de l'étude puisse être présente sur place, soit qu'une personne formée et informée puisse exécuter les relevés. Les tensiomètres permettent moins de libertés que les loggers dans l'organisation du travail. Ainsi des équivalents de loggers pour l'humidité du sol pourraient être une option intéressante.

Les classes d'humidité sont une méthode intéressante afin de classer l'humidité du sol sans faire de mesures. Ces classes permettent de représenter visuellement des différences entre les traitements et/ou les horizons. Une analyse statistique doit toutefois être réalisée afin de déterminer de manière sûre des éventuelles différences significatives. Pour cette méthode il est important que tous les tests à la bêche et la classification de l'humidité soient faits sur une période de 2 ou 3 jours, sans changement important dans la météo.

5.3 Agriculteurs/-trices intégrés au monitoring

5.3.1 Résultats

Les quatre personnes interrogées ont une typologie relativement similaire en termes de surface, sauf pour M. Edoh qui exploite le triple de surface en comparaison aux autres. Cependant les droits sur les terrains varient grandement entre les quatre personnes. Trois des personnes intégrées au monitoring ont un revenu externe à l'agriculture.

Tableau 16 Typologie des quatre agriculteurs/-trices intégré-e-s au monitoring

| EDOH Koffi | DATEH Agbélénoù | ALOBANDÉ Mignanou | TOMÉTY Amélévi |
|-----------------------------------|---|--|------------------------------------|
| ♂ | ♂ | ♀ | ♀ |
| 32 ans | 35 ans | 48 ans | 40 ans |
| FHN1, FHN2 | FHN3, FHN7, FHN8 | FMD9 | FHN4, FHN5, FHN9 |
| 2 parcelles 60 carrés (2.4 ha) | 2 parcelles 20 carrés (0.8 ha) | 3 parcelles 23 carrés (0.92 ha) | 2 parcelles 18 carrés (0.72 ha) |
| 100% location | 100% propriété | 52% propriété 48% location/prêt | 78% location 22% propriété |
| Revenu externe (enseignant) | Revenu externe (employé par la FeMoDo) | Revenu externe (employée dans le projet carbone) | Pas de revenu externe |

Pratiques agricoles

Sur quatre personnes interrogées, Mme. Alobandé pratique le paillage sur certains de ses champs tandis que les autres ne l'ont pas implémenté chez eux. Les deux femmes n'ont pas obtenu de diplôme scolaire, contrairement aux deux hommes. Toutefois ce sont elles qui pratiquent ce qui ressemble le plus à une rotation des cultures. Mme Tométy a un schéma de rotation qui est maïs-niébé-manioc-pois d'angole. Mme Alobandé n'a pas de schéma de rotation défini mais sait que les arachides ou le soja permettent d'apporter des nutriments au sol puisqu'elle dit même que « le soja est l'engrais pour le sol » et prévoit d'en semer sur sa parcelle après les ananas. Les facteurs pris en compte pour savoir quelles cultures semer sont la quantité de pluie, les semences à disposition, la demande sur le marché et seulement dans un cas la culture précédente est donnée comme facteur influençant cette décision.

En termes d'intrant, seul M. Edoh affirme utiliser des engrais minéraux et des insecticides ainsi qu'herbicides de synthèse. Pour ce qui est des engrais, il utilise du NPK et de l'urée qu'il épand sur le maïs. En ce qui concerne les traitements, en 2021 il a effectué deux traitements herbicides et trois traitement insecticides sur le niébé. Un traitement herbicide est appliqué sur le niébé après la récolte, avec de ne pas avoir à arracher les plants. M. Dateh et Mme Alobandé ont mentionné l'utilisation de traitements phytosanitaires naturels. Mme Alobandé réalise une mixture à base de feuilles de neem et de papayer qu'elle utilise sur les haricots et le maïs. M. Dateh applique de la poudre de piment dans le poquet avec les graines de maïs, de sorte à les protéger des ravageurs durant la phase initiale. Seule Mme Alobandé utilise des engrais de ferme. Elle épand un peu de fumier de petits ruminants qu'elle balaie dans le village. Mais elle affirme qu'aujourd'hui il est plus difficile d'obtenir une quantité suffisante car les gens se sont rendu compte des effets positifs du fumier et tous veulent garder celui de leurs animaux pour leurs champs. Elle-même ne possédant pas d'animaux et peut donc difficilement en trouver. Mme. Alobandé est également la seule à parler de l'effet positif de la terre des termitières sur les cultures. Selon elle là où il y avait une termitière « le maïs court », sous-entendu il pousse rapidement.

Tous affirment laisser les résidus de récolte et de sarclage sur le champ, sans les brûler. De plus Mme. Alobandé, M. Edoh et M. Dateh laissent les branches des palmiers sur le champ après les tailles. Au niveau du travail du sol, la 1^{ère} saison comporte généralement un labour et trois sarclages, tandis que la 2^{ème} comporte un labour et deux sarclages. Pour ce qui est de la qualité du sol, les agriculteurs/-trices mentionnent les rendements, l'humidité ainsi que la facilité à travailler le sol.

Difficultés rencontrées

Tous les quatre mentionnent la variabilité grandissante des pluies comme une difficulté. Ils ont observé une diminution de la quantité des pluies durant la 1^{ère} saison, ainsi que des saisons moins prévisibles qu'auparavant. Cela rend les travaux aux champs plus délicats car s'ils sèment lors des 1^{ères} pluies, ils ne sont pas sûr de la suite et leurs cultures pourraient dépérir par manque d'eau. Le risque est plus important qu'auparavant. Mme. Alobandé mentionne également une plus grande variabilité dans la 2^{ème} saison des pluies, qui là encore rend difficile le travail de planification des semis. Le village ne semble pas être sujet à des événements extrêmes en termes de ravageurs, sauf pour 2020 où les criquets ont détruit une partie importante des maïs en attaquant les tiges.

Perception du paillage



Figure 58 Parcelle de maïs paillé à gauche et non paillé à droite, semés à la même date

Seule Mme. Alobandé pratique le paillage sur ses propres champs. Selon elle le paillage permet d'obtenir de meilleures récoltes car là où les parcelles sont paillées les cultures sont plus grandes (fig. 58) et les fruits sont plus gros. M. Dateh et M. Edoh perçoivent le paillage comme positif bien qu'ils ne l'appliquent pas chez eux. Ils mentionnent le fait que le paillage permet de garder l'humidité, de garder les « vitamines » et de donner de bons rendements. En revanche les quatre mentionnent la charge élevée en travail comme un facteur négatif du paillage. C'est principalement ce facteur qui freine M. Edoh, M. Dateh et Mme. Tométy à adopter le paillage. M. Edoh mentionne également la difficulté de se procurer suffisamment de paille. Pour M. Dateh le fait de s'organiser à plusieurs paysans afin de réaliser le paillage ensemble l'encouragerait à mettre en place le paillage sur son champ, tandis que M. Edoh mentionne plutôt un « paillage » avec des bâches plastiques et la mécanisation pour la fauche comme des solutions possibles.

Coûts comparés du paillage et du système conventionnel

À Donomadé, un carré correspond à une surface de 400m², soit 20x20m. Les chiffres présentés (tab. 17) sont une moyenne des chiffres issus des interviews avec les paysans. Pour le paillage les coûts que les agriculteurs/-trices ont communiqués sont ceux des prix pratiqués dans la région pour l'achat d'un carré de paille (prix de la fauche uniquement, sans le transport de la paille sur le champ cultivé). Sachant qu'il faut en moyenne 6 carrés de paille pour couvrir un 1 carré de terrain cultivé.

Tableau 17 Comparatif des coûts liés aux travaux du sol entre le système avec paillage et le système conventionnel pour un carré (400m²) sur une année (12 mois)

| Conventionnel | | Paillage | |
|-------------------------------|---------------------|--|----------------------|
| Travaux | Coûts FCFA/carré | Travaux | Coûts FCFA/carré |
| 1 ^{ère} saison | | Paillage de fond | |
| Labour | 1200 | Paillage de fond (fauche uniquement, sans transport et disposition de la paille) | 18'000 |
| Sarclage n°1 | 1000 | Renforcements | |
| Sarclage n°2 | 700 | Renforcement n°1 | 10'000 |
| Sarclage n°3 | 500 | | |
| 2 ^{ème} saison | | | |
| Labour | | | |
| Sarclage n°1 | 700 | | |
| Sarclage n°2 | 500 | | |
| TOTAL | | TOTAL | |
| Coûts FCFA/carré/année | <u>4'600</u> | Coûts FCFA/carré/année | <u>28'000</u> |

5.3.2 Discussion

Les agriculteurs participant au monitoring représentent plusieurs groupes de la typologie de Novotny et al. (sans date). M. Edoh serait de type, soit un locataire à large échelle, tout en ayant des caractéristiques du groupe 6 qui utilise des intrants. M. Dateh et Mme Alobandé sont du type 4, soit des propriétaires à moyenne échelle, pratiquant la polyculture et intensif en main d'œuvre. Mme. Alobandé correspond bien à cette description tandis que M. Dateh pratique plus la monoculture. Finalement Mme. Tométy semble être de type 3, soit une locataire à moyenne échelle qui dépend de la force de travail familiale. Bien que les agriculteurs intégrés au monitoring représentent diverses stratégies identifiées par Novotny et al. (sans date), ils ne correspondent jamais entièrement aux critères d'une seule catégorie. Un échantillon d'agriculteurs serait souhaitable pour atteindre une plus grande représentativité de la zone.

Les agriculteurs n'ont pas de schéma de rotation, et pour deux d'entre eux il y a une monoculture de maïs, éventuellement associé au niébé mais pas chaque année. Bien que cela ne soit pas optimal et ne permettent pas de bénéficier des avantages mentionnés par Alvey et al. (2001), toutes les parcelles comportent de arbres (palmiers et de bananiers) qui contribuent tout de même à la biodiversité. En ce sens le système conventionnel inclut déjà une part d'agroforesterie même si la diversité des espèces ligneuses n'est pas aussi grande que pour la permaculture.

Dans le cas de Donomadé l'enjeu principal est celui de l'adoption du paillage. C'est également sur cet aspect que la FeMoDo met l'accent, ainsi que la plantation d'arbres fruitiers et fertilisants. Pour les autres méthodes de la permaculture, l'agroforesterie est présente sur presque toutes les surfaces à Donomadé, bien que la diversité d'espèces soit moins grande que dans le système en permaculture. Les cultures associées sont pratiquées traditionnellement par certains agriculteurs et la rotation des cultures ne semble pas quelque chose de perçu comme nécessaire par les paysans. En effet avec des petites surfaces, les cultures associées apportent déjà des éléments positifs au niveau du contrôle des maladies et ravageurs.

Les paysans semblent freinés dans l'adoption du paillage par la charge de travail supplémentaire qu'il implique. Cela confirme les constats que Didarali et Gambiza (2019) ont fait au Zimbabwe dans le contexte de l'adoption de la permaculture. C'est également ce qu'a mis en évidence Karuku (2018) au Kenya, avec la dimension financière en plus.

Le calcul des coûts comparés (tab. 17) permet de montrer ce que voit un paysan avant de se décider à mettre en place le paillage chez lui. La charge de travail supplémentaire ainsi que le coût annuel 6 fois supérieur sont des facteurs décourageants. Toutefois pour être pertinente, l'analyse économique com-

parée devrait prendre en compte la différence de marge brute, c'est-à-dire intégrer le revenu supplémentaire que le paillage peut apporter. Malheureusement les données de rendements pour le maïs paillé n'est pas disponible ce qui n'a pas permis de comparaison avec le système conventionnel dans cette étude. Toutefois il serait primordial de compléter cette analyse économique en intégrant cette dimension supplémentaire que sont les gains potentiels de rendements. Il est encore intéressant de noter que Mme Albandé, qui a mis en place le paillage sur son champ dispose d'un revenu externe. Cela peut être un élément qui explique qu'il est pour elle possible d'acheter de la paille et ainsi de démarrer le paillage grâce à cet autre revenu, ce que ne pourrait pas faire les paysans du groupe 3 selon Novotny et al. (sans date) par exemple. Ce groupe avec un faible revenu ne pourrait probablement pas se permettre cet investissement. De plus le paillage est pour l'instant surtout adopté pour les ananas, qui sont une culture de rente et où la FeMoDo s'engage à acheter toute la production de fruits. Pour les paysans l'attrait financier est dans ce cas plus important que pour les cultures vivrières. Mais avec la mise en place de l'ananas, il faut compter que la première année ne permet pas de générer de revenu comme les plantes sont en développement. C'est donc un frein supplémentaire pour les ménages à faible revenu, qui ne peuvent pas se le permettre. Le système du maraîchage entre les lignes d'ananas tel qu'appliqué par certaines femmes du village est une bonne solution à ce manque à gagner durant la mise en place des plants d'ananas.

L'optimisation du paillage pourrait être un élément qui encouragerait les paysans à adopter cette technique. Introduire des outils tels que la faux ou une motofaucheuse permettrait de rationaliser le paillage et de le rendre plus attractif. La culture d'engrais verts qui pourrait être semé sur la parcelle puis fauchés et laissés sur place serait intéressant à investiguer. Toutefois comme le relève Karuku (2018) il existe cette compétition pour la biomasse entre le fourrage et la couverture du sol. Ainsi il serait peut-être plus intéressant d'intégrer des légumineuses en culture associées plutôt que d'introduire des engrais verts. De cette manière l'azote atmosphérique peut-être fixé dans le sol, des fèves peuvent être récoltées pour la consommation humaine et les résidus de récolte peuvent être laissés sur le champ pour apporter de la matière organique. Une autre piste intéressante serait de faire des essais de paillage avec les coquilles des noix des palmiers à huile. Les femmes du village produisent de l'huile rouge et vendent les amandes des noix, ainsi les fragments de coquilles s'accumulent dans les dépotoirs du village. Avec une forte teneur en lignine, un paillage à base de fragments de noix de palme durerait longtemps car il se décomposerait lentement. Peut-être qu'associé à une couche de fond de biomasse riche en azote permettrait de fournir des nutriments au sol tout en ayant un paillage efficace et disponible localement.

6 Discussion générale

6.1 Limitation de l'étude

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude pointent des tendances mais les échantillons observés sont faibles pour des analyses statistiques. Les 17 points de mesure (9 pour le système permaculture et 8 pour le contrôle) donnent un aperçu des effets des techniques de permaculture. Toutefois pour avoir une analyse statistique plus affirmée, il faudrait augmenter la taille de l'échantillon. Dans cette étude les contraintes de temps et de personnel ne permettaient pas d'en faire plus.

Une seconde limitation est celle de l'échelle temporelle. Certains paramètres du sol évoluent lentement, et des observations répétées à long terme sont nécessaires pour mettre en avant des effets significatifs.

6.2 Pertinence d'un monitoring du sol à la FeMoDo

En tant que ferme modèle et institution de recherche, la FeMoDo doit pouvoir démontrer les bénéfices de ses méthodes avec des mesures et des observations scientifiques reconnues. En ce sens, la mise en place d'un monitoring du sol est pertinente. Toutefois un tel monitoring nécessite un engagement à long terme, ce qui peut être un enjeu dans le contexte d'un projet de coopération au développement. De plus une personne devrait être spécialement formée et entraînée à conduire ce genre de mesure. Dans le contexte de ce travail, Émile le jeune agronome et M. Kpakote le gérant ont été initiés aux méthodes utilisées. Un manuel des méthodes a également été réalisé afin de faciliter la poursuite de ce monitoring. Finalement, pour être pleinement pertinent le monitoring devrait inclure les données de rendements des différentes cultures. Cela permettrait une comparaison chiffrée des gains de rendements obtenus avec les innovations comme le paillage. Dans les prochaines années, le suivi et les relevés méthodiques des rendements devraient être un objectif principal pour la FeMoDo. Une telle base de données bénéficierait non seulement aux diverses recherches scientifiques qui s'y déroulent mais également à la planification interne.

6.3 Promotion d'innovations agricoles : rôles et responsabilités

La promotion d'innovations à large échelle implique également des responsabilités, comme c'est le cas ici pour le projet de la FeMoDo. L'adoption du paillage à large échelle peut entraîner des conséquences importantes sur la balance des nutriments des différentes zones alentours. Comme le relève Karuku (2018), le paillage transfère la biomasse d'une prairie à une zone cultivée et prélève ainsi les nutriments d'une large surface pour les concentrer sur une parcelle. Dans l'optique que le plus grand nombre de paysans adoptent le paillage, une réflexion de fond devrait être menée pour évaluer les risques liés à la fauche de la biomasse ainsi que l'épuisement nutritif, à terme, de certaines prairies.

7 Conclusion et recommandations

Les pratiques agricoles conventionnelles de la zone de Donomadé présentent certaines similitudes avec les principes de la permaculture. Beaucoup d'arbres sont présents sur les champs, tels que les manguiers, les palmiers, les bananiers ou les baobabs. Les paysans disposent généralement de petites parcelles, sur lesquelles l'agriculture associée est commune. Toutefois le travail minimal et la couverture ne sont encore pas des pratiques courantes. Avec deux labours et cinq sarclages en moyennes par année, la couche superficielle du sol est passablement perturbée. En revanche la mécanisation n'étant pas présente, tous les travaux se font avec des outils légers tels que la houe et la machette. Cela permet de ne pas avoir de problème de compaction ou de tassement du sol. Certains paysans laissent toutefois des parcelles en semi-jachère, soit avec des cultures mais sans faire de sarclage ou alors jachère sans cultures pendant la 2^{ème} saison. Bien que la semi-jachère ne soit pas optimale d'un point de vue agronomique, elle a un effet positif sur la structure du sol. Les racines de la couverture herbeuse permettent d'ameublir le sol et d'enrichir le premier horizon en matière organique. Les sols de la région de Donomadé étant des lxisols, ceux-ci présentent un horizon d'accumulation des argiles à environ 30 cm de profondeur. La partie superficielle du sol est quant à elle sensible à l'érosion car elle est plus légère, notamment raison du lessivage des argiles. En termes climatiques, les paysans mentionnent les difficultés croissantes liées à l'irrégularité des saisons de pluies. Ainsi de toutes les techniques de la permaculture, celle du paillage est particulièrement intéressante pour les paysans de Donomadé, notamment pour la résilience au changement climatique et le maintien de la fertilité des sols grâce à la lutte contre l'érosion.

Sur les différents paramètres étudiés, trois sont significativement différents entre la permaculture et le contrôle. La teneur en matière organique est plus élevée en permaculture, tout comme le nombre de vers de terre. La température du sol est quant à elle inférieure en permaculture. Au niveau de la structure et de l'humidité du sol, des tendances ont pu être mises en évidence. La structure du sol semble légèrement meilleure en permaculture, et l'humidité du sol supérieure. Aucune différence de pH et d'activité microbiologique n'ont pu être démontrées.

Les méthodes du test à la bêche, de l'évaluation VESS et VS sont recommandables car elles permettent d'évaluer un grand nombre de paramètres qualitativement et avec peu de matériel. Leurs résultats sont pertinents à la fois comme un ensemble mais aussi si les indicateurs sont évalués individuellement. Le comptage de vers de terre est également une méthode simple et pertinente, en nécessitant toutefois de bien coordonner la période de relevé avec les précipitations. Elle demande ainsi une part de flexibilité dans l'organisation. Le TBI ne serait pas recommandé dans le set de base du monitoring car sa mise en place demande beaucoup de matériel et les adaptations à faire pour les environnements riches en termites sont coûteux et contraignants. Les pièges arthropodes pourraient être intéressants si la diversité était étudiée et non pas uniquement le nombre d'individus. Toutefois cela demanderait des connaissances bien plus détaillées. Finalement les loggers sont des outils très pratiques pour la mesure de la température du sol, car ils sont résistants et enregistrent les données de manière totalement indépendante. Les tensiomètres sont de bons outils de mesure mais sont plus contraignants en termes de relevés. Des équivalents de loggers pour l'humidité du sol pourraient être une option intéressante. Afin de faire perdurer ce monitoring, une personne de la FeMoDo devrait être formée afin d'en prendre la charge. Les mesures pourraient être répétées tous les deux ans selon le manuel pratique.

Malgré les effets positifs démontrés par cette étude et également constatés par les paysans eux-mêmes, ceux-ci semblent renoncer à cette méthode en raison de la charge de travail et des coûts supplémentaires qu'engendre le paillage. Afin d'améliorer l'adoption il serait possible d'introduire la faux pour la fauche manuelle, ou alors une motofaucheuse commune pour apporter une mécanisation. Dans les deux cas l'objectif visé serait d'augmenter la rationalisation du paillage pour convaincre plus de paysans de l'adopter, sachant qu'ils sont déjà témoins et conscients des avantages de cette méthode.

Finalement, les résultats de cette recherche gagneraient vivement à être comparés à des analyses de laboratoire pour certains paramètres. Il serait pertinent de comparer les estimations visuelles de la matière organique avec des valeurs mesurées. Les textures déterminées par le test tactile devraient également être comparées à des valeurs d'analyses, surtout en ce qui concerne la teneur en argile qui est potentiellement sous-estimée par le test tactile. Ces mesures pourraient être obtenues grâce à une

collaboration avec le projet SPRIRIT (ETHZ/LBEV). Pour une éventuelle continuation, cette étude gagnerait à être répétée avec plus de points de référence, afin d'obtenir une meilleure représentativité et d'augmenter la fiabilité des résultats statistiques.

Bien que les différentes techniques de permaculture soient étudiées individuellement dans la littérature scientifique, il est nécessaire d'étudier un tel système dans son ensemble. L'approche individuel peut permettre dans un premier temps de réconcilier la permaculture et la science, toutefois documenter les effets combinés des techniques appliquées serait un grand progrès. De futurs projets de recherche dans différentes zones pédoclimatiques, différents contextes sociologiques et sur différents continents permettront certainement de donner une nouvelle visibilité ainsi qu'une nouvelle crédibilité à la permaculture en tant que réservoir d'idées et de méthodes pour faire face aux changements climatiques en cours et à venir.

8 Bibliographie

- Adjonou K, Radji AR, Kokutse AD, Kokou K, 2016. Considération des caractéristiques structurales comme indicateurs écologiques d'aménagement forestier au Togo (Afrique de l'Ouest). *Vertigo*, Volume 16 Numéro 1.
- Agbéwanou A, 2021. Responsable de la production végétale à la FeMoDo. Entretien du 18.05.2021.
- Agyeman VK, Marfo KA, Kasanga KR, Danso E, Asare AB, Yeboah OM, Agyeman F, 2004. Revising the taungya plantation system: new revenue-sharing proposals from Ghana. *Unasylva*, 54 (212), 40–43. Page consultée le 22.11.2021, <https://www.fao.org/3/y4744e/y4744e11.htm>
- Alvey S, Bagayoko M, Neumann G, Buerkert A, 2001. Cereal/legume rotations affect chemical properties and biological activities in two West African soils. *Plant and Soil*, 231 (1), 45–54.
- Ball B, Guimaraes R, Batey T, Munkholm L, 2012. Visual Evaluation and Soil Structure. Page consultée le 26.11.2021, https://soils.vidacycle.com/wp-content/uploads/2019/08/VESS_score_chart.pdf
- Ball BC, Batey T, Munkholm LJ, 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, 23 (4), 329–337.
- Blanco-Canqui H, Ruis SJ, 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma*, 326, 164–200.
- Blättler C, 2019. Design meets development cooperation. An investigation of the potential of design for knowledge transfer, empowerment and organization in rural regions of African developing countries. Master, inédit. Lucerne School of Art and Design, Lucerne, 135 p.
- Brooker RW, Bennett AE, Cong W-F, Daniell TJ, George TS, Hallett PD, Hawes C, Iannetta PPM, Jones HG, Karley AJ, Li L, McKenzie BM, Pakeman RJ, Paterson E, Schöb C, Shen J, Squire G, Watson CA, Zhang C, Zhang F, Zhang J, White PJ, 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *The New phytologist*, 206 (1), 107–117.
- Brunner J, Jäggli F, Nievergelt J, Peyer K, 1997. Cartographie et estimation des sols agricoles. Station fédérale de recherche en agroécologie et agriculture FAL, Zürich, 176 p.
- Bürkner P-C, 2017. brms : An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan. *Journal of Statistical Software*, 80 (1).
- Bürkner P-C, 2018. Advanced Bayesian Multilevel Modeling with the R Package brms. *The R Journal*, 10 (1), 395.
- Carrer D, Pique G, Ferlicoq M, Ceamanos X, Ceschia E, 2018. What is the potential of cropland albedo management in the fight against global warming? A case study based on the use of cover crops. *Environmental Research Letters*, 13 (4), 44030.
- Chabert A, Sarthou J-P, 2017. Agriculture de conservation des sols et services écosystémiques. *Droit et Ville*, N° 84 (2), 135–169.
- Chen H, Dai Z, Veach AM, Zheng J, Xu J, Schadt CW, 2020. Global meta-analyses show that conservation tillage practices promote soil fungal and bacterial biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 293, 106841.
- Cong W-F, Hoffland E, Li L, Six J, Sun J-H, Bao X-G, Zhang F-S, van der Werf W, 2015. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global change biology*, 21 (4), 1715–1726.
- Conrad A, 2014. We are farmers: agriculture, food security, and adaptive capacity among permaculture and conventional farmers in central Malawi. Doctorat, inédit. American University, Washington D.C., 369 p.
- Cornioley T, 2021. Proposition du projet de recherche SPIRIT, inédit. EPFZ (École polytechnique fédérale de Zürich), Zürich, 27 p.
- Derruau M, 2010. Les formes du relief terrestre: Notions de géomorphologie (8 éd.). Armand Colin, Paris, 240 p.
- Didarali Z, Gambiza J, 2019. Permaculture: Challenges and benefits in improving rural livelihoods in South Africa and Zimbabwe. *Sustainability*, 11 (8), 2219.
- Djaman K, 2017. Spatial and Temporal Variation in Precipitation in Togo. *International Journal of Hydrology*, 1 (4).
- Doran J, Coleman D, Bezdicek D, Stewart B (éd.), 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- FAO, 2005. New_LocClim: Local Climate Estimator.
- Ferguson RS, Lovell ST, 2014. Permaculture for agroecology: design, movement, practice, and worldview. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (2), 251–274.

- Fujisaki K, Chevallier T, Chapuis-Lardy L, Albrecht A, Razafimbelo T, Masse D, Ndour YB, Chotte J-L, 2018. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259, 147–158.
- Gelman A, Su Yu-Sung Yajima M, Hill J, Pittau MG, Kerman J, Zheng T, Dorie V, 2016. *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*. R package arm. Cambridge University Press.
- Gobat J-M, Aragno M, Matthey W, 2010. *Le sol vivant. Bases de pédologie - biologie des sols (3ème éd. revue et augmentée)*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Griffiths B, Faber J, Bloem J, 2018. Applying Soil Health Indicators to Encourage Sustainable Soil Use: The Transition from Scientific Study to Practical Application. *Sustainability*, 10 (9), 3021.
- Hasinger G, Nievergelt J, Petrasek M, Weisskopf Peter, 2004. *Observer et évaluer la structure du sol*. Station fédérale de recherche en agroécologie et agriculture agroscope FAL Reclenholz, Zürich.
- Hathaway MD, 2016. Agroecology and permaculture: addressing key ecological problems by rethinking and redesigning agricultural systems. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6 (2), 239–250.
- Jacke D, Toensmeier E, 2005. *Edible forest gardens*. Chelsea Green, White River Junction, Vt.
- Jones A, 2013. *Soil atlas of Africa*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 176 p.
- Jordán A, Zavala LM, Gil J, 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *CATENA*, 81 (1), 77–85.
- Karuku GN, 2018. Soil and Water Conservation Measures and Challenges in Kenya; a Review. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 2 (5).
- Karuku GN, Gachene C, Karanja N, Cornelis W, Verplacke H, 2014. Effect of different cover crop residue management practices on soil moisture content under a tomato crop (*Lycopersicon esculentum*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17 (3), 509–523.
- Keuskamp JA, Dingemans BJJ, Lehtinen T, Sarneel JM, Hefting MM, 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (11), 1070–1075.
- Kibblewhite MG, Ritz K, Swift MJ, 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363 (1492), 685–701.
- Kissao G, Fussi, Fabio, Asplund, Fredrik, 2009. *Étude de faisabilité des forages manuels au Togo. Identification des zones potentiellement favorables*, inédit, Lomé, 59 p.
- Köppen W, 1936. *Das geographische System der Klimate*. Gebrüder Bornträger, Berlin, 44 p.
- Krebs J, Bach S, 2018. *Permaculture—Scientific Evidence of Principles for the Agroecological Design of Farming Systems*. *Sustainability*, 10 (9), 3218.
- Lahmar R, Bationo BA, Dan Lamso N, Guéro Y, Tittonell P, 2012. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crops Research*, 132, 158–167.
- Lamouroux M, 1969. *Notice explicative n°34, carte pédologique du Togo*, Paris, 99 p.
- Lévêque A, 1979. *Carte pédologique du Togo à 1/200 000 : socle granito-gneissique : zone sud comprise entre les plateaux de terre de barre et 7° de latitude nord*. Office de la recherche scientifique et technique outre mer (ORSTOM), Bondy.
- Mawussi G, 2021. Professeur titulaire de l'École Supérieure d'Agronomie (ESA) à l'université de Lomé. Entretien du 22.10.2021.
- Mhlanga B, Ercoli L, Pellegrino E, Onofri A, Thierfelder C, 2021. The crucial role of mulch to enhance the stability and resilience of cropping systems in southern Africa. *Agronomy for Sustainable Development*, 41 (2), 18.
- Mollison B, 2012. *Permaculture. A designer's manual (Reprinted.)*. Tagari, Tyalgum.
- Mpoke-Bigg A, 2020. Togo : la Banque africaine de développement réaffecte un prêt de 3 millions de dollars à son secteur agricole en réponse à la pandémie de Covid-19. Groupe de la banque africaine de développement, 23.06.2020. Page consultée le 24.06.2021, <https://www.afdb.org/fr/news-and-events/press-releases/togo-la-banque-africaine-de-developpement-reaffecte-un-pret-de-3-millions-de-dollars-son-secteur-agricole-en-reponse-la-pandemie-de-covid-19-36536>
- Mulumba LN, Lal R, 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98 (1), 106–111.
- Nash JC, 2014. On Best Practice Optimization Methods in R. *Journal of Statistical Software*, 60 (2).
- Nash JC, Varadhan R, 2011. Unifying Optimization Algorithms to Aid Software System Users: optimx for R. *Journal of Statistical Software*, 43 (9).

- Nordin KJ, 2021. Permaculture. Dans: (FAO), (ITPS) (éd.). Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended sustainable soil management. Cropland, Grassland, Integrated systems and farming approaches– Practices overview, p. 547–556.
- Novotny IP, Dray A, Garcia CA. Is there a future for sustainable agriculture in Togo? OFEV (Office fédérale de l'environnement), 2021. Le sol et ses fonctions. OFEV (Office fédérale de l'environnement), 24.08.2021. Page consultée le 28.11.2021, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/info-specialistes/le-sol-et-ses-fonctions.html>
- Pareja-Sánchez E, Plaza-Bonilla D, Ramos MC, Lampurlanés J, Álvaro-Fuentes J, Cantero-Martínez C, 2017. Long-term no-till as a mean to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil and Tillage Research*, 174, 221–230.
- Pheap S, Lefèvre C, Thoumazeau A, Leng V, Boulakia S, Koy R, Hok L, Lienhard P, Brauman A, Tivet F, 2019. Multi-functional assessment of soil health under Conservation Agriculture in Cambodia. *Soil and Tillage Research*, 194, 104349.
- Rhodes CJ, 2012. Feeding and healing the world: through regenerative agriculture and permaculture. *Science progress*, 95 (Pt 4), 345–446.
- Shepherd TG, 2000. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Landcare Research, Palmerston North, New Zealand.
- Smajstrla AS, Harrison DS, 1998. Tensiometers for Soil Moisture Measurement and Irrigation Scheduling.
- Stewart RD, Jian J, Gyawali AJ, Thomason WE, Badgley BD, Reiter MS, Strickland MS, 2018. What We Talk about When We Talk about Soil Health. *Agricultural & Environmental Letters*, 3 (1), 180033.
- Teo A, Kristensen NP, Keuskamp JA, Evans TA, Foo M, Chisholm RA, 2020. Validation and extension of the Tea Bag Index to collect decomposition data from termite-rich ecosystems. *Pedobiologia*, 80, 150639.
- Thoumazeau A, Bessou C, Renevier M-S, Trap J, Marichal R, Mareschal L, Decaëns T, Bottinelli N, Jailard B, Chevallier T, Suvannang N, Sajjaphan K, Thaler P, Gay F, Brauman A, 2019. Biofunctool®: a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: concept and validation of the set of indicators. *Ecological Indicators*, 97, 100–110.
- Tian X, Wang C, Bao X-G, Wang P, Li X, Yang S, Ding G, Christie P, Li L, 2019. Crop diversity facilitates soil aggregation in relation to soil microbial community composition driven by intercropping. *Plant and Soil*, 436 (1-2), 173–192.
- Tombeur F de, Sohy V, Chenu C, Colinet G, Cornelis J-T, 2018. Effects of Permaculture Practices on Soil Physicochemical Properties and Organic Matter Distribution in Aggregates: A Case Study of the Bec-Hellouin Farm (France). *Frontiers in Environmental Science*, 6, 1.
- topographic-map.com, 2017. Carte topographique du Togo. Page consultée le 17.05.2021, <https://fr-ch.topographic-map.com/maps/4mir/Togo/>
- Turbé A, Toni A de, Benito P, Lavelle P, Ruiz N, Van der Putten, Wim H, Labouze E, Mudgal S, 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers, inédit.
- Wiersum KF, 1982. Tree gardening and taungya on Java: Examples of agroforestry techniques in the humid tropics. *Agroforestry systems*, 1, 53–70.
- Zhong S, Zeng H, 2019. Effect of peanut (*Arachis hypogaea* L.)/cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping combined with organic mature application on soil microfauna. *Geoderma*, 354, 113863.
- Zihlmann U, Weisskopf P, Dubois D, Tschachtli R, 1999. Burgrain: Bodenstruktur in unterschiedlichen Anbausystemen. *Agrarforschung*, 6 (5), 165–168.

Remerciements

Je tiens à remercier les personnes et les institutions qui ont rendu ce travail possible, et qui m'ont accompagnée à leur façon.

Tout d'abord je tiens à remercier chaleureusement ma superviseur, Liv KELLERMANN (BFH-HAFL), pour son investissement, son soutien et sa bienveillance tout au long de ce travail. Je le remercie également pour les beaux moments partagés ensemble au Togo lors de sa visite. Ma reconnaissance va également au Dr. Christoph STUDER (BFH-HAFL) et à Nancy BOURGEOIS (BFH-HAFL) qui m'ont apporté leur soutien considérable pour les questions scientifiques et personnelles. Tous les trois ont grandement contribué à l'achèvement de ce présent travail.

Je remercie également l'ONG Happy Togo et son chef projet Lucas BAUMANN pour sa confiance, son investissement et sa capacité d'écoute. Un immense merci et mon infinie reconnaissance vont au Dr. Koffi Setsrim ATTIOGBE (Happy) de l'ONG Étoile Verte. Il fut un soutien infaillible et une figure bienveillante lors de mes six mois sur la terre de ces ancêtres. Il a contribué à faire naître mon attachement pour le Togo. .

Je remercie également mon superviseur local Attisso AGBÉWANOU (Étoile Verte) pour sa disponibilité, ses explications et les échanges constructifs qui ont pu être menés.

À Jacques et Émile, mes deux acolytes de la vie villageoise en campagne togolaise, merci pour votre présence, votre soutien, votre humour ainsi que pour tous les débats et échanges que nous avons eu au cours de ce séjour et qui ont permis de nourrir mes réflexions.

Merci à tout l'équipe FeMoDo pour leur convivialité et leur aide, à savoir M. KPAKOTE, Tata, Nicolas, Agbé et Nina. Merci également au chef Togbui Kodjo MANÈKPO et à tous les habitants de Donomadé de nous avoir accepté et intégré dans leur communauté.

Ayant eu la chance d'échanger avec les scientifiques du projet SPIRIT-DAGBÉ (EPFZ ; Université de Lomé), je tiens à remercier tout particulièrement le Dr. Ivan NOVOTNY (ETHZ) pour le partage de ses résultats de recherche, pour sa patience, sa pédagogie et sa bienveillance. J'en garderai un souvenir au-delà de l'aspect académique. Mes remerciements vont également au Pr. Dr. Emmanuel FROSSARD (ETHZ) pour m'avoir accordé de son temps et pour les échanges riches que nous avons pu avoir. Finalement j'exprime toute ma reconnaissance à l'équipe du LBEV de l'Université de Lomé et particulièrement Dr Wouyo ATAKPAMA avec qui j'ai pu parcourir les champs togolais et apprendre beaucoup sur la flore locale.

Merci également au Pr Dr Gbénonchi MAWUSSI de l'Université de Lomé pour ses précieuses explications concernant les sols du Togo.

Un immense merci va à mon cher Yann Langwieser, qui a parcouru 4000km pour venir me voir, qui m'a constamment soutenue dans les moments de détresse et qui m'apporte un réconfort plus que vital.

Finalement je tiens à remercier ma famille, particulièrement ma maman, ainsi que mes amis, spécialement Yohann, Loredana, Charlotte, Nina, et Natasha pour avoir toujours été à portée de téléphone même aussi loin, pour m'avoir toujours soutenue et encouragée dans cette étape de vie.

À Mathias, vagabond des cimes éternelles

Annexes

A. Fiches de relevé sondages

| 1.1.1 Sondage – Formulaire | | ID point : FMD1 | | Date sondage : 15.07.2021 | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|------|------------------------------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------------|-----------------------|--------------|----------|----------|
| Type de sondage: Tarière hollandaise | Altitude : 118m | Pente : 1% | | N 6' 48" 21" E 1' 31' 27" | | | | | | | | | | |
| Végétation : Chaumes maïs | | Coordonnées | | | | | | | | | | | | |
| Exposition : Nord | | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | pH mètre |
| 1 | -10 | 0 | 100 | / | / | / | / | / | / | O | / | / | / | / |
| 2 | 0 | 10 | 4 | 32 | 10 | 58 | 6 | | Mo | A | / | 10YR 0/1 | 6.3 | 7.1 |
| 3 | 10 | 20 | 2 | 34 | 14 | 52 | 6 | | Hu | A ₂ | / | 10YR 1/2 | 6 | 6.9 |
| 4 | 20 | 73 | 1 | 38 | 12 | 52 | 8 | | Hu | B | / | 7.5YR 2/3 | 6 | 7.0 |
| 5 | 73 | 87 | 0 | / | / | / | 70 | | Hu | BC | / | / | / | / |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |

Croquis du relief



Notes :

Paillage

Beaucoup de graviers, « cimentés » par de la terre
En sachant qu'ici ce sont des sols très profonds

Limons se dégradent en argile ; sols vieux ont généralement une teneur en limon plus faible car il aura été dégradé en argile
Horizon C n'est pas très utile pour les plantes, elles peuvent y prendre un peu d'eau mais pas beaucoup de terre et de nutriments

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FHN1 | | Date sondage : 15.07.2021 | | | |
|--|-----------------|----------------------|------|-----------------------|---------|-----------------|-----------|---------------------------|--|----------|--|
| Type sondage : Tarière hollandaise | Altitude : 118m | Pente : 2% | | N 6° 48' 32" | | E 1° 31' 26" | | | | | |
| Végétation : Maïs, Niébé (haricot) | | Coordonnées | | Manque O ₂ | | Couleur | | pH bande | | pH mètre | |
| Exposition : Nord | | Horizon | | Humidité | | 10YR 0/1 | | 6 | | 7.3 | |
| Exploitant : Professeur de Tometi-Kondji (locataire) | | A ₁ | | Sec | | / | | 6 | | / | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | | | |
| 1 | 0 | 20 | 2 | 33 | 15 | 52 | 3 | | | | |
| 2 | 20 | 30 | 2 | 33 | 15 | 52 | 4 | | | | |
| 3 | 30 | 45 | 1 | 36 | 10 | 54 | 8 | | | | |
| 4 | 45 | 85 | 0 | / | / | / | 50 | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |

Croquis du relief



Notes :

Limite de l'humidité (dernière pluie : 03.07.2021, 2 sem)

| 1.1 | | Sondage – Formulaire | | | ID point : FMD2 | | Date sondage : 15.07.2021 | | | | Notes : | | | |
|--|---------------|----------------------|------------|--------------|-----------------|---------|---------------------------|-----------|----------|----------------|-----------------------|------------|----------|----------|
| Type sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 118m | Pente : 1% | | Coordonnées | | | | | | Croquis du relief | | | |
| Végétation : Soja, pois d'angole, palmiers à huile | | | | N 6° 48' 31" | | | | | | Notes : | | | | |
| Exposition : Nord | | | | E 1° 31' 27" | | | | | | Notes : | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | pH mètre |
| 1 | 0 | 16 | 4 | 23 | 25 | 52 | 0 | | Sec | A ₁ | / | Brun | 6 | 7.2 |
| 2 | 16 | 38 | 3 | 31 | 17 | 52 | 3 | | Hu | A ₂ | / | Brun | 6 | 6.9 |
| 3 | 38 | 55 | 1 | 33 | 15 | 52 | 6 | | Hu | B | / | Brun rouge | 6 | 6.8 |
| 4 | 55 | 70 | 0 | / | / | / | 50 | | Hu | BC | / | Rouge | / | / |
| 5 | 70 | 92 | 0 | 28 | 15 | 57 | 30 | | Sec | BC | / | Rouge | / | / |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|--|---------------------------|--------------|
| 1.1 Sondage - Formulaire | | ID point : FHN2 | | Date sondage : 16.07.2021 | |
| Type de sondage : tarière hollandaise | Altitude : 118m | Pente : 2% | | N 7° 0' 44" | E 1° 31' 26" |
| Végétation : Mais, Niébé | | Coordonnées | | | |
| Exposition : Nord | | | | | |

Croquis du relief



| N° horizon | Profondeur de | | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande |
|------------|---------------|----|--------------|------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|---------|-----------------------|---------|----------|
| | 0 | 15 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 15 | 3 | 28 | 21 | 51 | 0 | | Sec | A1 | / | Noir | 6 | |
| 2 | 15 | 35 | 2 | 33 | 17 | 50 | | | Hu | A2 | / | Noir | 6 | |
| 3 | 35 | 60 | 0.5 | 38 | 10 | 52 | | | Hu | B | / | Brun Rouge | 6 | |
| 4 | 60 | 80 | 0.5 | 38 | 10 | 52 | 25 | | Hu | B | cng | Brun Rouge | / | |
| 5 | 80 | 90 | 0 | / | / | / | 70 | | sec | BC | / | rouge | / | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |


Notes :

Boules de manganèse

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FMD3 | | | Date sondage : 15.07.2021 | | | Croquis du relief | | |
|--|---------------|----------------------|------|------------|---------|-----------------|-----------|-----------|---------------------------|----------------|-----------------------|-------------------|----------|----------|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 112m | | Pente : 1% | | Coordonnées | | | | | | Notes : | | |
| Végétation : Soja | | | | | | | | | | | | | | |
| Exposition : Nord | | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | pH mètre |
| 1 | 0 | 20 | 4 | 24 | 20 | 56 | 0 | | Sec | A ₁ | / | Noir | 5.5 | 6.9 |
| 2 | 20 | 52 | 3 | 27 | 17 | 56 | 0 | | Mo | A ₂ | / | Noir | 5.5 | 6.9 |
| 3 | 52 | 75 | 0.5 | 36 | 15 | 49 | 6 | | Mo | B | g | Jaune brun | 5.5 | 6.8 |
| 4 | 75 | 86 | 0 | / | / | / | 50 | | Mo | BC | g | Jaune | / | / |
| 5 | 86 | 115 | 0 | / | / | / | 50 | | Mo | BC | gg | Jaune | / | / |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |

| 1.1 | | Profil de sol – Formulaire | | | | | ID point : FHN3 | | | | Date : 15.07.2021 | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------------------------|------|------------|---------|---------|-----------------|-----------|----------|-----------------|-----------------------|---------|----------|----------|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 114m | | Pente : 0% | | | N 6' | | E 1' | | 48' | | 34'' | |
| Végétation : Majs, palmiers à huile | | % | | % | | | % | | % | | % | | % | |
| Exposition : Nord | | % | | % | | | % | | % | | % | | % | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argille | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | pH mètre |
| 1 | 0 | 17 | 4 | 24 | 20 | 56 | 0 | | Sec | A ₁ | / | Noir | 6 | 6.9 |
| 2 | 17 | 33 | 3 | 31 | 17 | 52 | 3 | | Hu | A ₂ | / | Noir | / | / |
| 3 | 33 | 51 | 2 | 33 | 15 | 50 | 5 | | Mou | B | / | Brun | 6 | 6.6 |
| 4 | 51 | 68 | 0 | 38 | 12 | 50 | 20 | | Mou | BC ₁ | Voir note | Rouge | 6 | 6.8 |
| 5 | 68 | 104 | 0 | / | / | / | 20 | | Mou | BC ₂ | Voir note | Rouge | / | / |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |

Croquis du relief

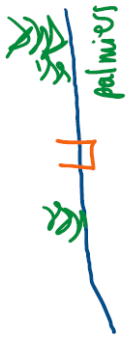


Notes :

Limite sec humide à 14 cm

Couche de graviers rouges à 70cm

Zones hydromorphes

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FMD4 | | | Date sondage : 16.07.2021 | | | Croquis du relief  | |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|------|----------|---------|-----------------|-----------|-----------|---------------------------|----------------|-----------------------|--|----------|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 110m | | Pente : | | Coordonnées | | | N 6' 48' 43'' | | | | |
| Végétation : Igname | | | | | | E 1' 31' 32'' | | | | | | | |
| Exposition : Ouest | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande |
| 1 | -7 | 0 | 100 | / | / | / | / | / | / | O | / | / | / |
| 2 | 0 | 20 | 6 | 17 | 20 | 63 | 0 | | Hu | A ₁ | / | Noir | 5.5 |
| 3 | 20 | 40 | 3 | 25 | 15 | 60 | 0 | | Hu | A ₂ | / | Noir | 5.5 |
| 4 | 40 | 65 | 1 | 27 | 12 | 61 | 0 | | Hu | B | / | Brun | 5 |
| 5 | 65 | 85 | 0 | 38 | 10 | 52 | 0 | | Hu | B | g | Jaune | / |
| 6 | 85 | 110 | 0 | 38 | 15 | 47 | 0 | | Hu | B | gg | Jaune | / |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |

Notes :

Jaunes taches noires et rouges

Jaune avec des taches rouge, roche mère jaunâtre

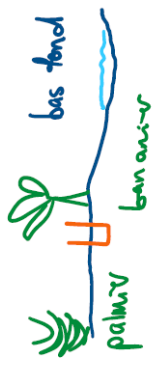
| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FHN4 | | Date sondage : 16.07.2021 | | | | Croquis du relief | | |
|---|---------------|----------------------|------|-------------|---------|-----------------|-----------|---------------------------|----------|----------------|-----------------------|-------------------|----------|--|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 109m | | Pente : 0% | | Coordonnées | | | | | | | | |
| Végétation : Arachides, beaucoup d'adventices | | N 7° 0' 44" | | E 1° 31' 3" | | | | | | | | | | |
| Exposition : Nord-Ouest | | | | | | | | | | | | Notes : | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | |
| 1 | 0 | 20 | 4 | 9 | 20 | 71 | 0 | | Hu | A ₁ | / | Noir | 5.5 | |
| 2 | 20 | 45 | 3 | 15 | 16 | 67 | 0 | | Hu | A ₂ | / | Noir | 5.5 | |
| 3 | 45 | 80 | 0.5 | 36 | 10 | 54 | 0 | | Hu | B | cn | Brun Rouge | 5.5 | |
| 4 | 80 | 120 | 0 | 40 | 15 | 45 | 4 | | Hu | B | gg | rouge | / | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | |

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FMD5 | | Date sondage : 16.05.2021 | | | | Croquis du relief | | | |
|--|---------------|----------------------|------|------------|---------|-----------------|-----------|---------------------------|----------|----------------|-----------------------|---|----------|--|--|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 110m | | Pente : 2% | | Coordonnées | | | | | | Notes : | | | |
| Végétation : Ignaine | | | | | | | | | | | | Morceaux de paille non décomposée jusqu'à 40 cm de profondeur | | | |
| Exposition : Ouest | | | | | | | | | | | | À 80 cm commence avec taches de rouille | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur au | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | | |
| 1 | -6 | 0 | 100 | / | / | / | / | | / | O | / | / | / | | |
| 2 | 0 | 11 | 5 | 6 | 25 | 69 | 0 | | Mo | A ₁ | / | Noir | 5.5 | | |
| 3 | 11 | 24 | 4 | 13 | 20 | 67 | 0 | | Mo | A ₂ | / | Noir | 5.5 | | |
| 4 | 24 | 58 | 2 | 29 | 15 | 56 | 0 | | Mo | B ₁ | / | Brun | 5.5 | | |
| 5 | 58 | 95 | 0.5 | 35 | 10 | 56 | 2 | | Hu | B ₂ | / | Jaune | / | | |
| 6 | 95 | 110 | 0 | 37 | 12 | 51 | 0 | | Hu | B | gg | Jaune | / | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |



| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FHN5 | | | | Date sondage : 16.07.2021 | | | | Croquis du relief | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|--|------|------------|---------|-----------------|-----------|--------------|----------|---------------------------|-----------------------|---------------|----|-------------------|--|--|--|--|--|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 110m | | Pente : 0% | | Coordonnées | | N 6' 48' 44" | | E 1' 21' 32" | | N | | E | | | | | |
| Végétation : Maïs (sarclage récent) | | Notes : | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Exposition : Nord-Ouest | | Matériel jaune et gris, taches oranges et noires | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | PH | | | | | | |
| 1 | 0 | 17 | 3 | 31 | 17 | 52 | 0 | | Sec | A ₁ | / | Noir | 6 | | | | | | |
| 2 | 17 | 40 | 1 | 33 | 20 | 47 | 2 | | Hu | A ₂ | / | Brun | 6 | | | | | | |
| 3 | 40 | 63 | 0 | 36 | 20 | 44 | 2 | | Hu | B | (g) | Brun Jaune | 6 | | | | | | |
| 4 | 63 | 90 | 0 | 34 | 15 | 51 | 1 | | Hu | B | / | Jaune | / | | | | | | |
| 5 | 90 | 108 | 0 | 37 | 10 | 53 | 1 | | Hu | B | gg | Jaune gris | / | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 1.1 | | Sondage – Formulaire | | | | ID point : FMD6 | | Date sondage : 17.07.2021 | | | | Croquis du relief | | | |
|--|---------------|----------------------|------|------------|---------|-----------------|-----------|---------------------------|----------|---------|-----------------------|-----------------------------|----------|--|--|
| Type profil : Tarière hollandaise | | Altitude : 109m | | Pente : 3% | | Coordonnées | | | | | | Notes : | | | |
| Vegetation : Ananas paillés (bas fond) | | | | | | | | | | | | Eau à 60 cm ; taches rouges | | | |
| Exposition : Ouest | | | | | | | | | | | | Taches rouges | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | | |
| 1 | -10 | 0 | 100 | / | / | / | / | | / | O | / | / | / | | |
| 2 | 0 | 20 | 5 | 22 | 20 | 56 | 0 | | Mo | A | / | Noir | 5.5 | | |
| 3 | 20 | 47 | 3 | 27 | 15 | 56 | 0 | | Mo | AB | / | Noir | 5.5 | | |
| 4 | 47 | 60 | 0 | 28 | 12 | 60 | 2 | | Mo | B | g | Brun | 5.5 | | |
| 5 | 60 | 110 | 0 | 29 | 10 | 61 | 2 | | Mo | B | gg | Jaune | / | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |




| | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--------------|--|--------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------------------------|--|--|---------|-----------------------|
| 1.1 | Sondage – Formulaire | | | | ID point : FMD7 | | | | Date sondage : 17.07.2021 | | | | Croquis du relief |
| Type de sondage : tarière hollandaise | Altitude : 108m | Pente : 0.5% | | Coordonnées | | | | Date sondage : 17.07.2021 | | | | | |
| Végétation : Ananas système Attisso (colline) | | | | N 6' 48' 31" | | | | E 1' 31' 28" | | | | | |
| Exposition : Ouest | | | | | | | | | | | | Notes : | |

| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande |
|------------|---------------|--------------|------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------------|-----------------------|---------|----------|
| 1 | -3 | 0 | 100 | / | / | / | / | / | / | O | / | / | / |
| 2 | 0 | 10 | 5 | 18 | 20 | 62 | / | | Mo | A ₁ | / | Noir | 6 |
| 3 | 10 | 30 | 4 | 27 | 15 | 58 | / | | Mo | A ₂ | / | Noir | 5.7 |
| 4 | 30 | 50 | 2 | 27 | 15 | 58 | / | | Mo | B ₁ | / | Brun | 5.7 |
| 5 | 50 | 95 | 0 | 33 | 10 | 57 | / | | Hu | B ₂ | / | Rouge | / |
| 6 | 95 | 110 | 0 | 35 | 10 | 55 | 1 | | Hu | B | cn | Rouge | / |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |

| 1.1 Sondage - Formulaire | | | | | | | | | | ID point : FHN7 | | | Date sondage : 17.07.2021 | | | Croquis du relief | | | |
|---|---------------|-----------------|------|------------|---------|--------------|-----------|--------------|----------|-----------------|-----------------------|---------------|---------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Type de sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 112m | | Pente : 0% | | N 6° 48' 48" | | E 1° 31' 26" | | | | | | | | | | | |
| Végétation : Ananas non paillé, beaucoup d'herbes | | | | | | | | | | Coordonnées | | | | | | | | | |
| Exposition : Nord-Ouest | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | | | | | | |
| 1 | 0 | 12 | 6 | 27 | 23 | 50 | 0 | | Mo | A ₁ | / | Noir | 6.3 | | | | | | |
| 2 | 12 | 28 | 4 | 32 | 20 | 51 | 0 | | Mo | A ₂ | / | Noir | 6 | | | | | | |
| 3 | 28 | 54 | 2 | 35 | 15 | 50 | 2 | | Hu | B | cn | Brun | 6 | | | | | | |
| 4 | 54 | 75 | 0.5 | 37 | 20 | 43 | 5 | | Hu | B | cng | Brun Rouge | / | | | | | | |
| 5 | 75 | 95 | 0 | 42 | 15 | 43 | 3 | | Hu | B | gg | Rouge | / | | | | | | |
| 6 | 95 | 103 | 0 | 45 | 20 | 35 | 2 | | Mo | B | R | Jaune | / | | | | | | |
| 7 | 103 | 110 | 0 | / | / | / | 40 | | Mo | BC | r | jaune | / | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Notes : | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Proche du ruisseau Derniers horizons (6 et 7) gorgés d'eau et bruit de « plutsch » avec la tarière | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Taches | | | |

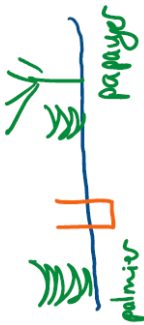
| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FMD8 | | Date sondage : 17.07.2021 | | | | | |
|---|---------------|----------------------|------|------------|---------|-----------------|-----------|---------------------------|----------|----------------|-----------------------|---------|----------|
| Type profil : hollandaise | Tarière | Altitude : | | Pente : 5% | | Coordonnées | | N | | E | | | |
| Végétation : Ananas système Attisso (bas pente) | | | | | | | | 6' | | 56' 0'' | | | |
| Exposition : Ouest | | | | | | | | 1' | | 23' 14'' | | | |
| Croquis du relief | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Notes : | | | | | | | | | | | | | |
| Manganèse | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande |
| 1 | -4 | 0 | 100 | / | / | / | / | / | / | O | / | / | / |
| 2 | 0 | 10 | 6 | 9 | 20 | 71 | 0 | | Mo | A ₁ | / | Noir | 6 |
| 3 | 10 | 22 | 4 | 21 | 17 | 62 | 0 | | Mo | A ₂ | / | Noir | 6 |
| 4 | 22 | 38 | 1 | 26 | 15 | 57 | 0 | | Mo | B | / | Brun | 6 |
| 5 | 38 | 60 | 0 | 33 | 10 | 57 | 3 | | Mo | B | gg | Rouge | / |
| 6 | 60 | 88 | 0 | 38 | 9 | 53 | 2 | | Mo | B ₁ | r | Jaune | / |
| 7 | 88 | 100 | 0 | 41 | 8 | 51 | 2 | | Mo | B ₂ | r | Jaune | / |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FHNS | | | Date sondage : 20.07.2021 | | | Croquis du relief  | |
|------------------------------------|---------------|----------------------|------|------------|---------|-----------------|-----------|-----------|---------------------------|----------------|-----------------------|--|----------|
| Type sondage : tarière hollandaise | | Altitude : 112m | | Pente : 0% | | Coordonnées | | | N | | | | |
| Végétation : Maïs | | Exposition : Nord | | | | E | | | 48' | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur à | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande |
| 1 | 0 | 12 | 3 | 24 | 20 | 56 | 0 | | Hu | A | / | Noir | 5.5 |
| 2 | 12 | 34 | 2.5 | 27 | 17 | 56 | 0 | | Hu | B ₁ | / | Noir | 5.5 |
| 3 | 34 | 56 | 1 | 31 | 16 | 53 | 0 | | Mo | B ₂ | / | Brun | 5.5 |
| 4 | 56 | 90 | 0 | 35 | 10 | 55 | 3 | | Mo | B | cng | Brun Rouge | / |
| 5 | 90 | 107 | 0 | 41 | 10 | 49 | 4 | | Hu | B | cngg | Jaune | / |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |

Notes :
Maïs à côté des ananas d'Agbé
Sol verschlämmt

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | ID point : FHA9 | | | Date sondage : 17.07.2021 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------|------|-------------|-----------------|---------|-----------|---------------------------|----------|----------------|-----------------------|---------|----------|--|--|--|--|--|--|--|
| Type profil : tarière hollandaise | Altitude : 142m | Pente : 0% | | Coordonnées | | N | 6' | 47' | 33" | | | | | | | | | | | |
| Végétation : Ananas paillé | | | | | | E | 1' | 31' | 53" | | | | | | | | | | | |
| Exposition : Est | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Propriétaire : Mignanou ALOBANDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° horizon | Profondeur de | Profondeur a | % MO | % argile | % limon | % sable | % gravier | % pierres | Humidité | Horizon | Manque O ₂ | Couleur | pH bande | | | | | | | |
| 1 | -7 | 0 | 100 | / | / | / | / | / | / | O | / | / | / | | | | | | | |
| 2 | 0 | 15 | 3 | 8 | 15 | 77 | 0 | | Hu | A | / | Noir | 6 | | | | | | | |
| 3 | 15 | 35 | 1 | 27 | 20 | 53 | 0 | | Mo | B ₁ | / | Brun | 5.5 | | | | | | | |
| 4 | 35 | 80 | 0 | 32 | 15 | 53 | 0 | | Mo | B ₂ | / | Rouge | 5.5 | | | | | | | |
| 5 | 80 | 102 | 0 | 37 | 15 | 48 | 0 | | Hu | B ₃ | / | Rouge | / | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Croquis du relief



Notes :

| 1.1 | | Sondage - Formulaire | | | | ID point : FHN9 | | | | Date sondage: 17.07.2021 | | | | Croquis du relief | |
|---|------------|-----------------------|--|-------------|----|-----------------|-----|----------|----|--------------------------|-----|---------------------|--|-------------------|--|
| Type de sondage : | Altitude : | Pente : | | Coordonnées | | | | Horizon | | | | Notes : | | | |
| tarière hollandaise | 141m | 0% | | N | 6' | 47' | 34" | E | 1' | 31' | 56" | | | | |
| Végétation : Ananas non paillé, beaucoup d'herbes | | Manque O ₂ | | Couleur | | pH bande | | Parcours | | | | Parcelle du village | | | |
| Exposition : Est | | / | | Brun | | 5.5 | | | | | | | | | |
| Propriétaire : Femme de Kossi TOULOU | | Horizon | | Humidité | | % pierres | | | | | | | | | |
| | | A | | Sec | | | | | | | | | | | |
| Profondeur de | | B ₁ | | Mo | | % gravier | | | | | | | | | |
| 1 0 15 | | Mo | | Mo | | 0 | | | | | | | | | |
| 2 15 50 | | B ₂ | | Hu | | % sable | | | | | | | | | |
| 3 50 75 | | B ₃ | | | | % limon | | | | | | | | | |
| 4 75 100 | | | | | | % argile | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | % MO | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |

B. Formulaire de relevé pour le test à la bêche

| 3.1 Test à la Bêche - Formulaire | | ID point : | Date : | Heure : |
|----------------------------------|-----------------------|---|--------|---------|
| Propriétaire : | | Coordonnées | N | E |
| Surface : | | Exploitation : | | |
| Couverture du sol | | Culture(s) et stades : | | |
| % sol nu | % couvert par mulch | A. Aspérité | | |
| % couvert plantes | % couvert par compost | 1. Agrégats reconnaissables | | |
| Remarques : | | 2. en partie érodés | | |
| Sous-sol | | 3. érodés | | |
| | | 4. très érodés | | |
| | | 3. pas du tout | | |
| | | Relief : | | |
| | | B. Déjections vers de terre | | |
| | | 1. beaucoup | | |
| | | 2. peu | | |
| | | 3. pas du tout | | |
| | | Relief : | | |
| | | C. Fermeté de la structure du sol | | |
| Horizons | | D. Forme de la fraction majoritaire des agrégats | | |
| Profondeur de ... cm | | 1. Arrondis | | |
| Profondeur à ... cm | | 2. Anguleux à arrondis | | |
| | | 3. Très anguleux | | |
| | | E. Taille de la fraction majoritaire des agrégats | | |
| | | 1. Majorité < 1 cm. | | |
| | | 2. Majorité 1-2 cm | | |
| | | 3. Majorité 2-5 cm | | |
| | | 4. Majorité > 5 cm. | | |
| | | F. FAO score structure (C+D+E) | | |
| | | 1. Dominé par des agr. fins et friables | | |
| | | 2. 50% des deux agr. grossiers + agr. fins et friables | | |
| | | 3. Dominé par agr. grossiers, très peu agr. fins | | |
| | | G. Porosité de la fraction majoritaire des agrégats | | |
| | | 1. Poreux : beaucoup de pores et de fissures | | |
| | | 2. Dense : peu de pores, cassures anguleuses | | |
| | | 3. Compacté : pas de pores, cassures conchoidales | | |
| | | H. Enracinement et forme des racines | | |
| | | 1. Beaucoup de racines, uniformément réparties, fines | | |
| | | 2. Peu de racines, uniformément réparties, fines | | |
| | | 3. Répartition pas uniforme, zones sans racines | | |
| | | 4. Rép. pas uniforme, zones sans r., racines en surface | | |
| | | I. Note VESS (C+D+E+G+H) | | |
| | | Sq1 : friable | | |
| | | Sq2 : intact | | |
| | | Sq3 : ferme | | |
| | | Sq4 : compact | | |
| | | Sq5 : très compact | | |
| | | J. Résidus de récolte (dégradation) | | |
| | | 1. Pas ou fortement décomposés | | |
| | | 2. Relativement frais, uniformément dégradés | | |
| | | 3. Relativement frais, irr. dégradés, p.ex. « matelas » | | |
| | | 4. Conservés (année précédente ou plus) | | |
| | | K. Humidité du sol | | |
| | | a. sec | | |
| | | b. frais | | |
| | | c. Humide | | |
| | | d. Très humide à détrempé | | |
| N° | | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| Remarques : | | | | |






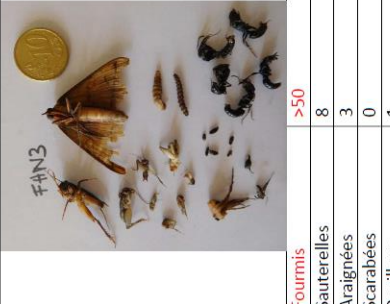

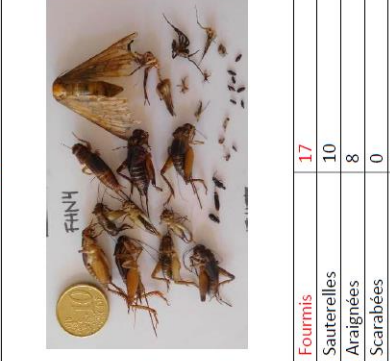
1= favorable ; 5 = très peu favorable

Adapté de Agroscope/HAF/LANAT 2018





C. Points de repère pour les points de mesure

| | | |
|--|---|---|
| <p>FMD1</p> <p>Citrus 3.25 m 293° W</p> | <p>FHN1</p> <p>Bananier 9.40 m 210° SW</p> | <p>FMD2</p> <p>Cocotier 5.75 m 335° NW</p> |
| <p>FHN2</p> <p>Bananier 7.65 m 40° NE</p> | <p>FMD3</p> <p>Bananier 3.65 m 335° NW</p> | <p>FHN3</p> <p>Bananier 10.40 m 288° W</p> |
| <p>FMD4</p> <p>Palmier 4.73 m 190° S</p> | <p>FHN4</p> <p>Palmier 4.55 m 102° E</p> | <p>FMD5</p> <p>Baobab 7.15 m 250° W</p> |
| <p>FHN5</p> <p>Bananier 5.35 m 130° S</p> | <p>FMD6</p> <p>Cocotier 2.40 m 107° E</p> | <p>FMD7</p> <p>Cocotier 4.15 m 95° E</p> |
| <p>FHN7</p> <p>Palmier 1.65 m 100° S</p> | <p>FMD8</p> <p>Cocotier 2.5 m 100° E</p> | <p>FHN8</p> <p>Cocotier 2.95 m 278° W</p> |
| <p>FMD9</p> <p>Bananier 2 m</p> | <p>FHN9</p> <p>Manguier 6.50 m</p> | |

D. Comptage arthropodes

| FMD1 | | FHN1 | |
|---|---|------|--|
|  |  | | |
| Fourmis >50 | Fourmis 7 | | |
| Sauterelles 2 | Sauterelles 0 | | |
| Araignées 1 | Araignées 1 | | |
| Scarabées 0 | Scarabées 0 | | |
| Papillons 0 | Papillons 0 | | |
| Autres 1 | Autres 14 petits scarabées | | |
| TOTAL 4 | TOTAL 15 | | |
| FMD2 | | FHN2 | |
|  |  | | |
| Fourmis >50 | Fourmis 6 | | |
| Sauterelles 1 (en morceaux) | Sauterelles 0 | | |
| Araignées 2 | Araignées 0 | | |
| Scarabées 3 | Scarabées 0 | | |
| Papillons 0 | Papillons 0 | | |
| Autres 1 « fourmi » géante avec mandibules 1 punaise | Autres 6 petits scarabées 1 mini-scorpion | | |
| TOTAL 7 | TOTAL 7 | | |
| FMD3 | | FHN3 | |
|  |  | | |
| Fourmis >200 | Fourmis >50 | | |
| Sauterelles 8 | Sauterelles 8 | | |
| Araignées 5 | Araignées 3 | | |
| Scarabées 1 | Scarabées 0 | | |
| Papillons 0 | Papillons 1 | | |
| Autres 1 truc ailé orange 2 mini-sauterelles 1 mini dragon à fils | Autres 5 fourmi géante avec mandibules 1 mille-pattes perce-oreille (blanc-jaune) 6 petits scarabées 2 chenilles | | |
| TOTAL 18 | TOTAL 26 | | |
| FMD4 | | FHN4 | |
|  |  | | |
| Fourmis 7 | Fourmis 17 | | |
| Sauterelles 11 | Sauterelles 10 | | |
| Araignées 1 | Araignées 8 | | |
| Scarabées 1 | Scarabées 0 | | |
| Papillons 0 | Papillons 1 | | |
| Autres 1 mini sauterelle 1 chenille 1 petits scarabées 1 truc fin blanc à antennes | Autres 7 petits scarabées 4 mini-sauterelles 3 divers | | |
| TOTAL 17 | TOTAL 33 | | |

| FMD5 | | FHN5 | |
|---|--|---|--|
|  | |  | |
| Fourmis | 5 | Fourmis | >20 |
| Sauterelles | 7 | Sauterelles | 3 |
| Araignées | 3 | Araignées | 5 |
| Scarabées | 0 | Scarabées | 0 |
| Papillons | 0 | Papillons | 1 |
| Autres | 1 mille-pattes 2 petits scarabées 2 mini-sauterelles | Autres | 7 petits scarabées 1 mouche 7 divers |
| TOTAL | 15 | TOTAL | 24 |
| FMD6 | | | |
| Fourmis | 5 | | |
| Sauterelles | 0 | | |
| Araignées | 1 | | |
| Scarabées | 0 | | |
| Papillons | 0 | | |
| Autres | 9 petits scarabées | | |
| TOTAL | 15 | | |

| FMD7 | | FHN7 | |
|---|--|--|--|
|  | |  | |
| Fourmis | 8 | Fourmis | >20 |
| Sauterelles | 1 | Sauterelles | 5 |
| Araignées | 1 | Araignées | 3 |
| Scarabées | 0 | Scarabées | 3 (petits) |
| Papillons | 0 | Papillons | 0 |
| Autres | 4 petits scarabées | Autres | 7 mini-sauterelles |
| TOTAL | 6 | TOTAL | 18 |
| FMD8 | | FHN8 | |
|  | |  | |
| Fourmis | >10 | Fourmis | >20 |
| Sauterelles | 10 | Sauterelles | 8 |
| Araignées | 1 | Araignées | 2 |
| Scarabées | 3 | Scarabées | 0 |
| Papillons | 0 | Papillons | 1 |
| Autres | 6 petits scarabées 2 petit mille-pattes | Autres | 2 petits scarabées 2 mini sauterelles |
| TOTAL | 22 | TOTAL | 15 |

| FHA9 | FHN9 |
|---|---|
|  |  |
| Fourmis 7 | Fourmis >50 |
| Sauterelles 0 | Sauterelles 1 (vrai, autres avant sûrement criquets) |
| Araignées 1 | Araignées 8 |
| Scarabées 1 | Scarabées 8 (petits) |
| Papillons 0 | Papillons 0 |
| Autres 4 petits scarabées 1 mille-pattes perce-oreille | Autres 2 mini sauterelles |
| TOTAL 7 | TOTAL 19 |

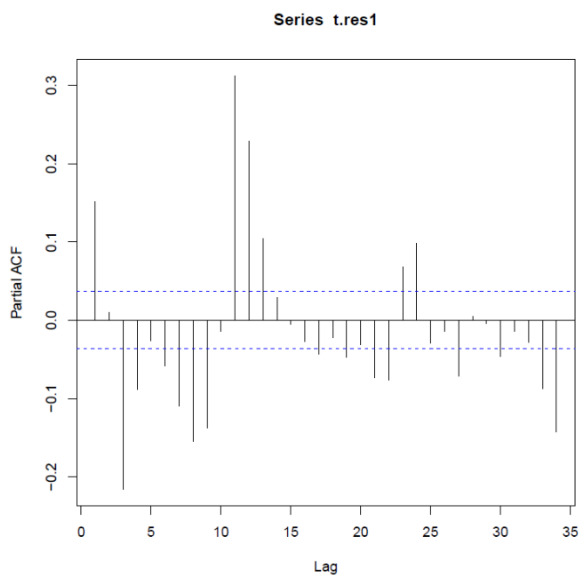
E. Plots diagnostique analyse statistique R

Température du sol août 2021

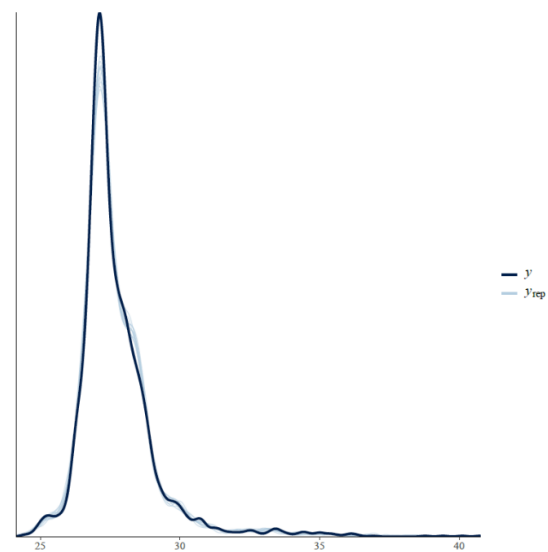
Partial ACF vs Lag : La forme de ce graphique de vérification est optimale si toutes les barres sont situées dans l'intervalle des lignes en traitsillés. Ici ce n'est pas complètement le cas mais les résultats restent valides.

Plot pp check : La courbe y correspond à la distribution des données de la variable réponse, tandis que la courbe y_{rep} correspond aux valeurs obtenues par simulation avec le modèle. Plus les courbes de y_{rep} correspondent à y , plus le modèle est adapté aux données et donc fiable. Ici le modèle est très bien adapté aux données. Il est donc d'une fiabilité élevée.

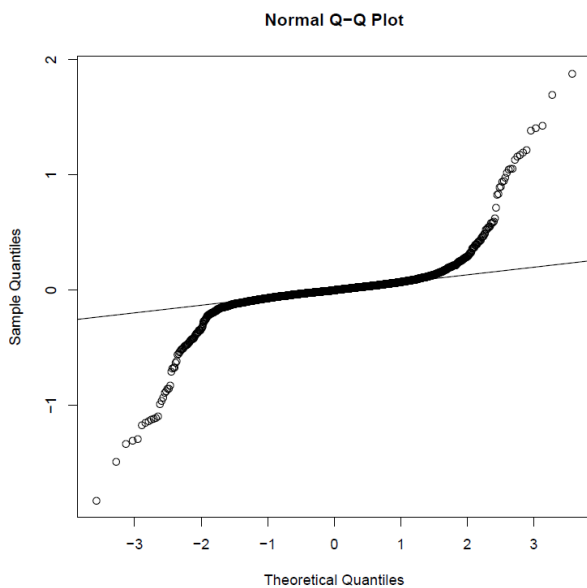
QQ plot : Le QQ plot montre la distribution des données en comparaison avec une distribution normale (ligne continue). Une situation optimale serait si les données suivent le plus possible une situation normale. Ici ce n'est pas exactement le cas les résultats restent valides.



A : Partial ACF vs Lag température du sol août 2021



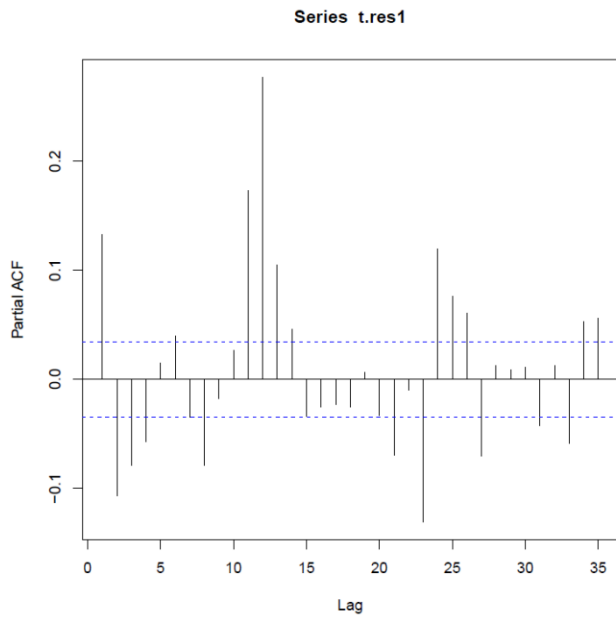
B : Plot pp check température du sol août 2021



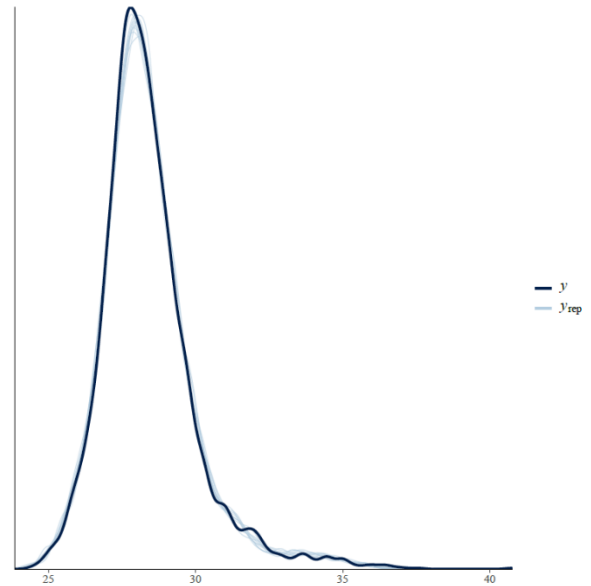
C : QQ plot température du sol août 2021

Température du sol septembre 2021

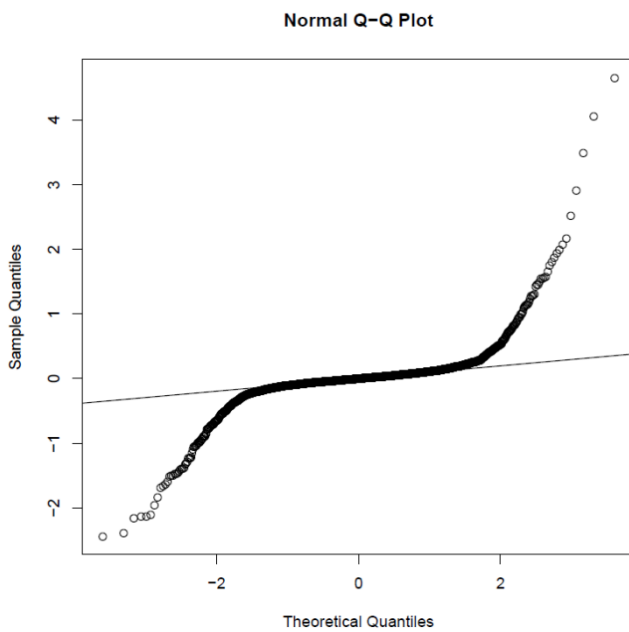
Explications similaires que pour celles du mois d'août



A : Partial ACF vs Lag température du sol septembre 2021



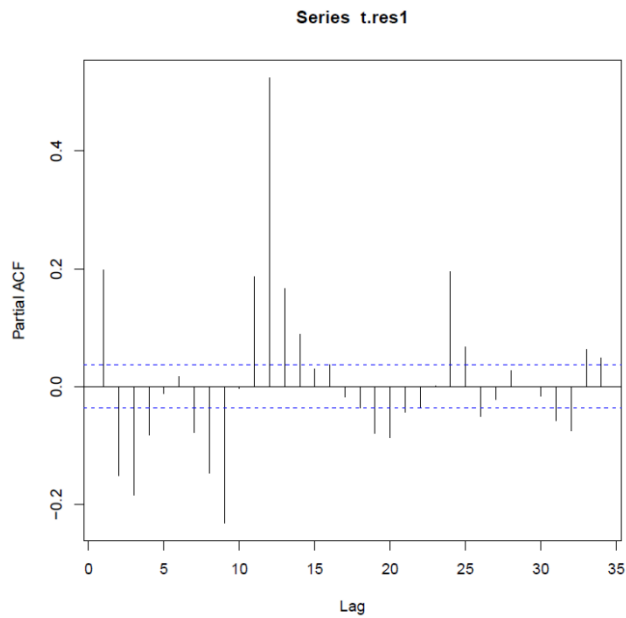
B : Plot pp check température du sol septembre 2021



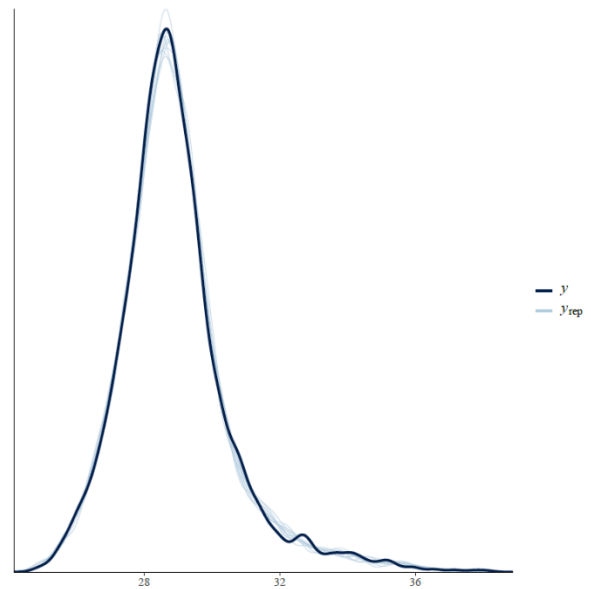
C : QQ plot température du sol septembre 2021

Température du sol octobre 2021

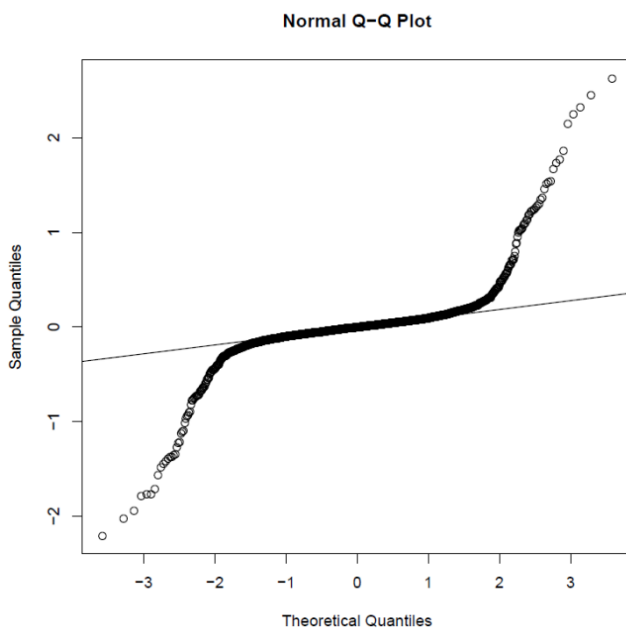
Explications similaires que pour celles du mois d'août



A : Partial ACF vs Lag température du sol octobre 2021



B : Plot pp check température du sol octobre 2021



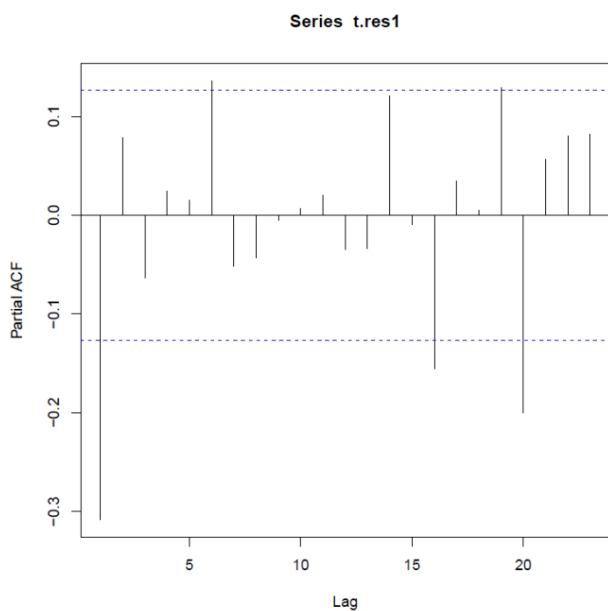
C : QQ plot température du sol octobre 2021

Humidité du sol (rétention d'eau) août 2021

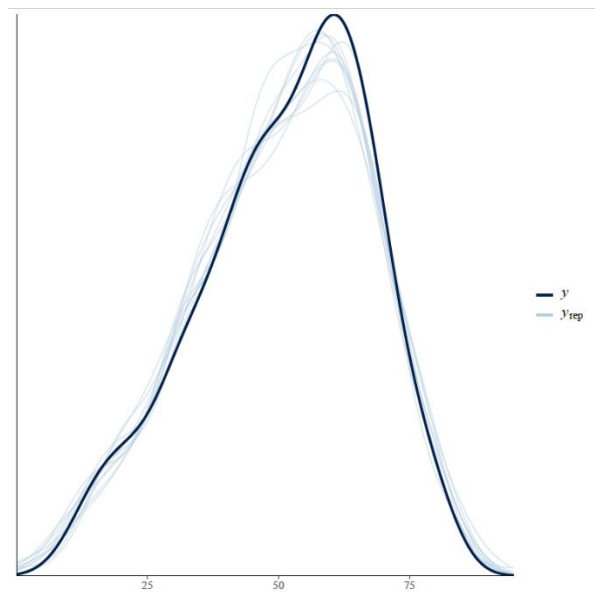
Partial ACF vs Lag : La forme de ce graphique de vérification est optimale si toutes les barres sont situées dans l'intervalle des lignes en traitsillés. Ici cette condition est presque parfaitement respectée.

Plot pp check : La courbe y correspond à la distribution des données de la variable réponse, tandis que la courbe y_{rep} correspond aux valeurs obtenues par simulation avec le modèle. Plus les courbes de y_{rep} correspondent à y , plus le modèle est adapté aux données et donc fiable. Ici le modèle est un peu moins fiable que pour les températures mais est toujours acceptable.

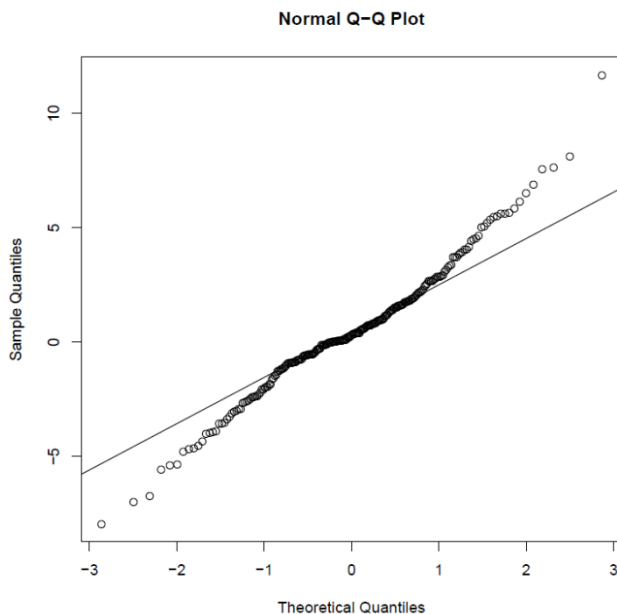
QQ plot : Le QQ plot montre la distribution des données en comparaison avec une distribution normale (ligne continue). Une situation optimale serait si les données suivent le plus possible une situation normale. Ici la distribution normale est mieux respectée que pour les températures, sans être parfaite. Mais elle est acceptable.



A : Partial ACF vs Lag humidité du sol août 2021



B : Plot pp check humidité e du sol août 2021



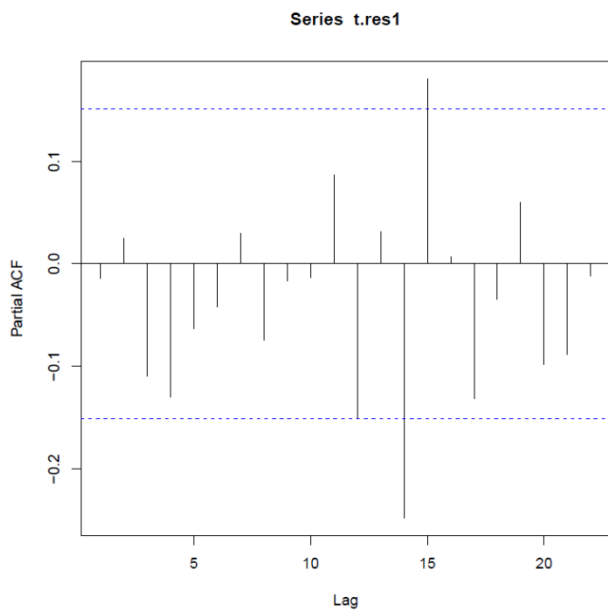
C : QQ plot humidité du sol août 2021

Humidité du sol (rétention d'eau) octobre 2021

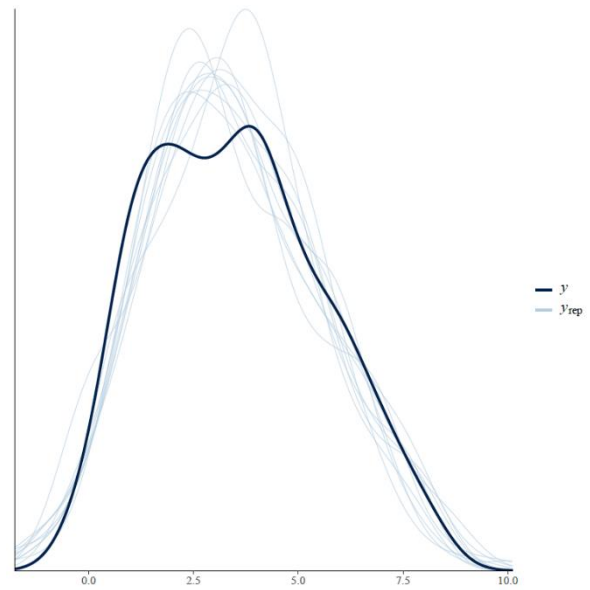
Partial ACF vs Lag : La forme de ce graphique de vérification est optimale si toutes les barres sont situées dans l'intervalle des lignes en traitsillés. Ici cette condition est presque parfaitement respectée.

Plot pp check : Pour ces données, le modèle est moins fiable que pour la première période (août). Mais cela reste toutefois acceptable.

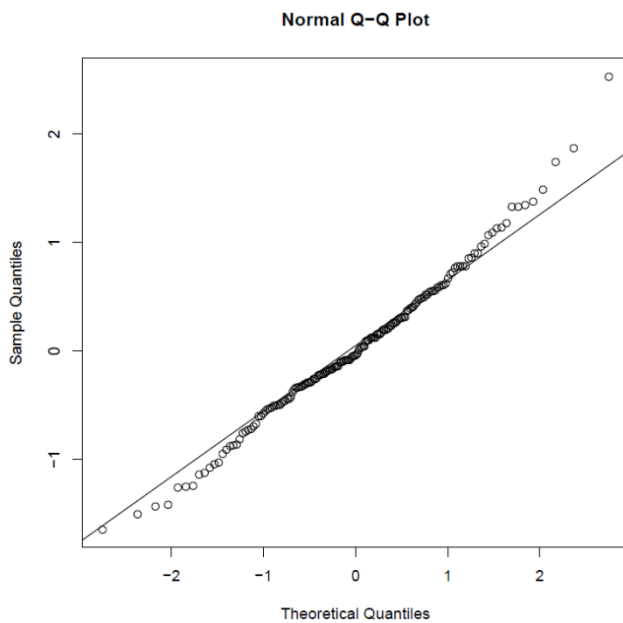
QQ plot : Ici la distribution normale est très bien respectée, les données suivent presque parfaitement la droite.



A : Partial ACF vs Lag humidité du sol octobre 2021



B : Plot pp check humidité du sol octobre 2021



C : QQ plot humidité du sol octobre 2021

F. Formulaire interview paysan-nes-s



Travail de bachelor
Célia Bühler
IL 2021

| Questionnaire agriculteurs-trices | | | |
|---|---|------------------------------|---|
| Date : | | Village : | |
| Fait partie du monitoring : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | | Code parcelle (monitoring) : | |
| 1 | Nom : Prénom : | Âge : | |
| 2 | Sexe : <input type="checkbox"/> femme <input type="checkbox"/> homme <input type="checkbox"/> autre | | |
| 3 | Taille du ménage Femmes Hommes Enfants < 12 ans | | |
| 4 | Niveau d'éducation le plus élevé achevé : <input type="checkbox"/> aucun <input type="checkbox"/> primaire <input type="checkbox"/> secondaire <input type="checkbox"/> apprentissage <input type="checkbox"/> lycée <input type="checkbox"/> université/haute école | | |
| Parcelles exploitées | | | |
| 5 | Combien de parcelles exploitez-vous ? | | |
| 6 | Parcelle n° | Surface | |
| | | | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre |
| | | | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre |
| | | | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre |
| | | | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre |
| | | | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre |

| Parcelle visitée | | | | | | | |
|---------------------|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 7 | Surface : | | | | | | |
| 8 | <input type="checkbox"/> possession <input type="checkbox"/> location <input type="checkbox"/> prêt <input type="checkbox"/> autre : | | | | | | |
| 9 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | |
| | | 1 ^{re} saison | 2 ^{me} saison | 1 ^{re} saison | 2 ^{me} saison | 1 ^{re} saison | 2 ^{me} saison |
| | Culture(s) et surface(s) | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | Problèmes Commentaires | | | | | | |
| Pratiques agricoles | | | | | | | |
| 10 | Est-ce que vous pratiquez une rotation des cultures ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <i>Si oui laquelle ?</i> | | | | | | |
| 11 | Comment décidez-vous quelles cultures vous allez semer pour chaque saison (1 ^{re} et 2 ^{me}) ? | | | | | | |
| 12 | Que faites-vous des résidus de récolte ? <input type="checkbox"/> Laissés sur place <input type="checkbox"/> Mis en tas <input type="checkbox"/> Brûlés <input type="checkbox"/> Déplacés hors du champ (.....) <input type="checkbox"/> Autre : | | | | | | |
| 13 | Est-ce que vous pratiquez le brûlis pour désherber vos champs ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Si oui, à quelle période de l'année ? | | | | | | |

| | |
|----|--|
| 14 | <p>Comment est-ce que vous évaluez la qualité de votre sol ?</p> <p><input type="checkbox"/> 1 excellente <input type="checkbox"/> bonne <input type="checkbox"/> satisfaisante <input type="checkbox"/> 4 mauvaise</p> <p>Qu'est-ce que vous observez pour juger de la qualité de vos sols ?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| 15 | <p>Quels sont les travaux que vous faites habituellement sur vos champs, pour toute l'année ? <i>Demander de réfléchir par ordre chronologique, faire une timeline des activités au cours du temps, notez les travaux du sol et les outils utilisés</i></p> |
| 16 | <p>Est-ce que vous désherbez votre/vos champ(s) ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> |
| 17 | <p>Combien de désherbage faites-vous par année ?</p> |
| 18 | <p>Que faites-vous des mauvaises herbes arrachées après le désherbage ?</p> <p><input type="checkbox"/> Laissées sur place</p> <p><input type="checkbox"/> Mises en tas</p> <p><input type="checkbox"/> Brûlées</p> <p><input type="checkbox"/> Déplacées hors du champ (.....)</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p> |
| 19 | <p>Est-ce que vous apportez du matériel organique (branches, feuilles, résidus, etc.) sur votre champ ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Si oui, lesquels ?</p> |
| 20 | <p>Est-ce que vous utilisez des engrais, minéraux et/ou organiques (déjections animaux p. ex.) ?</p> <p>Minéraux : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Organiques : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Si oui</p> <p>Type produit :</p> <p>Sur quelles cultures :</p> |
| 21 | <p>Est-ce que vous répandez la terre des termitières sur vos champs ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> |
| 22 | <p>Selon vous, est-ce que les termites ont un effet sur la qualité du sol ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Lequel ?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| 23 | <p>Est-ce que vous utilisez des produits phytosanitaires (pesticides/herbicides/fongicides) ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p><input type="checkbox"/> pesticide <input type="checkbox"/> herbicide <input type="checkbox"/> fongicide</p> <p>Si oui</p> <p>Type produit :</p> <p>Sur quelles cultures :</p> |

| Historique - Timeline | |
|-----------------------|--|
| 24 | Comment est-ce que les récoltes ont évoluées au cours de dernières années ? |
| 25 | Pour Donomadé uniquement Est-ce qu'il y a eu des événements particuliers au cours des dernières années ? P. ex. sécheresse, attaques de sauterelles/criquets, maladie spécifique, |
| 26 | Pour Donomadé uniquement Au niveau du village, sur quelles parcelles est-ce qu'il y a les meilleures récoltes habituellement ? |
| Paillage | |
| 27 | Est-ce que vous avez déjà entendu parler de la technique du paillage ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| 28 | Est-ce que vous pratiquez vous-même la technique du paillage ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| | Si oui |
| 29a | Depuis combien de temps pratiquez-vous le paillage ? |
| | Si non |
| 29b | Est-ce que vous connaissez des personnes qui pratiquent le paillage ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Est-ce qu'elles ces personnes sont contentes de cette méthode ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| 30a | Qui vous a initié au paillage ? <input type="checkbox"/> FeMoDo <input type="checkbox"/> Autre organisation <input type="checkbox"/> Famille <input type="checkbox"/> Voisins / membres communauté <input type="checkbox"/> Autre : |
| 30b | Selon vous, est-ce que le paillage est plutôt quelque chose de <input type="checkbox"/> positif <input type="checkbox"/> négatif <input type="checkbox"/> sans effet <input type="checkbox"/> je ne sais pas |
| 31a | Qu'est-ce qui vous a convaincu / motivé à mettre en place le paillage dans votre champ ? |
| 31b | Est-ce que vous seriez intéressés à essayer le paillage dans un de vos champs ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Pour quelles raisons ? |
| 32a | Quel matériel utilisez-vous pour faire le paillage ? <input type="checkbox"/> Herbes <input type="checkbox"/> Résidus de récolte <input type="checkbox"/> Autre : |
| 32b | Qu'est-ce qui vous motiverait/inciterait à mettre en place le paillage dans vos champs ? |

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| 33a | D'où provient le matériel que vous utilisez pour le paillage ? | 33b | Selon vous, quelle est la difficulté du paillage en termes de <u>travail</u> ? <input type="checkbox"/> 1 très facile <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 très difficile |
| 34a | !! Pour les questions suivantes (*), se rapporter à une parcelle précise et noter sa surface ici : | 34b | Quelle est la difficulté du paillage en termes de <u>connaissances</u> ? <input type="checkbox"/> 1 très facile <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 très difficile |
| 35a | * Combien de temps est-ce qu'il vous faut pour pailler votre parcelle ?..... | 35b | !! Pour les questions suivantes (*), se rapporter à une parcelle précise et noter sa surface ici : |
| 36a | * Combien de personnes travaillent pour faire le paillage ?..... | 36b | * Combien de temps est-ce qu'il vous faut pour un sarclage sur cette parcelle ?..... |
| 37a | * Combien de fois par années est-ce que vous renforcez le paillage ? | 37b | * Combien de personnes travaillent pour faire un sarclage ?..... |
| 38a | Quelle est la difficulté du paillage en termes de <u>travail</u> ? <input type="checkbox"/> 1 très facile <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 très difficile | 38b | * Combien de fois par années est-ce que vous sarcliez cette parcelle ? |
| 39a | Quelle est la difficulté du paillage en termes de <u>connaissances</u> ? <input type="checkbox"/> 1 très facile <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 très difficile | 39b | |
| 40a | Est-ce que vous avez observé un effet du paillage sur les rendements de vos cultures ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Si oui, dans quelle mesure (↗ ou ↘) ? | 40b | |

| | | | |
|-----|--|-----|--|
| 41a | <p>Est-ce que vous avez observé un effet du paillage sur la qualité de votre sol (couleur, vers de terre, humidité, ...)? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Si oui, dans quelle mesure (↗ ou ↘)?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | 41b | |
| 42a | <p>Est-ce que vous êtes satisfait de cette méthode? <input type="checkbox"/> 1 pas du tout satisfait <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 très satisfait</p> | 42b | |
| 43a | <p>Est-ce que vous rencontrez des difficultés particulières avec le paillage?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | 43b | |
| 44a | <p>Est-ce que vous prévoyez de pailler d'autres de vos champs? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | 44b | |
| 45a | <p>Est-ce que vous recommanderiez le paillage à d'autres agriculteurs? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | 45b | |
| 46 | <p>Est-ce qu'il y a encore quelque chose dont vous aimeriez me parler? Est-ce que vous avez quelque chose à ajouter?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | | |

G. Mandat

Mandat relatif à un travail étudiant

Type de travail :

- 1^{er} travail de semestre 2^e travail de semestre
 Travail de bachelor
 Travail de minor

Langue dans laquelle sera rédigé le travail :

- Allemand Français Anglais Autre : _____

Étudiant-e : Célia Bühler

Enseignant-e- responsable : Liv Kellermann

Intitulé provisoire du travail :

Monitoring du sol dans un système en permaculture au Togo

Contexte, sujet du travail :

De nombreux efforts dans la permaculture visent à préserver et à améliorer le sol. Le but est de préserver la structure en augmentant la matière organique, en couvrir le sol constamment avec du matériau de mulch et maintenir intacte par un faible mouvement du sol (Mollison and Holmgren 1984; Holmgren 2014; Weiseman et al. 2014; Sohy et al. 2017; Tombeur et al. 2018). Les éléments nutritifs doivent être fixés dans le système par les plantes (N) et une faune riche ou être désagrégé hors du matériel du sol (Sorensen and Thorup-Kristensen 2011). Après de nombreuses années d'observation et de travail avec le sol dans le cadre de projets de permaculture déjà en cours, les personnes impliquées signalent des changements visibles du sol (Kommunikation Ernst Götsch, Matthias Brück), les études scientifiques, cependant, sont exigeantes et encore rares. Des études individuelles sur les zones de permaculture à l'étranger, ainsi que des études sur d'autres systèmes de conservation des sols, ont déjà constaté un enrichissement en carbone organique/humus dans les couches supérieures du sol (Chervet et al. 2016; Seitz et al. 2017; Tombeur et al. 2018).

Question de recherche principale :

En quoi les propriétés importantes des sols diffèrent et se développent elles sur les terres agricoles gérées soit selon les principes de la permaculture, soit selon des méthodes traditionnelles (y compris la culture sur brûlis) ?

Objectif, résultat attendu :

- Revue de la littérature sur l'impact des méthodes d'agriculture régénératrice sur les sols tropicaux et l'évaluation de la structure des sols tropicaux ; état de l'art de la recherche en permaculture dans le monde.
- Mettre en place un monitoring des sols sous une forme reproductible : Compiler un ensemble de méthodes et documenter le travail sur le terrain afin qu'il puisse être répété après quelques années. Définir des points d'échantillonnage sur la FeMoDo et sur les fermes gérées de manière traditionnelle qui ne présentent pas de grandes variations dans les propriétés importantes du sol. Documentation de la traçabilité de ces points d'échantillonnage. Documentation sur la permaculture et les systèmes d'élevage traditionnels (travail du sol, rotation des cultures, fertilisation, etc. au moyen de revue de la littérature, d'interviews, de collaboration avec le projet post-doc).
- Échantillonnage, mesures sur le terrain de certaines propriétés du sol (spécifiées par la superviseure).
- Analyse statistique et présentation des résultats comparant les propriétés des sols en permaculture et dans les systèmes traditionnels.

Suggestions quant aux méthodes, aux sources bibliographiques ou à la démarche :

- Description pédologique des points de mesure (autonome) au moyen d'un sondage à la tarière hollandaise
- Séries de mesures de la température et de l'humidité du sol : 2x une phase plus longue avec des tensiomètres et des loggers de température (en grande partie de manière autonome)

- Structure du sol au moyen d'un test à la bêche et éventuellement densité au moyen d'un appareil de mesure manuel.
- Activité biologique au moyen de Bait Lamina et vers de terre au moyen d'une sélection manuelle
- Le pH, le Corg et les nutriments seront relevés dans le cadre du projet PostDoc, aide éventuelle

Délais et divers :

- Remise du PR1 : 7 juillet 2021
- Remise du travail complet : 6 décembre 2021

L'étudiant-e est informé-e du caractère contraignant des directives concernant les travaux de semestre, de bachelor et de minor.

Lieu et date : Zollikofen, le 04 mars 2021

Signature de l'enseignant-e responsable :



.....

Signature de l'étudiant-e :



.....

H. Annexe électronique

- Données des mesures du monitoring
- Interviews
- Formulaire des tests à la bêche
- Journal de terrain