



AGRO SCHOOL FOR LIFE
Agrapole – 23, rue Jean
Baldassini
69364 LYON cedex 07



Bureau 131, Dpt FOREN,
ESA, INP-HB,
Yamoussoukro



29 rue Imbert Colomès
69001 Lyon

Description et caractérisation de la perception de la qualité des sols par les producteurs de cacao

Approches comparées et outils de diagnostic pour accompagner les pratiques paysannes



Mémoire de fin d'études

Directeur du mémoire :

RULLIER Noémie

Chargée de projets **Nitidæ**

Et

NOTARO Martin

Agronome cacaoculture **CIRAD**

PARENT SIMON

Élève ingénieur Isara

Promotion 53

Tuteur pédagogique :

VIAN Jean-François

Ce document ayant été réalisé par des Elèves-Ingénieurs de l'ISARA dans le cadre d'une convention avec Nitidæ, toute mention, communication ou diffusion devra faire état du nom de l'auteur et de l'origine ISARA.

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier chaleureusement Martin Notaro, dont la présence sur le terrain a été précieuse. Merci de m'avoir accueilli et fait découvrir Yakro et ses magnifiques bâtiments hérités de FHB. Merci aussi pour ta bienveillance, ta disponibilité, et pour avoir tout fait, avec Joël, pour rendre mon séjour à Dibobly plus agréable.

Dans la même lignée, un grand merci à Rolande Ettien, ma « maman ivoirienne », pour avoir pris soin de toute la logistique sur le terrain avec une efficacité et une gentillesse remarquable. Ce fut un réel plaisir de partager un bureau et du temps à Adzopé avec toi.

Je souhaite également adresser un immense merci à Alice, Antoine et Lucas Veysman, de véritables broussards inspirants. Vos échanges passionnés sur nos travaux respectifs ont nourri ma réflexion et ont largement contribué à rendre cette expérience de terrain plus riche et plus agréable.

Merci à Jeff pour ton intérêt contagieux pour la pédologie et ton suivi à distance. J'espère que nous aurons bientôt l'occasion de creuser des trous ensemble en Côte d'Ivoire. Merci également aux autres enseignants de l'ISARA, Hélène et Vincent, pour leur contribution à ce mémoire.

Un grand merci à Noémie Rullier, sans qui ce stage n'aurait pas été possible, pour son accueil enthousiaste au sein de Nitidæ, pour avoir partagé son bureau avec moi et surtout pour m'avoir supporté pendant tout mon temps à Lyon.

Je tiens aussi à remercier sincèrement Rolex, Janvier et Jules — pilotes, guides, traducteurs, et compagnons de discussions — sans qui le travail de terrain n'aurait pas pu avoir lieu. Vous m'avez permis de découvrir la culture, les coutumes, et même la botanique locale. Les longues discussions à moto ont transformé nos nombreux trajets en moments privilégiés.

Une mention toute particulière à mes tuteurs/trices : Sylvie, Mobio et Hortense, pour leur accueil si chaleureux au village. Merci de m'avoir hébergé, entouré, et chouchouté comme si j'étais chez moi. Merci également aux membres de vos entourages et de vos cours pour leur gentillesse et leur bienveillance.

Enfin, un grand merci à toute l'équipe de Nitidæ pour son accueil si chaleureux, que ce soit à Lyon, Montpellier ou en Côte d'Ivoire. Merci à Pierre et ses anacardiens, Valérie et ses bières maison, Apolline et ses femmes productrices de manioc, Anne et son vélo, Bertrand et ses razzias de nourriture, Cédric et ses bruitages, Alex et sa bienveillance, Clovis et son intérêt pour la pédologie, Béatriz et son expertise en spectroscopie, Renaud et ses discussions autour d'un bon tchep, ainsi qu'à Stan, Boris, Herman, Jean et Zongo pour m'avoir fait découvrir Adzopé.

Merci aux membres du GIS CacaoForest et à leur appui financier qui a rendu cette étude possible.

Un dernier merci, mais pas des moindres, pour mes proches qui m'ont soutenu dans toute mes aventures depuis le début de l'ISARA.

Table des matières

1.	Introduction de l'étude.....	1
1.1.	Etat de l'art	1
1.1.1.	Histoire de la cacao culture en côte d'ivoire	1
1.1.2.	Impact de la cacaoculture sur la fertilité des sols	2
1.1.3.	Les indicateurs techniques scientifiques pour appréhender la fertilité des sols ..	2
1.1.4.	Indicateurs empiriques des agriculteurs.....	3
1.1.5.	Différences et convergences entre agriculteurs et scientifiques	3
1.1.6.	Construire un « objet-frontière » pour une évaluation partagée	4
1.2.	Présentation du commanditaire et du projet.....	4
1.2.1.	Nitidæ	4
1.2.2.	Le projet CacaoForest	5
1.3.	Problématiques et objectifs de cette étude	5
2.	Matériel & Méthode.....	7
2.1.	Description du site d'étude.....	7
2.2.	Description des systèmes de cultures cacaoyers : échantillonnage des producteurs enquêtés et plantations observées.....	10
2.3.	Collecte des données	10
2.3.1.	Perception des producteurs.....	10
2.3.2.	Diagnostic agropédologique	11
2.4.	Analyse des données	17
2.5.	Abréviations et expression.....	19
3.	Résultats et interprétations	20
3.1.	Description de l'échantillon et des systèmes de culture	20
3.2.	Perception paysanne de la qualité des sols	23
3.2.1.	Représentation du sol.....	23
3.2.2.	Origine et utilité du sol.....	24
3.3.	Indicateurs empiriques utilisés par les producteurs	25
3.3.1.	Caractéristiques perçues d'un bon sol en général.....	25
3.3.2.	Caractéristiques perçues d'un mauvais sol en général.....	28
3.3.3.	Connaissance de leur parcelle et pratiques de gestion	30
3.4.	Comparaison avec le diagnostic agropédologique.....	33
3.4.1.	Zones identifiées par le producteur	33
3.4.2.	Modèle prédictif	37

3.5.	Discrimination des systèmes de culture.....	39
4.	Discussion Générale.....	40
4.1.	Convergence ou divergence.....	40
4.2.	Utilité des indicateurs	42
4.3.	Limites méthodologiques du protocole	42
4.4.	Recommandations	44
5.	Conclusion.....	50
5.1.	Réponse à la problématique.....	50
5.2.	Valeurs d'ingénieur	50
6.	QVT.....	51
7.	Bibliographie	53
8.	Annexe	57

1. Introduction de l'étude

Dans les systèmes de culture cacaoyers de Côte d'Ivoire, l'état des sols est aujourd'hui un enjeu central. La généralisation de pratiques intensives, souvent peu soucieuses de la durabilité, soulève des inquiétudes quant à une possible dégradation progressive de la fertilité des sols : perte de matière organique, tassement, déséquilibres structuraux ou chimiques. Pourtant, le degré et les formes de cette dégradation restent encore mal caractérisés, en particulier à l'échelle fine des parcelles.

Il devient essentiel de mieux comprendre les processus en jeu pour accompagner les transitions agroécologiques. Si les approches scientifiques permettent de mesurer avec précision certains paramètres physiques, chimiques ou biologiques des sols, elles peinent encore à s'imposer sur le terrain en raison de leur complexité, de leur coût, ou de leur faible appropriation par les producteurs. À l'inverse, les producteurs mobilisent au quotidien des indicateurs empiriques issus de leur expérience mais peu formalisés.

C'est dans cette perspective qu'est menée cette étude : croiser les savoirs paysans et les diagnostics agropédologiques pour mieux qualifier la qualité des sols dans les plantations de cacao. L'objectif de cette étude est de documenter les critères mobilisés par les producteurs pour juger de la qualité d'un sol, puis de confronter ces perceptions à une analyse technique réalisée sur les mêmes zones pour en ressortir des convergences et/ou divergences.

Cette étude est inscrite dans une ambition plus large de co-construire des outils sols partagés, simples et adaptés aux réalités du terrain, afin de renforcer la capacité des producteurs, coopératives et techniciens agricoles à évaluer la qualité des sols et d'identifier les leviers techniques à mobiliser.

1.1. Etat de l'art

1.1.1. Histoire de la cacao culture en côte d'ivoire

Le cacao est l'« or brun » de la Côte d'Ivoire, moteur essentiel de son développement économique et social. Premier producteur mondial, le pays assure 42 % de l'offre globale (FAO, 2024), impliquant plus d'un million de planteurs et représentant plus de 15 % du PIB ainsi que 50 % des recettes d'exportation (Bakari *et al.*, 2023). Cependant, cette prospérité repose sur un modèle agricole qui a profondément transformé les écosystèmes forestiers.

Introduite à la fin du XIX^e siècle, la culture du cacao s'est d'abord développée dans l'Est du pays avant de migrer vers l'Ouest, suivant la disponibilité des forêts. Ce déplacement a été largement alimenté par l'exploitation de la « rente forestière », c'est-à-dire la fertilité naturelle des sols forestiers récemment défrichés, qui offrent des conditions favorables à la cacaoculture : richesse en nutriments, faible pression des adventices et des maladies, ainsi qu'un microclimat bénéfique (Ruf *et al.*, 2015). Plutôt que de replanter sur les mêmes terres, ce qui nécessite des investissements en fertilisation et en gestion des sols, ils est moins risqué pour les producteurs d'ouvrir de nouvelles parcelles, alimentant ainsi un front pionnier agricole déforesteur (Ruf *et al.*, 2015).

1.1.2. Impact de la cacaoculture sur la fertilité des sols

Les sols cultivés en cacaoyère présentent fréquemment une acidification progressive, une réduction de la teneur en matière organique, ainsi qu'un appauvrissement en éléments nutritifs essentiels tels que le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Ces évolutions résultent d'une exportation continue des nutriments par les récoltes, sans apport compensatoire suffisant (Snoeck, Dubos, 2018). Une étude comparative entre les sols forestiers et les sols cultivés sous cacaoyère en Côte d'Ivoire, au Ghana et au Cameroun a montré une nette dégradation des stocks de carbone organique et une acidification des sols sous culture intensive (Snoeck *et al.*, 2016).

L'épuisement des sols et l'absence d'un plan de fertilisation adapté compromettent la durabilité de la filière. Des recherches récentes montrent que des approches intégrées, telles que l'utilisation de formules d'engrais spécifiques aux types de sols et l'adoption de systèmes agroforestiers, peuvent contribuer à améliorer la santé des sols et à réduire la dépendance à la « rente forestière » (Snoeck, Dubos, 2018).

Le suivi de la fertilité des sols est donc crucial pour maintenir la productivité du cacao en y adaptant les pratiques. Les diagnostics agropédologiques classiques jouent un rôle essentiel dans cette démarche en fournissant une évaluation grâce à des indicateurs de propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

1.1.3. Les indicateurs techniques scientifiques pour appréhender la fertilité des sols

Dans leur analyse, Bünemann *et al.*, (2018) ont examiné la fréquence des indicateurs de qualité des sols utilisés dans la littérature scientifique. Cette étude met en évidence une grande diversité d'indicateurs mobilisés par les chercheurs, reflétant une pluralité d'approches et d'objectifs. Toutefois, cette variabilité complique l'élaboration d'un référentiel standardisé pour évaluer la qualité des sols, comme le souligne également Cousin *et al.*, (2025).

Les indicateurs peuvent être de plusieurs catégories :

- Indicateurs physiques : la densité apparente, la porosité, la stabilité structurale et la rétention d'eau, influencés par les pratiques agricoles et les conditions environnementales.
- Indicateurs chimiques : le pH, la teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique (CEC) et les niveaux de nutriments comme l'azote, le phosphore et le potassium, qui varient en fonction des apports de fertilisants, du type de sol et de la gestion des cultures.
- Indicateurs biologiques : en plein essor avec la microbiologie environnementale, incluant l'activité enzymatique (ex. β -glucosidase, uréase), la biomasse microbienne et la diversité de la faune du sol (nématodes, lombriciens). Ces indicateurs sont particulièrement sensibles aux variations des conditions du sol, compliquant leur standardisation.

Ainsi, bien que les indicateurs scientifiques permettent une évaluation fine de la qualité des sols, la grande variabilité de ces indicateurs et des protocoles freine encore la mise en place d'un protocole commun.

1.1.4. Indicateurs empiriques des agriculteurs

La majorité des travaux sur la perception des agriculteurs de leurs sols et leurs indicateurs ont été menés dans des pays du Sud (Huynh *et al.*, 2020). Ces études confrontent les évaluations empiriques des agriculteurs aux analyses scientifiques réalisées en laboratoire ou sur le terrain.

De manière général en Afrique, les agriculteurs jugent la qualité des sols principalement selon :

- La couleur du sol,
- La vigueur des cultures,
- La présence de plantes indicatrices,
- Les caractéristiques physiques du sol (texture, compactage, facilité de travail).

Ainsi, au Rwanda, une enquête a identifié douze indicateurs principaux, dont la présence de plantes indicatrices (51 espèces différenciées) et la texture évaluée manuellement (Kuria *et al.*, 2019). Au Ghana, les agriculteurs prennent en compte l'épaisseur du sol et son compactage (Ansong Omari *et al.*, 2018). Au Cameroun, les producteurs de cacao considèrent le rendement, la couleur du sol, la facilité du travail du sol et la composition florale comme des indicateurs clés (Kenfack Essougong *et al.*, 2020). Une étude menée au Bénin (Saïdou *et al.*, 2004) montre que les noms de sol utilisés par les agriculteurs reflètent la couleur, la texture, la grossièreté et les qualités hydrologiques ou la maniabilité du sol. Le nom donné au sol permet d'indiquer aux agriculteurs le type de gestion du sol requis.

Les indicateurs non sensoriels, tels que la composition chimique du sol ou l'abondance des micro-organismes, sont rarement pris en compte car difficilement évaluable sans analyses de laboratoire. En Côte d'Ivoire, l'accès limité à ces techniques constitue un frein à l'évaluation précise de la qualité des sols par les producteurs. A cela s'ajoute le fait que les indicateurs ou les perceptions ne soient pas partagés entre agriculteur ou avec les scientifiques.

1.1.5. Différences et convergences entre agriculteurs et scientifiques

Selon Compagnone *et al.*, (2013), la perception des sols varie selon les types d'agriculture (conventionnelle, conservation, biologique). Une transformation de ces conceptions et perceptions est d'ailleurs identifiée chez les agriculteurs qui passent à des modèles d'agriculture alternatifs, comme l'agriculture de conservation ou l'agriculture biologique (Compagnone, Pribetich, 2017).

Les chercheurs considèrent souvent les indicateurs empiriques comme imprécis, tandis que les agriculteurs jugent les indicateurs scientifiques peu opérationnels (Coll *et al.*, 2012). Cette différence de perception freine l'adoption de pratiques de conservation des sols (Delgado, Stoorvogel, 2022). Les agriculteurs s'appuient sur un savoir empirique, tandis que les conseillers techniques adoptent une approche analytique (Ingram *et al.*, 2010).

Cependant, certaines études montrent des convergences. (Rekik *et al.*, 2020) ont démontré que, malgré des méthodes d'évaluation différentes, les producteurs de café classaient correctement

les sols déterminés comme fertiles ou non fertiles par des mesures techniques. Hermans *et al.*, (2021) ont tenté d'associer les approches empiriques et scientifiques, soulignant que les jugements des agriculteurs sont souvent en accord avec ceux des chercheurs.

Berazneva *et al.* (2018) ont mené une étude comparative en Afrique de l'Est entre les perceptions paysannes de la fertilité des sols et les mesures scientifiques. Cette étude met en lumière que les divergences relèvent d'un cadre d'analyse distinct. Les producteurs interprètent les sols à travers leur capacité à produire, tandis que les chercheurs se basent sur des paramètres physico-chimiques. En intégrant les deux approches, il est possible de mieux cerner les dimensions à la fois objectives et fonctionnelles de la fertilité perçue.

1.1.6. Construire un « objet-frontière » pour une évaluation partagée

Les travaux de Hansson (2019) montrent que les expérimentations menées par les agriculteurs répondent à une logique méthodologique rigoureuse fondée sur l'action qui visent à tester concrètement des pratiques agricoles dans des contextes locaux précis. Les expérimentations paysannes sont massivement répliquées et adaptées aux conditions locales, ce qui leur confère une robustesse pratique. Elles ne cherchent pas à produire des lois générales mais à répondre à des besoins concrets. Ainsi, les expériences scientifiques et paysannes apparaissent comme deux modes expérimentales complémentaires.

Dans ce contexte, la notion d'objet-frontière (Trompette, Vinck, 2009) pourrait permettre une meilleure coordination entre scientifiques et agriculteurs. Un objet-frontière est un outil commun adaptable aux besoins de différents acteurs, facilitant la communication et la collaboration. Appliquer ce concept à l'évaluation des sols permettrait de développer des indicateurs conjoints, rigoureux scientifiquement tout en restant accessibles aux agriculteurs. Cette démarche renforcerait l'acceptabilité des recommandations agronomiques en impliquant directement les producteurs dans la conception des outils d'évaluation.

Dans cette optique, la méthodologie de coproduction décolonisée du savoir (CDS) (Roué, 2024), développée par Marie Roué et Douglas Nakashima, propose un dialogue respectueux entre scientifiques et agriculteurs. Ce modèle reconnaît que chaque système de savoirs repose sur des cosmologies et épistémologies distinctes, façonnées par les modes de vie et l'organisation sociale. L'objectif est d'identifier les correspondances, dissonances et complémentarités entre ces visions, sans chercher à valider l'une par rapport à l'autre ni à extraire certains éléments d'un savoir tout en rejetant le reste. Une telle approche permettrait une évaluation des sols plus inclusive et adaptée aux réalités locales.

1.2. Présentation du commanditaire et du projet

1.2.1. Nitidæ

Nitidæ est une association à but non lucratif, issue de la fusion en 2017 de deux structures : Rongead et Etc Terra. Fondée en 1983, Rongead se consacrait à l'amélioration des filières agroalimentaires, avec pour objectif d'accroître les revenus des producteurs et la valeur ajoutée au sein des territoires d'intervention. De son côté, Etc Terra, créée en 2012, menait des actions de terrain visant à concilier gestion durable des ressources naturelles et dynamisme économique dans les zones rurales. Nitidæ a donc pour mission de concevoir, développer et mettre en œuvre

des projets alliant protection de l'environnement et développement des économies locales *via* des filières durables.

1.2.2. Le projet CacaoForest

Nitidæ assure la coordination du projet CacaoForest Côte d'Ivoire (CI), une initiative inspirée du programme initialement développé en République dominicaine. Ce projet a pour objectif de rendre la culture du cacao plus durable, en conciliant la préservation de l'environnement avec l'amélioration des conditions de vie des producteurs.

Le projet est soutenu par le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) CacaoForest, financé par le fonds de dotation Terra Isara, et rassemble un consortium d'acteurs clés de la filière cacao. Il associe notamment des chocolatiers français (Valrhona, Révillon, Maison du Chocolat...), des institutions scientifiques (CIRAD, ISARA, ESA-INPHB) et des ONG. Cette dynamique collective permet de mutualiser expertises techniques, savoirs scientifiques et retours de terrain.

Cette étude s'inscrit dans l'objectif 2 du projet CacaoForest CI qui vise à accélérer la restauration des sols des plantations de cacao à travers une approche participative de recherche-action. Ce volet part d'un constat : les sols sont rarement intégrés aux accompagnements agroforestiers. Les connaissances disponibles sur la fertilité des sols cacaoyers restent très lacunaires, et les outils de diagnostic peu, voir pas développés.

L'ambition est donc de remettre la santé des sols au cœur des stratégies de transition agroforestière, en développant plusieurs outils et actions :

- Un outil d'observation du sol permettant d'en décrire simplement les grandes propriétés ;
- Un outil de diagnostic participatif, intégrant les savoirs paysans, pour identifier les contraintes de production liées au sol ;
- Des expérimentations de pratiques culturelles restauratrices testées directement en conditions réelles *via* un réseau de parcelles d'apprentissage.

L'ensemble de ces travaux adopte une démarche de co-construction avec les producteurs, valorisant leurs perceptions et pratiques. Il s'agit de créer un réseau d'apprentissage local, capable de produire et diffuser des solutions adaptées, tout en renforçant les capacités des producteurs à prendre des décisions éclairées.

Ce dispositif s'inscrit dans la continuité d'autres projets menés par Nitidæ, notamment le programme Terri4Sol centré sur la restauration du carbone organique des sols. Ce projet fournit à CacaoForest des outils, comme un spectromètre infrarouge portable permettant une estimation rapide du carbone et de l'azote dans les sols.

Enfin, deux coopératives partenaires du GIS ont été sélectionnées pour réaliser cette étude : CAPEDIG (fournissant Valrhona), PCBM (fournissant Ecotone).

1.3. Problématiques et objectifs de cette étude

Dans ce contexte, cette étude s'inscrit dans une démarche de croisement des savoirs entre approches scientifiques et perceptions paysannes. Elle vise à mieux comprendre comment les producteurs de cacao perçoivent la qualité de leurs sols, à travers les indicateurs qu'ils

mobilisent et les termes qu'ils emploient pour qualifier un sol comme étant « bon », « mauvais » ou encore « fatigué ». En d'autres termes : **qu'est-ce qu'un « bon sol » pour un producteur de cacao ? Quels signes ou critères observe-t-il pour juger de la qualité d'un sol ?** Et comment ces critères peuvent-ils être caractérisés, voire objectivés sur le terrain ?

L'ambition est double : d'une part, identifier et analyser les critères empiriques utilisés par les producteurs pour qualifier la fertilité de leurs sols ; d'autre part, développer un protocole de caractérisation agropédologique capable de rendre compte de ces perceptions, en s'appuyant sur des indicateurs observables et reproductibles. Cette double approche permettra d'évaluer les convergences ou divergences entre lecture paysanne et diagnostic technique, et, *in fine*, de proposer un outil d'évaluation partagé et accessible.

Ainsi, les principales questions de recherche sont les suivantes :

- Comment les producteurs de cacao perçoivent-ils et qualifient-ils la qualité de leurs sols ?
- Quels indicateurs mobilisent-ils pour différencier des sols dits « bons » ou « mauvais » ?
- Ces perceptions sont-elles en accord, partiellement ou non, avec une lecture agropédologique plus « classique » ?
- Est-ce que ces indicateurs empiriques et/ou technique discriminent-ils des systèmes de culture ?

Les objectifs opérationnels de cette étude sont donc :

- Élaborer une trame d'entretien pour recueillir les perceptions paysannes et les critères qu'ils mobilisent ;
- Construire un protocole de diagnostic agropédologique basé sur des indicateurs simples et adaptés au terrain ;
- Tester et comparer les deux approches (paysanne et scientifique) sur des zones identiques afin d'évaluer leurs concordances et dissonances.
- Comparer les indicateurs empiriques et/ou technique en fonction des systèmes de culture identifiés

2. Matériel & Méthode

2.1. Description du site d'étude

L'objectif principal de l'étude étant de confronter les savoirs empiriques des producteurs à des indicateurs issus des sciences pédologiques, simples à mobiliser avec les acteurs de terrain.

Deux zones d'étude ont été sélectionnées en Côte d'Ivoire pour leur contraste agropédologique et leur représentativité dans la diversité des systèmes cacaoyers du pays : une zone à l'est et une zone à l'ouest du territoire. Ces zones ont été choisies en raison de leur différence d'ancienneté et de conduite de plantations, susceptible d'influencer l'état des sols.

Deux régions ont été retenues (figure 2) pour la collecte des données et la construction du protocole :

- La région de la Mé, située à l'est, caractérisée par la présence de systèmes agroforestiers diversifiés (SAF), où les cacaoyers sont anciens et coexistent avec des densités et une diversité d'essences d'arbres relativement élevées ;
- La région du Guémon, à l'ouest, où prédominent des plantations de cacaoyers récentes présentant une faible densité et diversité d'espèces d'arbres associés, avec la présence de systèmes dits de « plein soleil ».

La diversité des producteurs, marquée par des pratiques contrastées en matière de conduite des plantations et de systèmes de culture cacaoyers, fait de ces deux zones un terrain d'étude pertinent pour analyser les convergences et divergences entre les diagnostics paysans et les diagnostics techniques.

Le choix de ces régions repose également sur des considérations pratiques et logistiques. La présence de l'ONG Nitidæ, avec une équipe locale ayant une bonne connaissance des zones d'étude, facilite l'organisation du travail de terrain auprès des producteurs. Pour des raisons d'efficacité et de faisabilité, toutes les parcelles retenues pour cette étude ont été sélectionnées parmi celles déjà intégrées, actuellement ou dans le passé, dans des projets menés par Nitidæ.

Les deux régions sont toutes deux traversées par quatre saisons : une saison humide de mars à juin, suivie d'une petite saison sèche en juillet et août. Une nouvelle saison des pluies reprend entre septembre et novembre, avant une saison sèche plus longue et plus marquée de décembre à mars.

La région du Guémon est située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire dans le district des Montagnes et s'étale sur 6 695 km². La température annuelle moyenne est de 25,5 °C (min 20,5 °C et max 30,5 °C) et une pluviométrie annuelle moyenne de 1 655 mm/an (min 1064 mm/an et max 2031mm/an – calculé sur les 20 dernières années)(Figure 1) (World Bank Group, 2025). La surface de cacao dans la zone du Guémon en 2020 est de plus de 720 000 ha (BNETD, 2020), pour une production de plus de 280 000 t de cacao (CCC, 2017-2020).

La région de la Mé est localisée dans le district des Lagunes dans le sud et en occupe 8237 km². La température annuelle y est de 27,1 °C (min 23,1 °C et max 31,2 °C) et la pluviométrie annuelle s'élève à 1 399,2 mm (Figure 1)(World Bank Group, 2025). Elle se caractérise par de nombreux

bas-fonds et collines dont l'altitude moyenne est de 100 m. La surface de cacao dans la région de la Mé en 2020 est de plus de 870 000 ha (BNETD, 2020), pour une production de 55 000 t de cacao (CCC, 2017-2020).

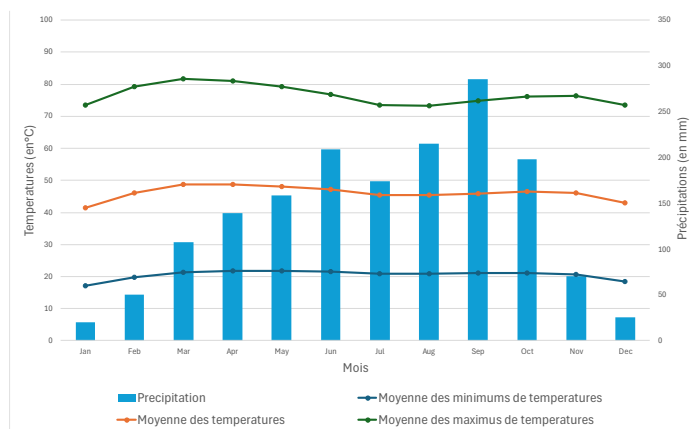
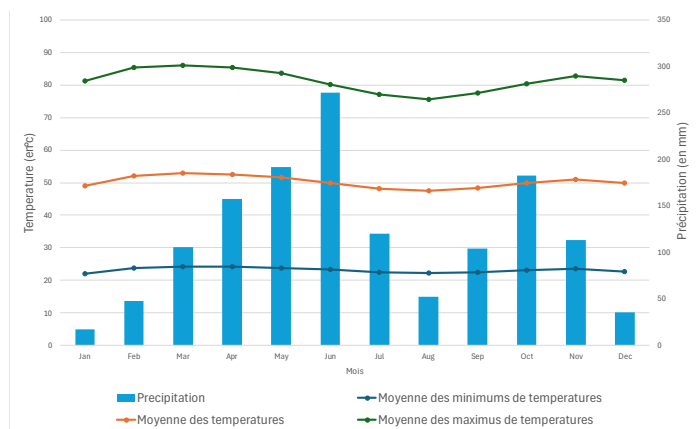


Figure 1: Diagramme ombrothermique du district des lagunes (gauche) et du district des montagnes (droite) (World Bank Group, 2025)

Les deux zones d'étude se trouvent sur des sols ferrallitiques sur base de schistes ou de granites (Figure 2), qui présentent un pH modérément acide (5,3 à 6,5), une CEC de 5 à 8 meq/100g. Leur texture est généralement Argileuse à Sablo-argileuse, une couleur entre le rouge et le brun. La minéralisation y est assez rapide à cause de la forte teneur en oxydes de fer. Ils permettent de bonnes productions des cultures tropicales comme le cacaoyer, le caféier ou la banane, selon les conditions locales en termes de granulométrie et de profondeur du sol (International Union of Soil Sciences, 2022; Dabin *et al.*, 1960).

Dans la région de la Mé, les deux villages de Diasson et Mébifon, proches du chef-lieu Adzopé ont été choisis car Nitidæ y intervient depuis longtemps. Dans la région du Guémon, les trois villages d'Allakabo, Greiko et Dioulabougou, proches de Dibobly ont été choisis. En plus de cela les producteurs de ces villages font partie de coopératives CAPEDIG et PCBM sélectionnés pour débiter le projet.

Légende

SOLS FERRALLITIQUES

SOLS FERRALLITIQUES FORTEMENT DÉSATURÉS

- Sols appauvris (en argile)
- Sols remaniés
- Sols remaniés et appauvris
- Sols remaniés et rajeunis
- Sols remaniés et indurés
- Sols remaniés ou typiques
- Sols typiques (ou rajeunis)

SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DÉSATURÉS ET/OU FAIBLEMENT DÉSATURÉS

- Sols remaniés
- Sols remaniés et appauvris
- Sols remaniés et rajeunis
- Sols remaniés à recouvrement
- Sols remaniés faiblement indurés et appauvris
- Sols remaniés indurés
- Sols remaniés ou typiques avec indurations
- Sols remaniés ou typiques
- Sols typiques (ou rajeunis)

COMPLEXE DE SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DÉSATURÉS ET DE SOLS BRUNS TROPICAUX

- Sols remaniés ou typiques avec induration et sols bruns eutrophes trop.

SOLS FERRUGINEUX SUR MATÉRIAUX FERRALLITIQUES

- Sols remaniés concrétionnés et hydromorphes
- Sols remaniés faiblement indurés
- Sols remaniés indurés

COMPLEXE DE SOLS PODZOLIQUES ET DE SOLS FERRALLITIQUES

- Sols podzoliques à gley, pseudopodz. de nappe, et sols ferrallitiques appauvris

SOLS HYDROMORPHES ORGANIQUES

- Sols humides à gley et sols tourbeux

COMPLEXE DE SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX ET DE SOLS PEU ÉVOLUÉS

- Sols hydromorphes à gley et pseudogley, et sols peu évolués d'apport

SOLS PEU ÉVOLUÉS

- Sols peu évolués d'apport, Sables marins

SYMBOLES

- Présence de buttes cuirassées et de sols lithiques sur cuirasse et carapace

- Cuirasses sommitales bauxitiques ou ferrugineuses anciennes

- Limites Nord des sols ferrallitiques fortement désaturés dont les horizons humifères fortement désaturés possèdent une réaction plus acide que les horizons (B) de profondeur.

SUBSTRATUM GÉOLOGIQUE

- Granites calcoalcalins
- Granodiorites - norites
- Schistes - micaschistes
- Gneiss
- Roches basiques
- Inselberg
- Grès
- Limite Nord du bassin sédimentaire
- Sables tertiaires

- ◆ Villes d'étude
- ◆ Capitales
- ▨ Région d'étude
- ◆ Villages d'étude
- Parcelles étudiées
- ▨ Délimitation réserve Mabi-Yaya (2024)

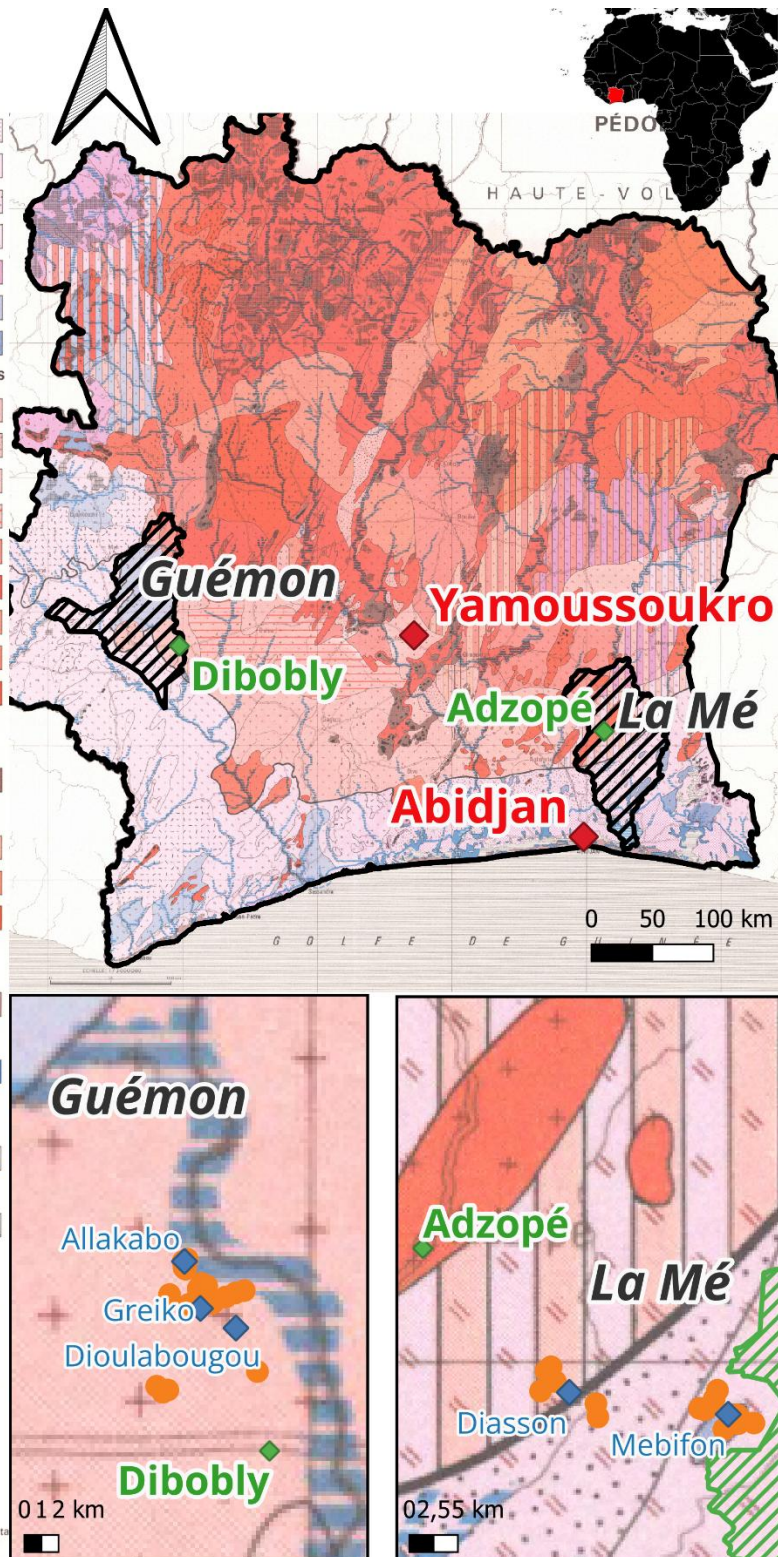


Figure 2 : carte géologique des régions d'études et des parcelles étudiées (fond de carte Dabin et al 1960))

2.2. Description des systèmes de cultures cacaoyers : échantillonnage des producteurs enquêtés et plantations observées

Dans ces deux zones des critères de sélection de plantations et producteurs ont été établis dans le but d'avoir une représentativité des types de systèmes de culture présents. Les techniciens Nitidæ ont identifié trois types de parcelle :

- La parcelle agroforestière complexe : des arbres auxiliaires sont denses et diversifiés
- La parcelle agroforestière moyenne : la présence d'arbres auxiliaires est peu dense et/ou diversifié
- La parcelle en système quasi « plein soleil » (monoculture) : très peu voir aucun arbre auxiliaire

Et au sein de ces trois types de parcelles nous distinguerons les parcelles productives et les parcelles peu productives. Au total ce sont 36 parcelles qui ont été étudiées appartenant à 36 producteurs qui ont été interrogés.

2.3. Collecte des données

2.3.1. Perception des producteurs

Il s'agit de comprendre la manière dont les agriculteurs perçoivent la fertilité des sols — autrement dit, ce qu'ils considèrent comme un « bon sol » ou un sol fertile. L'enquête vise également à évaluer leurs connaissances sur les critères de qualité des sols, ainsi que les facteurs qu'ils associent à une dégradation ou, au contraire, à une amélioration de la fertilité des sols.

Les entretiens ont été réalisés avec le producteur propriétaire de sa parcelle, qui intervient régulièrement sur celle-ci. L'entretien repose sur l'hypothèse que les producteurs accordent une attention particulière à la qualité de leurs sols que l'on peut considérer comme leur outil de travail pour la culture du cacao. Ces entretiens ont été réalisés du 14/03/2025 au 26/04/2025.

Le déroulement de l'entretien se sont passé comme suit (le guide d'entretien complet est consultable dans l'annexe n°1) :

- Introduction et mise en contexte

L'échange a débuté par la rencontre du producteur sur sa parcelle, pour lui présenter le projet CacaoForest CI. Ce temps d'introduction visait à établir une relation de confiance, à expliquer les objectifs de l'étude, et à assurer le consentement du participant.

- Entretien statique

Cette phase a permis de collecter des informations générales et de structurer la réflexion du producteur autour de sa parcelle :

- Profil du producteur : âge, expérience, niveau de formation, pratiques agricoles, types d'intrants utilisés, etc.

- Description de la plantation : superficie, variétés de cacaoyers, historique de la parcelle, contraintes rencontrées, rendements perçus.

Le producteur a été invité à dessiner une carte mentale sa parcelle en identifiant les zones de bonne ou mauvaise production, les types de sols perçus, les zones d'ombrage, les variations de topographie, et tout autre élément qui lui semble important. Cette carte a servi de support à la discussion et a permis de localiser les zones contrastées au sein de sa parcelle.

- Perception des sols et des variations spatiales : à partir de la carte, l'entretien s'est concentré sur la manière dont le producteur perçoit les différences de fertilité au sein de sa parcelle. Il a été invité à décrire les indicateurs qu'il utilise (couleur du sol, texture, comportement à l'eau, présence de plantes bioindicatrices, faune du sol, etc.) ainsi que les causes qu'il associe à ces variations (érosion, pratiques culturales, historique des usages, etc.).

- Visite de terrain sur deux zones contrastées

Enfin, une visite a été réalisée sur deux zones d'intérêt identifiées sur la carte mentale : une zone jugée « bonne » et une zone jugée « mauvaise ». Le producteur a guidé cette visite et a commenté ce qu'il observe, ce qu'il surveille et les conclusions qu'il en tire. L'objectif ici est double :

- Observer concrètement les indicateurs cités lors de l'entretien (visuels, biologiques, tactiles, etc.).
- Comprendre pourquoi il observe ces indicateurs et ce qu'il tire de ses observations.

Un point GPS a été relevé dans chaque zone afin de permettre l'analyse agropédologique ultérieure.

2.3.2. Diagnostic agropédologique

L'objectif de ce diagnostic est d'évaluer les convergences ou divergences entre lecture paysanne et diagnostic agropédologique. Pour cela nous avons caractérisé pour chaque zone (« bon » sol / « mauvais » sol) identifiée par le producteur sur sa parcelle, les propriétés physiques, biologiques et chimiques par des indicateurs « simples ». Ceci nous a permis de tester les perceptions des producteurs, en s'appuyant sur des indicateurs observables et reproductibles. Les indicateurs retenus dans ce protocole sont facilement observables sur le terrain ou accessibles par traitement de données de spectrométrie. Ces tests ont été réalisés entre le 23/04/2025 au 29/05/2025.

Pour délimiter les zones d'échantillonnage pour le diagnostic agropédologique nous avons utilisé les points GPS identifiant les zones de « bon » sol et « mauvais » sol relevés lors de l'entretien avec le producteur. Chaque point GPS représente le coin d'un carré de 20 mètres de côté dans lequel nous avons réalisé les mesures/l'échantillonnage. Le carré a été réalisé à l'aide d'un décamètre. Au sein de ce carré nous avons réalisé 3 répétitions des indicateurs retenus (Figure 3).

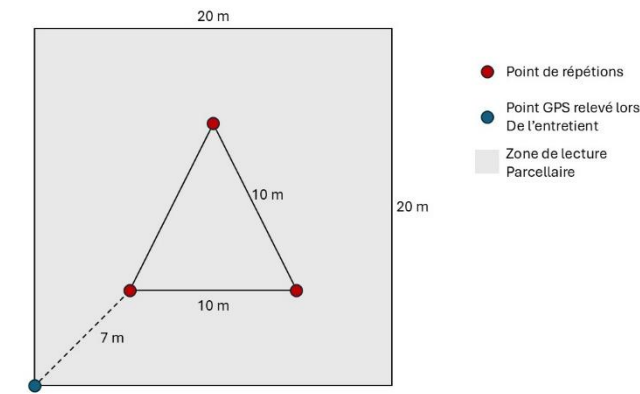


Figure 3 : Schéma des prélèvements

Pour chaque répétition nous avons réalisé chaque fois les tests suivants :

Protocole pour lecture parcelle

Objectif : nous avons cherché à estimer la productivité et la surface occupée par les arbres auxiliaires au sein des zones prélevées.

Dans ce carrée de 400 m² tracé nous avons relevé deux données :

- Le nombre total de pieds de cacao présents avec le nombre total de cabosses présentes sur ces plants.
- Le nombre d'arbres auxiliaires (autres que le cacao) présents, leur espèce et le diamètre de leur tronc pour pouvoir calculer la surface terrière.

Description générale des sols : sondages à la tarière à main

Objectif : détermination de la profondeur du sol, des différents horizons et de leurs caractéristiques (texture, couleur, charge en éléments grossiers, traces d'hydromorphie).

La litière a été enlevée (si présente) et chaque carotte de terre (~10cm) a été déposée sur une bâche jusqu'à atteindre 1 m de profondeur dans l'idéal (en fonction de la profondeur de sol et des facilités de carottages). Une fois le profil de sol reconstitué, pour chaque horizon identifié nous avons déterminé : sa profondeur, sa couleur, sa charge en éléments grossiers (appréciation qualitative) ainsi que la classe texturale (test du boudin) par la suite.

Description de la structure des sols : test bêches (Peigné et al., 2016)

Objectif : évaluation rapide de la structure d'un sol (classe de tassement) et des traces d'activités biologiques.

Il s'agit d'extraire un bloc de sol à l'aide d'une bêche et d'observer le mode d'assemblage de la structure du sol ainsi que le type de motte et leurs proportions. Pour plus de détails se référer à la méthodologie développée dans Peigné et al. (2016).

Prélèvement d'échantillons

Un échantillon composite a été collecté par profondeur et par zone (bon sol/mauvais sol) : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm. Au total, 3 prélèvements (figure 3) par profondeur ont été réalisés pour former un échantillon composite par profondeur. Le prélèvement d'échantillon par zone est résumé dans le schéma ci-dessous (figure 3)

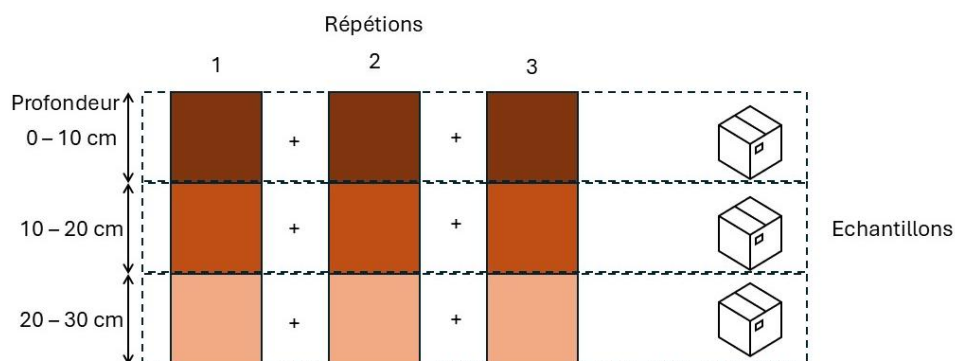


Figure 4 : Schéma du mode de prélèvement des échantillons composites

Les modes de prélèvement sont détaillé dans la partie « Échantillonnage pour les analyses physico-chimiques » de Bellon *et al.* (2025)

Nous avons mis ces échantillons dans des sachets zip annotés avec le code de la parcelle, de la zone et de la profondeur.

Séchage des échantillons

L'ensemble des méthodes de préparation des échantillons repose sur les travaux de Chacón *et al.* (2015), Ballot *et al.* (2017), Mbanjwa *et al.*, (2023) et Barthès *et al.* (2024).

Les sachets contenant les échantillons sont conservés à l'abri de la lumière directe du soleil et restent ouverts afin de favoriser le séchage et de limiter les processus biologiques de décomposition/minéralisation de la matière organique du sol. La durée du séchage a varié entre une et deux semaines, selon les conditions d'humidité ambiante.

Protocole pour test stabilité structurale :

Objectif : ce test permet d'évaluer la stabilité de la structure du sol. Il est basé sur les travaux de Hérody (2014) et de Le Bissonnais (1996) :

Nous avons prélevé six agrégats entre 2 et 5 cm par échantillon séché que nous avons placé dans 6 pots (Figure 5). Dans 3 pots nous avons versé (sur le bord en évitant de le verser directement sur l'agrégat) de l'alcool à 90° et dans les 3 autres nous avons versé de l'eau distillée. Nous avons








Figure 5 : Photo d'un test de stabilité structurale

effectué ensuite trois mouvements circulaires avec les pots, puis nous avons noté la désagrégation dans les pots sur échelle de 1 à 5.

Les hypothèses étant, selon Hérody (2014), que la désagrégation à l'eau (après agitation douce) révèle l'absence de complexe argilo-humique (présence d'argile et de fer/calcium de liaison) donc une stabilité structurale fragile qui repose uniquement sur des processus biologiques. La désagrégation à l'alcool indiquerait quant à elle l'absence de « colle microbienne » reflétant ainsi une faible activité biologique. Le protocole Le Bissonnais, Le Souder, (1995) est plus complet que celui réalisé qui néanmoins s'en inspire. Voici les interprétations que nous avons pu en tirer (tableau 1) :

Tableau 1 : Interprétations des notes de stabilité structurale

Note	Stabilité	Risque d'érosion	Photo
<1 : pas de désagrégation à l'eau et à l'alcool. Agrégats intacts et eau/alcool non troublés par la désagrégation (photo ci-contre).	Très stable – Processus d'agrégation physico-chimiques et biologiques forts	Risques très faibles	
1-2 : peu de désagrégation à l'eau et/ou à l'alcool. Eau ou alcool peu troublés par la désagrégation (photo ci-contre).	Stable : Processus d'agrégation physico-chimiques et/ou biologiques forts selon le solvant troublé par la désagrégation	Risques limités	
2-3 : désagrégation assez forte. Eau ou alcool troublés (photo ci-contre)	Moyennement stable : Processus d'agrégation physico-chimiques et/ou biologiques moyens à faibles selon le solvant troublé par la désagrégation	Risques variables en fonction des paramètres climatiques et topographiques	

3-4 : désagrégation forte à l'eau et à l'alcool. Eau et alcool troublés (photo ci-contre)	Instable : Processus d'agrégation physico- chimiques absent et faible activité biologique	Risques fréquents en toute situation	
>4 : désagrégation totale. Eau et alcool troublés (photo ci-contre)	Très instable : Processus d'agrégation physico- chimiques absents et très faible activité biologique	Risques importants et permanents en toutes conditions topographiques	

Préparation des échantillons

Une fois secs, les échantillons prélevés pour les analyses physico-chimiques ont suivi une série d'étapes successives visant à séparer la fraction fine (utilisée pour l'acquisition de données spectrales) de la fraction grossière (ou "refus"). Une adaptation de la méthode de fractionnement granulométrique par tamisages successifs a été utilisée. Cette approche est particulièrement adaptée aux sols tropicaux, souvent constitués d'agrégats sur lesquels sont fixés des éléments fins (Fenton *et al.*, 2024; Ge *et al.*, 2024; Ma *et al.*, 2024; Stevenson *et al.*, 2023)

1. Peser à l'aide de la balance l'échantillon afin d'obtenir la masse de l'échantillon, exprimée en grammes.
2. Émottes l'échantillon en cassant délicatement les mottes de terre ou conglomérats (blocs compacts de sol), à l'aide du mortier et du pilon. Cette opération doit être réalisée avec précaution afin de réduire la taille des agrégats sans broyer le sol, de manière à préserver sa structure pour les étapes suivantes.
3. Tamiser l'échantillon à l'aide du tamis en acier inoxydable à maille de 2 mm de diamètre (FAO, 2019a). Le tamisage est effectué par agitation manuelle pendant environ dix minutes, jusqu'à ce qu'aucune particule supplémentaire ne traverse le tamis (MTP, 2024). La fraction fine (particules < 2 mm), composée de sable, limon et argile, est recueillie dans le récipient, puis transférée dans un sachet étiqueté avec le code de l'échantillon.
4. Émottes une seconde fois le refus à l'aide du mortier et du pilon.
5. Tamiser une seconde fois à l'aide du tamis à maille de 2 mm.
6. Peser à l'aide de la balance afin d'obtenir la masse de la fraction grossière (particules > 2 mm), exprimée en grammes.

Les sachets contenant la fraction fine des échantillons ont été stockés dans une salle à l'abri de la lumière directe du soleil, en vue des analyses ultérieures. La fraction grossière, quant à elle, n'intervenant pas dans les analyses ultérieures, a été éliminée après la pesée.

Calcul de la proportion des fractions fine et grossière

La masse de la fraction grossière a été soustraite de la masse de l'échantillon afin d'estimer la masse de la fraction fine (particules < 2 mm), exprimée en grammes, pour chaque échantillon. Ces valeurs ont été ensuite converties en pourcentages, permettant ainsi d'obtenir la proportion de chaque fraction (fine et grossière) par rapport à la masse totale de sol sec.

Acquisitions de données spectrales

Pour la prise des spectres d'absorption avec le spectromètre nous avons suivis la méthodologie présentée dans Bellon *et al.* (2025). Pour chaque échantillon nous avons réalisé 10 prises afin de réaliser une moyenne d'absorption pour chaque longueur d'onde par l'échantillon afin d'en déterminer les teneurs moyennes en Carbone organique et Azote total de chaque échantillon.

Protocole pour la détermination de la couleur du sol (notation Munsell)

Objectif : caractériser de manière précise, reproductible et universelle la couleur des échantillons de sol pour les comparer à des classes pédologiques fonctionnelles.

À partir des échantillons déjà préparés pour la spectrométrie, nous avons prélevé une petite quantité de sol (une pincée) et nous l'avons étalé en fine couche sur une feuille blanche, de manière homogène (Figure 6).

Nous avons identifié la teinte (Hue) en comparant visuellement l'échantillon aux différentes planches du nuancier Munsell pour déterminer la teinte (Hue) la plus proche de celle du sol.

Puis nous avons déterminé la clarté (Value) et la saturation (Chroma) en utilisant la planche correspondante à la Hue identifiée. Nous avons positionné les ouvertures circulaires prévues à cet effet directement au-dessus de l'échantillon pour trouver la combinaison de Value et de Chroma qui correspond le mieux à la couleur observée.



Figure 6 : Photo de détermination du code Munsell d'un échantillon de terre

Enfin le code Munsell complet a été noté sous la forme suivante : Hue Value/Chroma (ex. : 10YR 5/3).

2.4. Analyse des données

Analyse des perceptions paysannes et des indicateurs empiriques mobilisés

Pour analyser la perception des producteurs sur la qualité des sols, nous avons d'abord réalisé une analyse descriptive des indicateurs qu'ils mobilisent. Pour cela, nous avons calculé la proportion de producteurs ayant mentionné chaque indicateur afin d'identifier les plus fréquemment utilisés pour qualifier un sol. Ensuite, nous avons vérifié la cohérence entre leur perception générale et les descriptions visuelles qu'ils ont fournies lors de la visite de leur parcelle.

Élaboration d'une typologie des systèmes de culture

Afin de tester l'hypothèse selon laquelle certains indicateurs académiques pourraient être influencés par les systèmes de culture, une typologie des systèmes de culture a été élaborée. Cette typologie vise à regrouper les parcelles selon des caractéristiques structurelles et des pratiques agricoles similaires, permettant ainsi d'analyser la variabilité des indicateurs en fonction des modalités de gestion observées sur le terrain.

Les systèmes de culture ont été déterminés selon la formule suivante :
Système de culture = Tête × Pratiques

- La Tête fait référence à deux paramètres :
 - La densité des cacaoyers (exprimée en arbres/ha),
 - La surface terrière des arbres compagnons (exprimée en m²/ha) (Annexe n°2).

Chacun de ces paramètres étant calculé comme la moyenne des valeurs mesurées dans la zone "de bon sol" et la zone "de mauvais sol" identifiées par le producteur au sein de sa parcelle.

- Les pratiques considérées sont les suivantes :
 - Fertilisation organique (compost, fumier, fiente),
 - Fertilisation minérale,
 - Utilisation de bio-insecticides,
 - Utilisation d'insecticides chimiques,
 - Usage d'herbicides,
 - Désherbage manuel.

Chacune de ces pratiques est codée en variable binaire (0 = absence, 1 = présence).

Les systèmes de culture ont été identifiés à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP) effectuée sous R 4.5.0 (R Core Team, 2025) à l'aide de la fonction `PCA()` du package FactoMineR (Lê et al., 2008). A la suite, un clustering hiérarchique ascendant (CAH) a été réalisé à l'aide de la fonction `HCPC()` de ce même package. Les pratiques agricoles ont été utilisées comme variables binaires, tandis que la densité des cacaoyers et la surface terrière des arbres compagnons ont été intégrées comme variables quantitatives.

Comparaison des données mesurées entre zones et entre systèmes de culture

L'estimation de la teneur en carbone organique et en azote total du sol des zones ont été réalisées grâce à des modèles de réseaux de neurones sur les spectres bruts acquis à l'aide du spectromètre. Les modèles ont été calibrés avec une base de données de 335 échantillons de sol de la Côte d'Ivoire collectés à trois profondeurs (0-10cm, 10-20cm et 20-30cm) suivant un protocole d'échantillonnage, de préparation d'échantillons et d'acquisition des spectres équivalent à celui utilisé dans ce stage. La base de données est composée d'une majorité d'échantillons issus de parcelles de cacao et une partie des échantillons de sols d'autres types d'usages (manioc, cultures vivrières, palmier à huile, hévéa, jachères, forêts anciennes et secondaires). Les performances des modèles utilisés ont été testées sur un lot indépendant de 112 échantillons et présentent un coefficient de détermination (R^2) de 82% pour le carbone et de 79% pour l'azote.

Les données mesurées sur le terrain et en laboratoire ont été comparées entre les zones qualifiées par les producteurs comme « bonnes » et « mauvaises » et/ou selon les systèmes de culture identifiés pour les propriétés du sol qui peuvent être impactées par le système de culture (stabilité structurale, horizon organique, teneur en carbone et azote)(Snoeck, Dubos, 2018). Pour ce faire, deux types d'analyses statistiques ont été réalisés l'aide du logiciel R 4.5.0 (R Core Team, 2025) :

- Pour comparer les moyennes entre deux groupes (zones « bonnes » vs « mauvaises »), un test de Student a été appliqué.
- Pour comparer les moyennes entre plus de deux groupes (différents systèmes de culture), une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée, suivie d'un test post-hoc de Tukey afin de déterminer précisément entre quels groupes les différences sont significatives.

Pour ces tests, nous avons vérifié la normalité, l'homoscédasticité ainsi que l'indépendances des observations. Le seuil de significativité statistique retenu est fixé à une valeur de $p < 0,05$. Cette approche a permis d'évaluer si la qualité identifiée des zones par les producteurs sont corroborées par les données physico-chimiques et biologiques mesurées, mais également à explorer l'effet potentiel des systèmes de culture sur la qualité du sol.

Construction et comparaison de modèles prédictifs

Deux modèles prédictifs ont été construits, l'un à partir des indicateurs des producteurs et l'autre à partir des indicateurs du diagnostic agropédologique. Ces modèles ont été appliqués pour prédire la catégorisation des zones par les producteurs (zones dites « bonnes » ou « mauvaises »). L'ajustement des modèles a été réalisé sous le logiciel R 4.5.0 (R Core Team, 2025), en utilisant la fonction `glm()` du package Stats, avec une régression logistique (famille = binomiale) adaptée à la nature binaire de la variable réponse. Cette approche a permis d'identifier, pour chaque type de modèle, les variables les plus significatives statistiquement associées à cette perception. La performance des deux modèles a été ensuite comparée à l'aide du coefficient de détermination (R^2), calculé manuellement à partir des déviations du modèle selon la formule :

$$R^2 = (\text{null.deviance} - \text{residual.deviance}) / \text{null.deviance}$$

Pour garantir la comparabilité des deux modèles, plusieurs conditions ont été respectées : Les deux modèles ont été construits sur un échantillon commun, c'est-à-dire avec le même nombre

d'individus et sur les mêmes observations, afin d'éviter que les différences de performance ne soient dues à des variations d'échantillonnage. Ils ont utilisé la même structure statistique (régression logistique), pour que les critères d'évaluation soient cohérents. Cela implique que seuls les sites pour lesquels les deux types d'indicateurs étaient disponibles (empiriques et techniques) ont été retenus dans l'analyse. Cette comparaison a permis d'évaluer la robustesse des perceptions paysannes par rapport aux mesures techniques, mais également la pertinence prédictive des mesures techniques.

2.5. Abréviations et expression

Dans ce rapport seront noté pour le sol les :

- Caractères perçus : perceptions générales du producteur
- Caractères décrits : description par le producteur lors de la visite terrain
- Caractères Observés : relevés à l'aide du protocole agropédologique

3. Résultats et interprétations

3.1. Description de l'échantillon et des systèmes de culture

Cette partie introduit les systèmes de culture échantillonnés et les profils de producteurs enquêtés. Dans tout ce rapport, la valeur figurant après le signe \pm correspond à l'écart-type. Nous ne le précisons plus par la suite.

Tableau 2 : Récapitulatif du profil des interrogés

Caractéristiques du site	Mé	Guémon
Nombre d'interrogés	18	18
Nombre d'ethnies différentes interrogés	2	4
Age médian des producteurs interrogés (en années)	53 (± 11)	53 (± 11)
Ancienneté moyenne dans la cacaoculture (en années)	24 (± 7)	26 (± 7)
Surface moyenne de cacao (en ha)	2,9 ($\pm 1,5$)	3,5 ($\pm 2,5$)
Autre culture de rente	Hévéa (83%)	Hévéa (44%), Café (44%)
Niveau d'étude	Aucune (22%), Primaire (22%), Collège (27%), Lycée (16%), Supérieur (11%)	Aucune (66%), Primaire (16%), Collège (11%), Lycée (5%)

Le tableau 2 présente l'échantillon qui se compose de 36 producteurs de cacao interrogés, répartis équitablement entre les régions du Mé et du Guémon. Les producteurs interrogés ont un âge médian similaire dans les deux zones, avec une ancienneté moyenne dans la cacaoculture de 24 ans dans le Mé et de 26 ans dans le Guémon. Les superficies cultivées sont légèrement plus importantes dans le Guémon que dans le Mé. Les autres cultures de rentes sont l'hévéa dans la zone de la Mé, et l'hévéa et le café dans la zone du Guémon. Dans le Guémon, les personnes interrogées présentent une plus grande diversité ethnique mais un niveau d'étude globalement plus bas, avec 66 % des producteurs qui n'ont reçu aucune instruction contre 22% dans la Mé.

Système de culture

A partir des pratiques des producteurs ainsi que la densité de cacao et la surface terrière des arbres auxiliaires nous avons identifiés 4 systèmes de cultures dans la zone de la Mé (Tableau 3) (Les graphiques de sortie de l'ACP ainsi que la proportion de producteurs utilisant chaque pratique par système de culture se trouve en annexe n°3).

Tableau 3 : Présentation des systèmes de culture identifiés dans la zone de la Mé

Système de culture	Pratiques	Densité de cacao*	Gradient agroforestier **
1 « bio agroforestier »	Désherbage manuel, fertilisation organique	Moyenne	Agroforestier moyen
2 « conventionnel jeune »	Désherbage manuel, insecticide, un peu de fertilisation minérale	Forte	Plein soleil
3 « conventionnel agroforestier »	Désherbage manuel, insecticide, un peu de fertilisation minérale	Moyenne	Agroforestier moyen
4 « conventionnel intensif »	Désherbage manuel, fertilisation minérale, herbicide, insecticide	Faible	Plein soleil

*Faible < 800 pieds/ha < Moyenne < 1000 pieds/ha < Forte

**Surface terrière : Plein soleil < 6 m²/ha – Agroforestier moyen– 8m²/ha > Agroforestier complexe

L'échantillon étudié se répartit en quatre grands types de systèmes de culture. Le système « bio agroforestier » repose sur des pratiques sans utilisation de produits chimiques : le désherbage manuel et la fertilisation organique. Il présente une densité moyenne de cacaoyers et sa surface terrière correspond à celle d'un système agroforestier complexe. Le système « conventionnel jeune » se distingue par une forte densité de cacao, l'usage d'insecticides, le désherbage manuel et une fertilisation minérale pour certains producteurs (souvent la première recommandée après 15 ans de plantation), dans un contexte plein soleil. Le système « conventionnel agroforestier » mêle désherbage, insecticide et un peu de fertilisation minérale, avec une densité moyenne et un gradient agroforestier moyen. Enfin, le système « conventionnel intensif » combine désherbages manuels, herbicides, insecticides et fertilisation minérale. Il est marqué par une faible densité de cacao et un modèle plein soleil.

Les parcelles conduites en agriculture conventionnelle intensive se distinguent par leur productivité élevée (1400 cabosses/ha), tandis que celles en bio agroforestier sont les moins performantes (67 cabosses/ha) (*pvalue* = 0,03). Les parcelles du conventionnel jeunes sont les plus récentes, avec des cacaoyers jeunes (21 ans), contrairement à celles du bio agroforestier qui présentent des arbres plus âgés (60 ans) (*pvalue* = 0,03).

Parmi les systèmes dits "conventionnels", les producteurs en intensifs, dont les cacaoyers sont peu denses et exposés en plein soleil, ont davantage recours aux herbicides que nous pouvons supposer en raison d'une forte pression des adventices. À l'inverse, ceux en conventionnel jeunes ou agroforestier bénéficient d'un couvert végétal dense (soit grâce à la densité élevée des cacaos soit la présence d'arbre auxiliaire) qui limite naturellement le développement des mauvaises herbes, limitant ainsi le besoin au désherbage manuel.

Grâce aux différences d'âges de parcelles, des précédents et du discours des producteurs nous pouvons supposer des trajectoires d'évolutions des systèmes de culture de notre échantillonnage (Figure 7) :

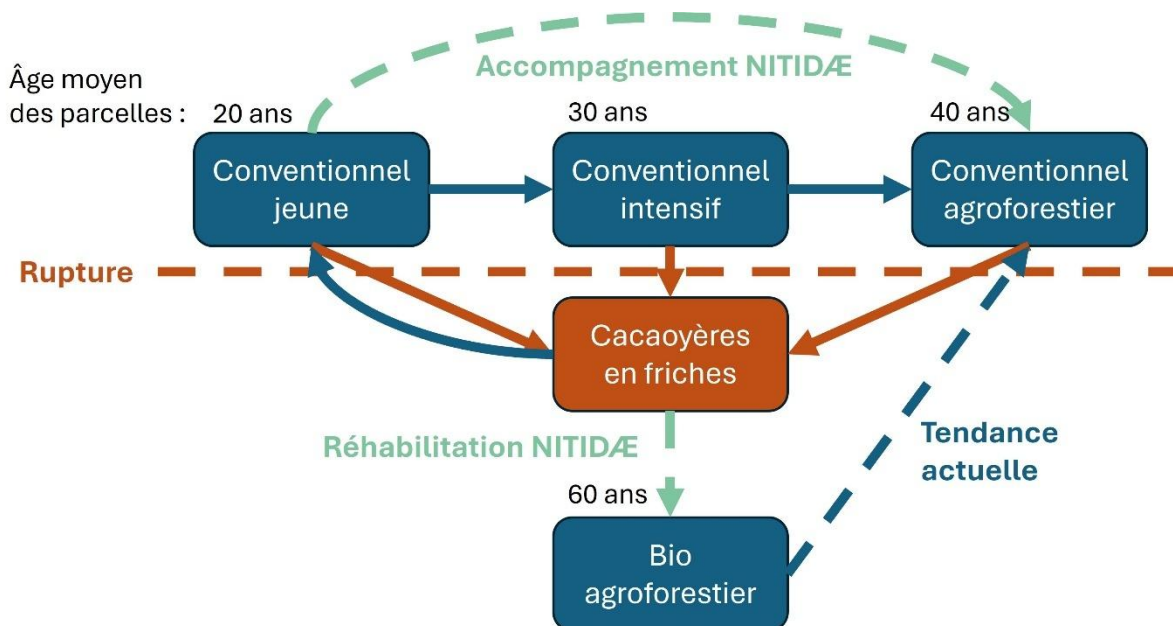


Figure 7 : Trajectoires d'évolution des systèmes de culture

Nous pouvons supposer que les parcelles en systèmes conventionnels jeunes sont initialement productives grâce à la fertilité héritée du précédent cultural. Cependant, avec le temps, cette fertilité naturelle tend à s'épuiser, rendant insuffisante la production sans apports extérieurs. Une augmentation des intrants devient alors nécessaire pour maintenir, voire améliorer temporairement les rendements, devenant ainsi des systèmes conventionnels intensifs. Néanmoins, après une certaine période, la production commence à décliner malgré ces apports, et la rentabilité des intrants diminue progressivement. Pour certains producteurs, notamment ceux qui ont une connaissance des recrues forestiers ou accès à des plants forestiers à travers des accompagnements de projets agricoles, ou des services de coopératives. Cette transition peut se faire par l'introduction volontaire d'arbres d'ombrage ou par la conservation de recrues existants. Ces pratiques permettent d'enrichir la matière organique, d'améliorer la fertilité des sols, et de limiter la concurrence des adventices grâce à un couvert végétal plus dense, le tout limitant ainsi le recours aux intrants. Le système évolue alors vers un système conventionnel agroforestier.

L'accompagnement proposé par Nitidæ favorise même, dans certains cas, une transition directe des systèmes conventionnels jeunes vers des systèmes agroforestiers sans passer par une phase intensive.

Tous ces systèmes peuvent cependant atteindre un point de rupture, à partir duquel ils ne sont plus exploités. Ces ruptures peuvent être liées à des facteurs sociaux ou économiques, tels que des décès, des problèmes d'héritage ou une productivité devenue trop faible. Ces parcelles abandonnées deviennent alors des friches cacaoyères.

Certaines sont ensuite réhabilitées dans le cadre de projets comme ceux menés par Nitidæ, et évoluent en systèmes bio agroforestiers. Dans ces cas, les arbres compagnons présents dans la

friche sont généralement conservés par les producteurs au moment de la reprise de la parcelle. D'autres friches sont remises en culture par les producteurs sans accompagnement externe et sans maintien des arbres compagnons, redevenant des systèmes conventionnels jeunes.

Enfin, il est important de noter qu'avec la baisse actuelle de la valorisation des filières bio, plusieurs producteurs avec des systèmes bio agroforestiers reprennent ou veulent reprendre l'usage d'intrants. Cela conduit à une reconversion vers des systèmes conventionnels agroforestiers.

Il est important de noter que ces trajectoires restent des hypothèses de modélisation construite avec un échantillon limité.

Enfin, au sein d'une parcelle, les pratiques restent globalement homogènes. Bien que certains producteurs identifient des variations intra-parcellaires (par exemple liées à la topographie ou à la fertilité du sol), celles-ci ne sont généralement pas prises en compte dans leur gestion même si un intrant ne sera pas aussi rentable dans certaines zones de la parcelle que d'autres. L'homogénéisation des pratiques est réalisée pour le gain de temps et la simplicité.

3.2. Perception paysanne de la qualité des sols

Cette section apporte une partie de la réponse à la première problématique : Comment les producteurs perçoivent-ils et qualifient-ils la qualité de leurs sols ? On y explore les représentations locales du sol, leur vision de l'origine et de l'utilité des sols.

3.2.1. Représentation du sol

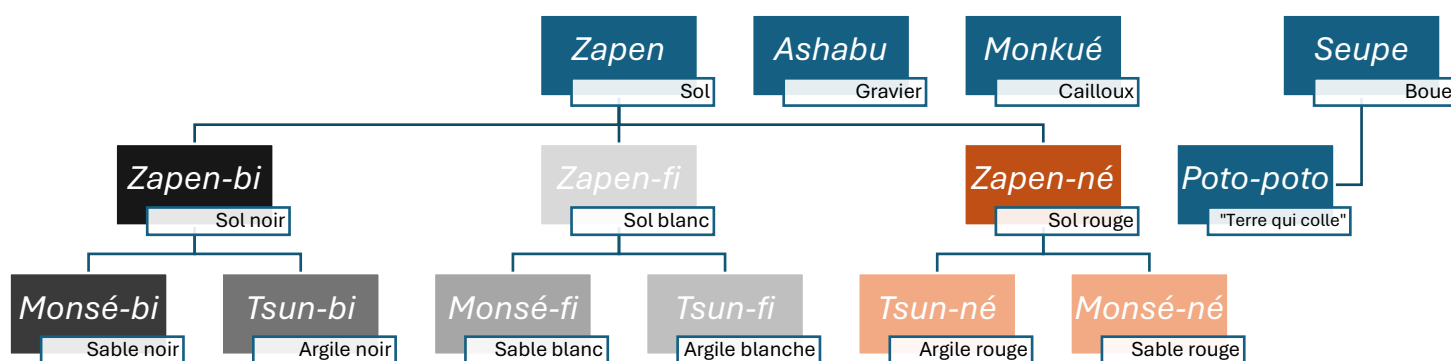


Figure 8 : noms locaux des sols en Attié

Lors des échanges avec les producteurs sur le nom des sols nous avons pu identifier les différents noms utilisés dans les dialectes pour nommer un sol. Ainsi dans la zone de la Mé, les Attiés, ethnie autochtone, ont nommé les sols de manière essentiellement descriptive, en se basant principalement sur la couleur et la texture (Figure 8). Cependant, ces appellations sont aussi étroitement liées à des types d'environnements spécifiques. Par exemple, le Zapen-fi désigne un type de sol que l'on trouve dans les zones de bas-fonds, particulièrement favorables à la culture du riz ou des plantes vivrières. Le Tsun-fi, quant à lui, correspond aux sols situés en bordure de rivière.

À ces noms de sols, un suffixe peut être ajouté pour préciser la granulométrie (Ashabu ou Monkué). Dans les zones fréquemment gorgées d'eau, les sols sont appelés Seupe ou Poto-poto, sans référence à leur couleur ou texture, même si ces sols présentent souvent une forte teneur en argile.

Ce travail d'identification a été particulièrement difficile à mener dans la zone de Dibobly, en raison de la cohabitation de plusieurs ethnies et donc de plusieurs langues. Cette diversité linguistique a compliqué l'identification de termes désignant les types de sols dans une seule langue de référence.

Nous pouvons toutefois noter que, les Baoulés, ethnie autochtone de la zone du Guémon, disposent d'une base lexicale pour désigner le sol, à laquelle ils ajoutent un suffixe indiquant la couleur du sol (Figure 9).

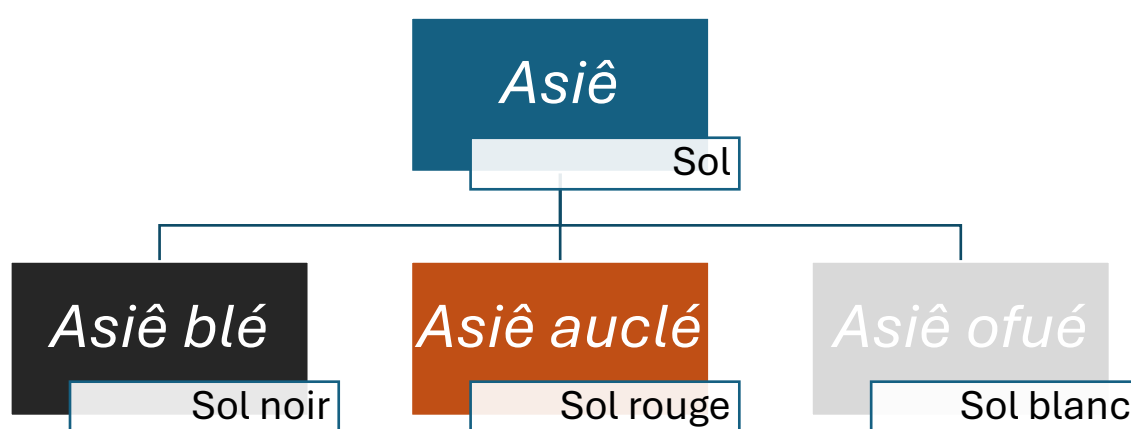


Figure 9 : Nom locaux des sols en Baoulé

3.2.2. Origine et utilité du sol

Qu'est que le sol ?

Pour 55% des producteurs interrogés, le sol est perçu comme une création divine « C'est Dieu qui l'a créé » A33 : il aurait été créé par Dieu pour permettre aux hommes de travailler, de se nourrir et de subvenir à leurs besoins. Cette vision spirituelle domine largement les discours. D'autres producteurs (20%) évoquent une origine naturelle, liée à la décomposition des feuilles, du bois mort ou à l'action de la pluie. Une minorité (10%) considère enfin que le sol est un héritage transmis par les ancêtres, un bien précieux qu'il convient de préserver.

A quoi sert le sol ?

Au-delà de son origine, les producteurs attribuent au sol une utilité essentielle, à la fois alimentaire, agricole, économique et sociale. Pour 70% d'entre eux, il représente avant tout une source de nourriture, indispensable à la subsistance des familles. 30% des producteurs insistent également sur le rôle du sol comme support de culture, notamment pour le cacao « Le sol permet de planter et d'aider le cacao » A6. Sur le plan économique, 16% des producteurs le décrivent comme une source de revenus, permettant de « réussir sa vie » A28. Enfin, quelques producteurs soulignent son importance symbolique et affective : la terre est un « bien », un « héritage » A9,

parfois même un « meilleur ami » A3, reflétant le lien fort et respectueux qu'ils entretiennent avec elle.

3.3. Indicateurs empiriques utilisés par les producteurs

Cette partie apporte des éléments de réponse à la deuxième problématique : Quels indicateurs mobilisent-ils pour différencier des sols dits « bons » ou « mauvais » ? Elle présente les marqueurs empiriques utilisés, leur variabilité entre producteurs, et les liens opérés entre perceptions et pratiques de gestion.

3.3.1. Caractéristiques perçues d'un bon sol en général

Qu'est-ce qu'un bon sol à cacao ? Qu'est-ce que vous regardez pour savoir ça ?

Tableau 4 : Croisement couleur et texture d'un bon sol à cacao selon les producteurs

	Argile	Mixte	Sable	Total
Jaune	2%			2%
Noir	30%	2%	16%	50%
Rouge	30%	2%	14%	47%
Total	63%	5%	30%	100%

Un bon sol pour la culture du cacao (Tableau 4) est, selon les producteurs, de couleur noire (pour 50% d'entre eux) ou rouge (pour 47%). La majorité (63% des producteurs) considère que les sols argileux sont les plus favorables, bien qu'un tiers estime que les sols sableux conviennent mieux. Par ailleurs, 67% des producteurs jugent que la présence de graviers est bénéfique au cacao, tandis que 33% pensent au contraire qu'elle est défavorable.

Tableau 5 : Liste des bioindicateurs d'une bonne qualité de sol les plus fréquemment cités par les producteurs

Nom latin	Nom vernaculaire	Proportion
Arbre		
<i>Terminalia superba</i>	Fraké	58%
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Akpi	52%
<i>Terminalia ivorensis</i>	Framiré	38%
<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	25%
<i>Garcinia kola</i>	Petit cola	25%
<i>Milicia excelsa</i>	Iroko	25%
Plante		
<i>Chromolaena odorata</i>	« Sékou Touré » / Roi des herbes	36%
	Fougères	11%
<i>Thaumatococcus Danielli</i>	Feuille d'atiéké	11%
Animaux		
	Vers de terre	72%
	Escargots	42%
	Milles pattes	14%

Les producteurs s'appuient également sur la présence de bioindicateurs pour évaluer la qualité d'un sol (Tableau 5). Certains végétaux sont perçus comme indicateurs d'un bon sol, soit parce qu'ils ne poussent que dans des conditions favorables, soit parce qu'ils contribuent à enrichir le sol. Parmi les arbres les plus positivement perçus figurent le fraké (58%), l'akpi (52%) et le framiré (38%). « Sékou Touré » est considéré comme une plante révélatrice de sols fertiles pour 36% des producteurs. Mais, les producteurs sont incertains du sens de cette relation : ils ne savent pas si ces espèces sont à l'origine d'un sol fertile ou si leur présence est simplement rendue possible par la qualité initiale du sol.

De plus une croissance rapide des herbes est également interprétée comme un signe de bonne qualité du sol pour 30% des producteurs. Enfin, la présence de vers de terre et d'escargots est également reconnue comme un indicateur de sol fertile pour 72% des producteurs.

Comment améliore-t-on un sol ?

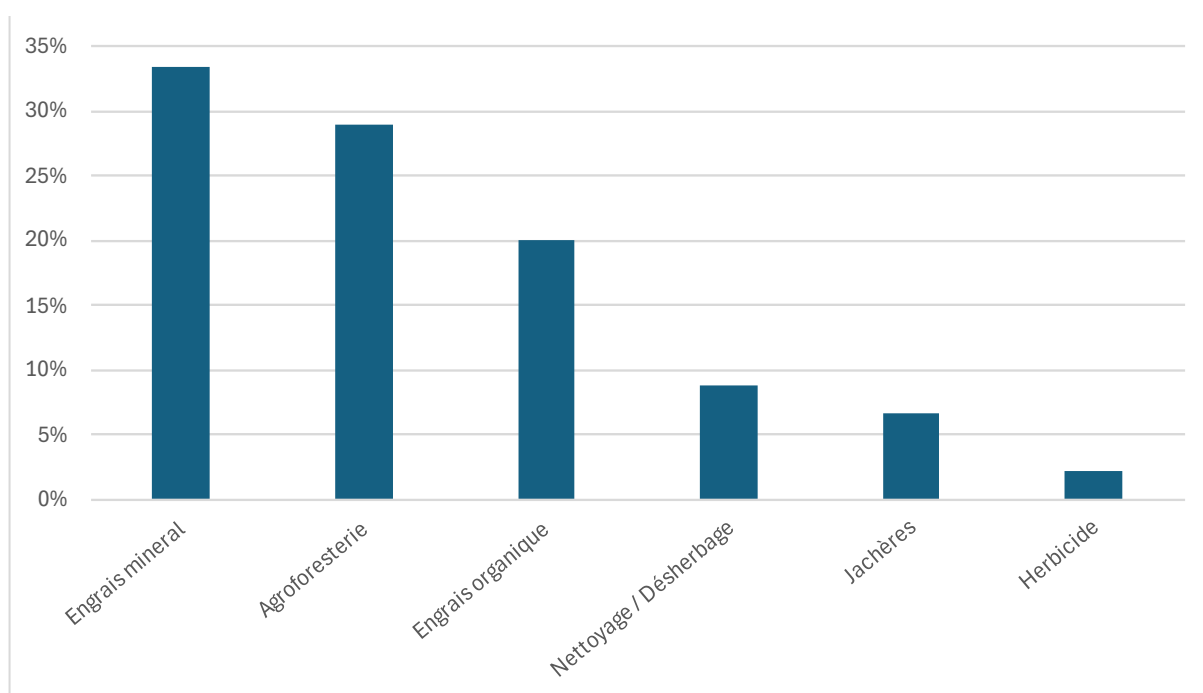


Figure 10 : Fréquence de citation des pratiques d'amélioration du sol

Les méthodes citées ici (Figure 10) sont perçues par le producteur comme améliorant le sol mais ne sont pas forcément mis en place par manque de moyen ou de temps. La pratique la plus fréquemment citée comme contribuant à l'amélioration du sol est la fertilisation, qu'elle soit réalisée à l'aide d'engrais chimiques (33%) ou organique (20%). Vient ensuite l'agroforesterie (29%), perçue comme bénéfique en raison de l'apport en matière organique via la chute des feuilles et la décomposition des résidus végétaux. Plus marginalement, certaines pratiques comme le désherbage régulier à la machette, voire l'usage d'herbicides, sont également mentionnées comme pouvant améliorer le sol, notamment en facilitant l'entretien et en limitant la compétition.

L'indicateur d'amélioration du sol le plus consensuel parmi les producteurs est l'augmentation de la production (50%), qui reflète directement l'objectif des pratiques mises en œuvre comme les engrais. D'autres signes d'amélioration, moins fréquemment mentionnés mais néanmoins

significatifs, incluent un sol plus « humide et frais » A31 (24%), une couleur de sol jugée plus favorable, ainsi qu'une augmentation du nombre de feuille (24%).

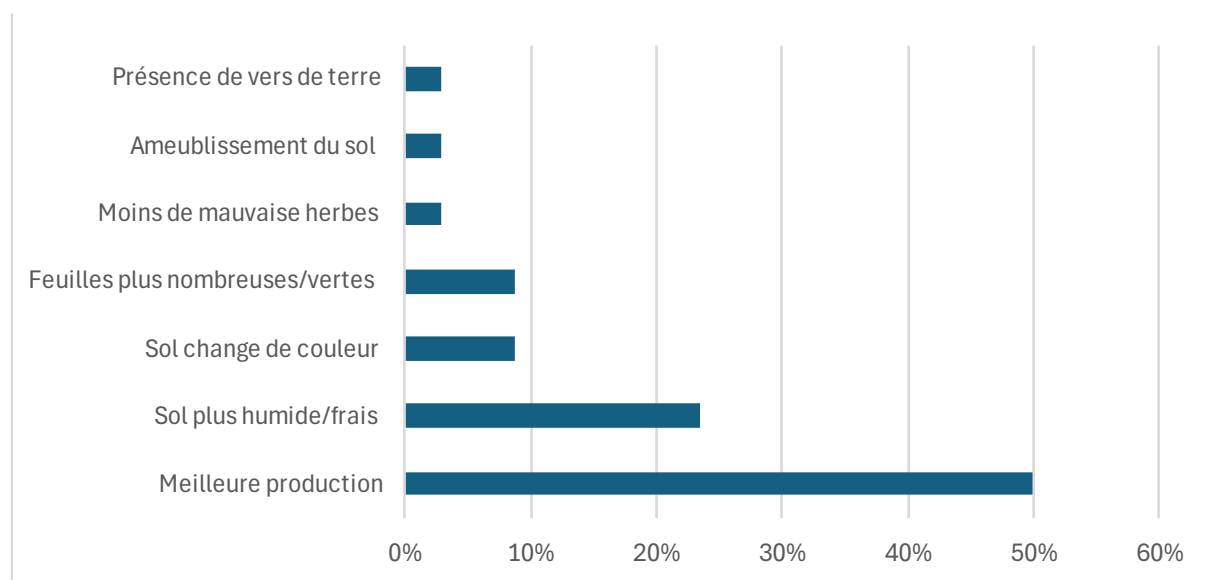


Figure 11 : Fréquence de citation des indicateurs d'amélioration du sol

3.3.2. Caractéristiques perçues d'un mauvais sol en général

Qu'est-ce qu'un mauvais sol à cacao ? qu'est-ce que vous regardez pour savoir ça ?

Il est intéressant de noter que les producteurs ont une perception assez claire de ce qu'est un bon sol à cacao, mais ils ont plus de difficulté à concevoir ce qu'est un mauvais sol (donc pas de réponse de certains producteurs). Néanmoins, 20% des producteurs identifient les sols sableux blancs, typiques des bas-fonds fréquemment inondés, comme étant défavorables à la culture du cacao.

Par ailleurs, le palmier à huile est perçu comme l'espèce végétale la plus nuisible ou indicatrice d'un mauvais sol selon 36% des producteurs. Selon eux, il puise une grande quantité de nutriments et d'eau, ce qui accroît la compétition avec le cacaoyer. Malgré cela, certains en conservent sur leurs parcelles, principalement pour l'usage des graines en cuisines.

En ce qui concerne les indicateurs de mauvais sol (Tableau 6), 16% producteurs mentionnent la présence de feuilles d'attiéké comme un signe négatif, tandis que 11% considèrent qu'elles sont un signe positif. Enfin, les termites sont perçus comme des agents de dégradation des sols.

Tableau 6 : Liste des bio-indicateurs d'une mauvaise qualité de sol les plus fréquemment citées par les producteurs

Nom latin	Nom vernaculaire	Fréquence
Arbre		
Elaeis guineensis	Palmier à huile	36%
Cola acuminata	Colatier	11%
Pycnanthus angolensis	Ilomba	11%
Plantes		
Thaumatococcus Danielli	Feuille d'attiéké	16%
	Cheveux blanc	11%
	Fougères	11%
Animal		
	Termite	11%

Comment se dégrade un sol ?

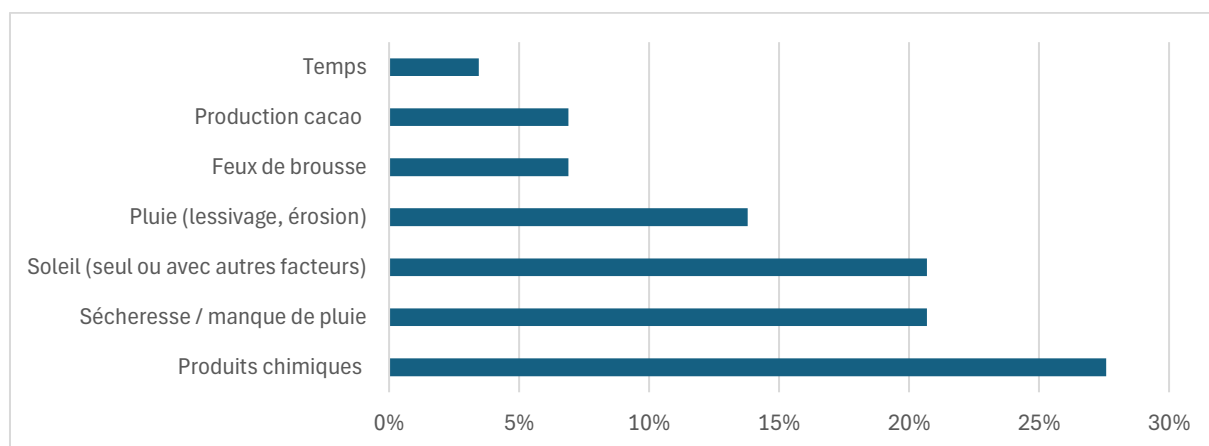


Figure 12 : Fréquence de citation des phénomènes dégradant le sol

La dégradation des sols est, selon les producteurs, principalement liée à l'usage excessif ou inapproprié de produits chimiques est également pointé du doigt comme facteur de dégradation par 28% des producteurs. En second lieu, à la sécheresse, l'exposition prolongée au soleil et le manque de pluie. Certains producteurs mentionnent la perte de fertilité liée à des phénomènes tels que l'érosion, les feux de brousse ou encore le lessivage causé par les fortes pluies. De manière plus marginale, quelques-uns considèrent que la culture du cacao elle-même contribue à la dégradation des sols, en raison de la pression qu'elle exerce ou des risques sanitaires associés aux cabosses en décomposition.

Les signes perçus de dégradation du sol varient selon les producteurs. Pour beaucoup, un sol qui se dessèche est un indicateur clair de dégradation pour 36% des producteurs. D'autres citent la baisse de rendement et l'augmentation de la sensibilité des cacaoyers aux maladies comme symptômes révélateurs. La présence accrue de plantes concurrentes du cacao est également interprétée comme un signe de détérioration du sol. Enfin, certains producteurs associent la perte de matière organique et l'érosion visible du sol à sa dégradation progressive.

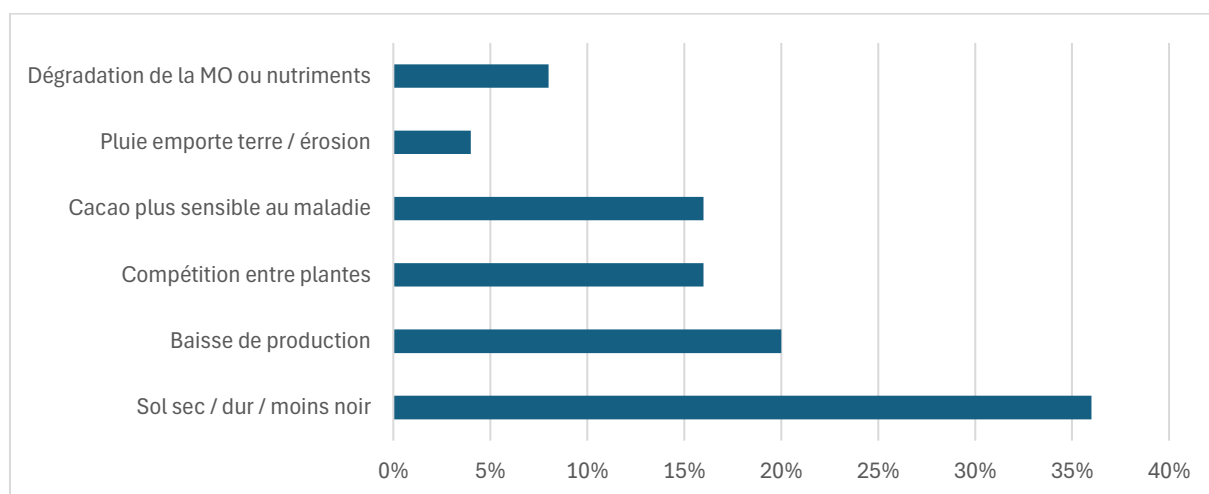


Figure 13 : Fréquence de citation d'indicateur de dégradation du sol

3.3.3. Connaissance de leur parcelle et pratiques de gestion

Ces perceptions générales peuvent être issues de l'expérience terrain des producteurs sur leurs propres parcelles. Nous allons voir comment ils interprètent les variations de productivité à l'échelle intra-parcellaire et si cela est concordant avec leurs représentations générales.

A partir de la carte mentale dessinée avec les producteurs nous avons pu identifier les variations de production au sein de leur parcelle et les causes potentielles de cette variation. Par exemple :

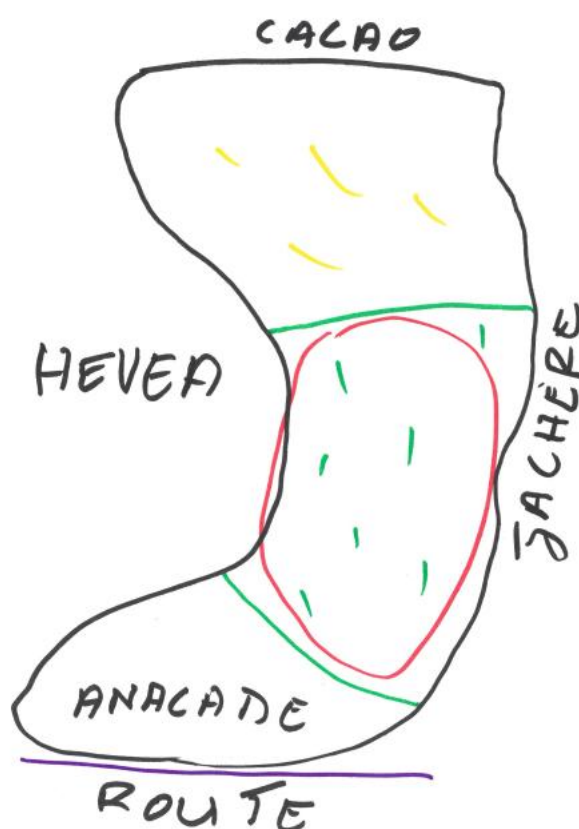


Figure 14 : Dessin de la parcelle du producteur A34

Légende figure 14 : La zone en jaune est celle identifiée comme improductive et la zone en rouge comme productive ; cette dernière a un sol rouge (« Asié-auclé ») et plus riche en gravier que la zone improductive. De plus la présence de quelque anacardier et sa proximité avec la jachère est perçue comme améliorant la qualité de son sol.

Au sein de l'échantillon, 19 producteurs ont attribué les zones de faible production à une qualité de sol inférieure selon leurs propres critères, par rapport au reste de la parcelle. En revanche, 17 producteurs estiment que les variations de rendement à l'intérieur d'une même parcelle sont principalement liées à d'autres facteurs, comme le climat ou les maladies.

Les sols sont décrits ainsi :

- Couleur des sols :
 - « Bonne » zone : 55% rouge, 33% noir/marron, 12% blanc,
 - « Mauvaise » zone : 10% rouge, 30% noir/marron, 60% blanc.
- Texture :
 - « Bonne » zone : 50% argile, 50% sable,
 - « Mauvaise » zone : 26% argile, 74% sable.
- Structure :
 - « Bonne » zone : 75% gravier, 25% aucun,
 - « Mauvaise » zone : 38% gravier, 62% aucun.

Ces descriptions montrent que, les zones de bonne production sont généralement décrites comme graveleuse et rouges. À l'inverse, les zones de faible production sont souvent décrites comme sableux et blancs.

En comparant les caractéristiques que les producteurs décrivent des zones de bonne et de mauvaise production, nous retrouvons des tendances similaires à celles exprimées dans leurs perceptions générales d'un bon sol à cacao (Tableau 7).

Tableau 7 : Récapitulatif des perceptions et description des sols selon les producteurs

	Couleur	Texture	Granulométrie
Perceptions générales d'un bon sol à cacao	Rouge (47%) Noir (50%) Blanc (3%)	Argile (63%) Sable (37%)	Gravier (67%) Aucun (33%)
Description des sols des zones productives	Rouge (55%) Noir/marron (33%) Blanc (12%)	Argile (50%) Sable (50%)	Gravier (75%) Aucun (25%)
Perceptions générales d'un mauvais sol à cacao*	Blancs (20%) ND (80%)	Sable (20%) ND (80%)	Aucun (33%) ND (67%)
Description des sols des zones improductives	Blanc (60%) Noir/marron (30%) Rouge (10%)	Sable (74%) Argile (26%)	Aucun (62%) Gravier (38%)

*ND : Non déterminé (cf. partie Caractéristiques perçues d'un mauvais sol en général)

Nous observons une forte cohérence entre les perceptions générales des producteurs et les descriptions des sols des zones productives ou improductives. Cela suggère que leur représentation d'un bon ou d'un mauvais sol pour la production de cacao découle principalement de leur expérience de terrain, plutôt que d'un apprentissage ou de récits d'autres cultivateurs.

Par exemple, les bons sols à cacao sont majoritairement perçus comme rouges (47 %) ou noirs (50 %), argileux (63 %), et riches en graviers (67 %). Ces caractéristiques sont très proches de celles décrites dans les zones observées comme productives, où les sols sont décrits comme rouges (55 %), argileux (50 %), et également riches en graviers (75 %).

En revanche, pour les sols jugés mauvais, une différence apparaît au niveau de la texture. Les sols improductifs sont majoritairement décrits comme sableux (74 %), mais dans les perceptions générales, les mauvais sols sont seulement perçus comme sableux à 20 %. Cette différence pourrait s'expliquer par une difficulté à distinguer certaines textures : les producteurs pourraient

décrire des sols argileux avec graviers comme étant sableux, ce qui influencerait leur perception générale d'un mauvais sol à cacao.

Nous rappelons que la moitié des producteurs associe ces différences de production intra-parcellaire comme dû à des facteurs hors sols (maladie, climat) mais qui peuvent être en lien avec le sol comme la différence des zones à résister à la sécheresse qui peut être reliée à la réserve utile du sol mais le facteur sol n'est pas intégré dans la perception du producteur.

Ces perceptions constituent une première lecture de la qualité des sols fondée sur l'expérience quotidienne. Pour identifier les convergences et différences, nous les avons confrontées à un diagnostic agropédologique standardisé sur les mêmes zones, afin d'en comparer les indicateurs observés.

3.4. Comparaison avec le diagnostic agropédologique

Cette partie traite de la troisième problématique : Les perceptions sont-elles en accord, partiellement ou non, avec une lecture agropédologique plus « classique » ?

Il faut garder en mémoire que le diagnostic agropédologique n'a pu être réalisé que dans la zone de la Mé donc les résultats ci-dessous sont à interpréter pour cette région et son contexte mais également pour les producteurs de cacao de l'échantillonnage.

3.4.1. Zones identifiées par le producteur

Tableau 8 : Densité et productivité des zones identifiées par les producteurs

Zone identifiée par le producteur	Densité moyenne de cacao (en nombre de pied par hectare)	Productivité moyenne (en nombre de cabosse par hectare)	Productivité moyenne par cacao (en nombre de cabosse par pied cacao)
Bonne	1082 (± 364)	1470 (± 2780)	7 ($\pm 2,9$)
Mauvaise	800 (± 381)	94 (± 162)	1,8 ($\pm 0,2$)
pvalue	<0,001	<0,001	<0,001

Le tableau 8 montre qu'au sein d'une même parcelle les zones jugées bonnes présentent une densité moyenne de cacaoyers plus élevée que les zones jugées mauvaises. La productivité moyenne y est également nettement supérieure, avec 1470 cabosses/ha contre seulement 94 cabosses/ha dans les zones jugées mauvaises. L'écart type élevé s'explique par la présence de certaines parcelles exceptionnellement productives. Nous observons également une productivité moyenne par cacaoyer plus élevé dans les zones jugées bonnes. Ces résultats montrent que les producteurs évaluent le sol en fonction de sa capacité à produire du cacao. Autrement dit, un sol est perçu comme « bon » ou « mauvais » au regard de son aptitude à soutenir une production cacaoyère satisfaisante.

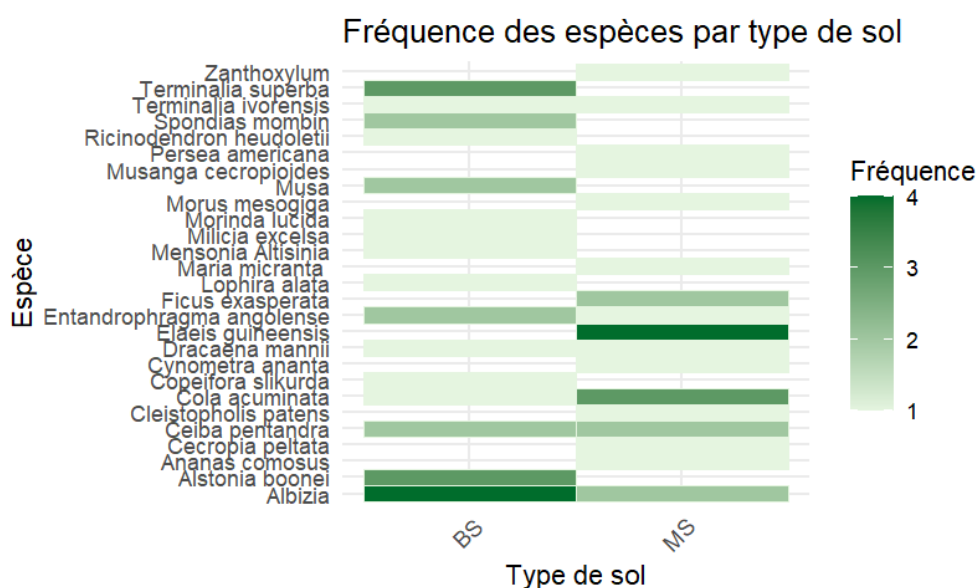


Figure 15 : Fréquence d'espèce d'arbre par zone identifiée par les producteurs (BS : zone de bon sol, MS : zone de mauvais sol)

Pour examiner la végétation associée aux zones différenciées. Le graphique XX nous présente la fréquence des arbres présents sur les zones jugées de « bon sol » et celles jugées de « mauvais sol ». Il est intéressant de noter que les arbres présents dans les zones considérées comme bonnes sont principalement le Fraké, l'Emien et des espèces du genre *Albizia*. À l'inverse, les zones jugées mauvaises sont dominées par le Ficus étrangleur, le Palmier à huile et le Colatier. Ces observations confirment en partie les éléments mentionnés précédemment par les producteurs concernant les arbres indicateurs de la qualité des sols et rejoignent également les résultats précédemment recueillis (Ettien *et al.*, 2022). En revanche, ni la surface terrière des arbres compagnons ($p = 0,24$) ni la richesse spécifique ($p = 0,82$) ne montrent de différence significative entre les deux types de zones.

Nous avons ensuite comparé les indicateurs académiques observés entre les zones désignées comme « bonnes » et « mauvaises » au sein de chaque parcelle (Tableau 9). Lorsqu'une case est remplie, cela signifie que, pour la parcelle concernée, le sol de la zone dite « mauvaise » présente, par rapport à la zone de bon sol, les caractéristiques indiquées. Lorsqu'une case est vide, cela signifie que, pour la parcelle concernée, le sol de la zone identifiée comme « mauvaise » et « bonne » présente des caractéristiques indiquées similaires.

Tableau 9 : Comparaison d'indicateurs observés entre zones jugées de "bon sol" et celles de "mauvais sol" par parcelle

Code parcelle	Moins Profond	Plus hydromorphe	Litière organique moins épaisse	Plus tassé
A1	X	X		X
A10			X	
A11		X	X	X
A12			X	
A13	X		X	X
A14	X	X	X	
A15	X		X	X
A16	X	X		
A17	X			
A3		X	X	
A36			X	X
A4		X		
A5			X	
A7	X		X	X
A8		X	X	X
A9		X		X
Total	43%	50%	68%	50%

À l'échelle des parcelles, plusieurs tendances récurrentes émergent dans les zones perçues comme « mauvaises » :

- des sols moins profonds (43 % des cas),
- une hydromorphie plus marquée (50 %),
- une litière organique plus fine (68 %),
- un tassement plus important (50 %),
- une combinaison d'hydromorphie et de faible teneur organique (25%).

Cependant lorsqu'on moyenne ces indicateurs sur l'ensemble des parcelles, les différences entre les zones « bonnes » et « mauvaises » sont statistiquement non significatives. Par exemple, la moyenne de l'épaisseur de la litière organique mesurée pour l'ensemble des zones jugées « bonnes » n'est pas statistiquement différente de celle mesurée pour l'ensemble des zones jugées « mauvaises ». Autrement dit, les valeurs moyennes ne permettent pas de discriminer clairement les deux types de zones. Cela peut s'expliquer par le fait que certaines parcelles non différenciantes (cf. tableau XX) peuvent "lisser" les moyennes globales, rendant ainsi les différences moins marquées et statistiquement non significatives.

De la même manière, la moyenne de proportion d'éléments grossiers n'est pas significativement différente entre les zones qualifiées de mauvaises (24%) et celle qualifiées de bonnes (24%), cela ne semble pas être un élément discriminant entre les deux zones. Cela rejoint la perception partagée des producteurs sur l'impact des graviers sur la qualité du sol.

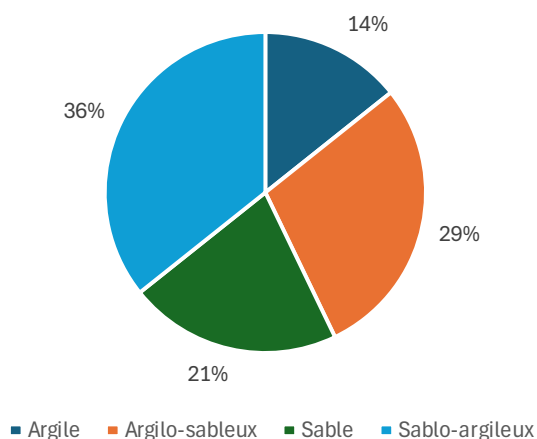


Figure 16 : Proportion de texture observée dans les zones jugées « mauvaise »

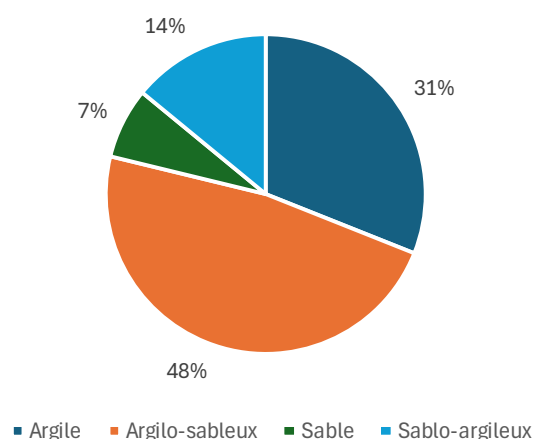


Figure 17 : Proportion de texture observée dans les zones jugées « bonne »

En revanche, l'estimation de la texture à l'aide du boudin suggèrent une tendance : les zones considérées comme « bonnes » présentent plus souvent une dominante argileuse (majorité d'argile ou d'argilo-sableux), tandis que les zones jugées « mauvaises » sont plus sableuses (majorité de sable ou sablo-argileux). Ces observations sont en accord avec les descriptions des producteurs qui décrivent les sols des zones productifs comme argileux et ceux des zones improductives comme sableux.

Concernant les indicateurs de stabilité structurale (tests à l'alcool et à l'eau), aucune différence significative n'est observée entre les zones ($p = 0,1$), pas plus que pour les teneurs en carbone organique ou en azote total ($p = 0,05$). Ces indicateurs ne semblent donc pas suffire à discriminer clairement les sols à dire de producteurs.

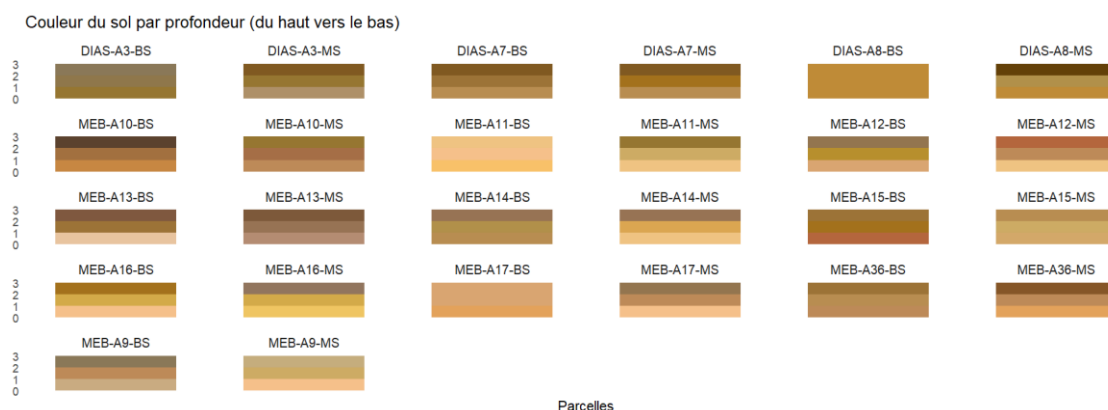


Figure 18 : Couleur du sol des zones étudiées par profondeur (3 = 0 cm, 0 = 30 cm)

Enfin, les comparaisons entre les descriptions paysannes de la couleur et de la texture du sol et les observations de terrain montrent une convergence intéressante. Les sols décrits comme rouges par les producteurs (« *Zapen-né* ») présentent dans 85 % des cas une teinte de Hue 10R selon la charte de Munsell, avec une valeur comprise entre 6 et 7. Les sols décrits comme blanc par les producteurs (« *Zapen-fi* ») présentent dans 70% des cas une teinte de Hue 10YR selon la charte de Munsell, avec une valeur comprise entre 7 et 8. En ce qui concerne les sols qualifiés de graveleux (« *Ashabu* ») ils présentent une proportion moyenne de 35 % (± 17 %) d'éléments grossiers, contre seulement 8 % (± 3 %) pour les sols décrits par les producteurs comme étant sans gravier. Ces résultats présentent un lien possible à faire entre description paysanne et les caractères observables.

3.4.2. Modèle prédictif

Ces résultats posent les bases pour explorer, par modélisation, la capacité des indicateurs (empiriques ou observés) à prédire la qualité des sols (les scripts produits en langage R ainsi que leurs sorties sont présentés en annexe n°4).

Le tableau 10 présente les résultats du modèle construit avec les indicateurs techniques. Il présente les variables dont le lien avec la perception de qualité (zone « bonne » vs « mauvaise ») est statistiquement significatif :

Tableau 10 : liste des indicateurs utilisés dans la construction du modèle et leur relation statistique avec la perception de la qualité du sol

Indicateur	Sens de la relation statistique	Significativité (pvalue)
Profondeur du sol	Positif	0,01 *
Hydromorphie (présence ou absence)	Négatif	0,002 *
Texture (du moins au plus argileux)	Positif	0,007 *
Epaisseur litière organique	Positif	0,4
Tassement (% mottes Δb)	Négatif	<0,001 *
Pourcentage d'élément grossier	Négatif	0,02 *
Teneur en carbone organique	Positif	0,7
Teneur d'azote total	Négatif	0,9

*significatif à $p < 0,05$

Les variables les plus discriminantes pour différencier les zones qualifiées de « bonnes » ou « mauvaises » par les producteurs sont dans l'ordre le tassement, la texture, l'hydromorphie, la

profondeur du sol utile et la proportion d'éléments grossiers. L'interprétation du sens des relations statistiques permet de tirer les enseignements suivants :

- Plus le tassement (% mottes Δb) est élevé, moins le sol est jugé favorable.
- Plus la texture est argileuse, plus le sol est jugé favorable.
- La présence d'hydromorphie est associée à un sol défavorable.
- Plus la profondeur est importante, plus le sol est jugé favorable.
- Plus la part d'éléments grossiers est élevée, plus le sol est jugé défavorable.

Ces résultats corroborent en partie les observations précédentes sur les facteurs mesurés les plus discriminants. Toutefois, deux écarts notables émergent :

- L'épaisseur de litière, pourtant identifiée auparavant comme discriminante, ne ressort ici pas significative.
- Inversement, la présence d'éléments grossiers, initialement peu différenciante, se révèle ici statistiquement significative.

Parmi les indicateurs empiriques, seule une tendance proche d'être significative a été observée concernant la présence décrite de graviers. Cette absence de significativité semble confirmer l'hétérogénéité observée précédemment dans la manière dont les producteurs décrivent les sols de leurs « bonnes » et « mauvaises » zones. Malgré certaines tendances générales relevées entre les zones dites « bonnes » et « mauvaises », les indicateurs décrits sont trop variables selon les producteurs, ce qui limite leur significativité dans le modèle.

En comparant les performances prédictives des deux modèles, celui construit à partir des indicateurs empiriques présente un R^2 de 36 %, contre seulement 11 % pour le modèle basé sur les variables techniques. Ce résultat peut suggérer une meilleure capacité prédictive des critères locaux avec la manière dont les producteurs décrivent leurs sols. Toutefois, cette différence doit être interprétée avec précaution, car elle peut refléter un biais de confirmation : le modèle empirique vise à prédire une classification issue elle-même des déclarations des producteurs, à partir d'autres éléments subjectifs (ce qui peut mécaniquement renforcer la cohérence interne du modèle).

3.5. Discrimination des systèmes de culture

Cette dernière partie cherche à répondre à la quatrième problématique : Est-ce que ces indicateurs empiriques et/ou techniques discriminent des systèmes de culture ?

Tableau 11 : Indicateurs techniques observés en fonction des systèmes de culture

Système de culture	Note moyenne de stabilité structurale du sol (0 = forte ; 5 = faible)	Épaisseur moyenne de la litière organique (en cm) *	Teneur moyenne de carbone sur 0-30 (en %)	Teneur moyenne d'Azote sur 0-30 (en %)
Conventionnel jeune	3,5 (±1,4)	4,4 (±2,7) a	2,1 (±1,9)	0,15 (±0,11)
Conventionnel intensif	3,1 (±1,2)	5,5 (±3,5) a	2,2 (±1,3)	0,16 (±0,08)
Conventionnel agroforestier	2,3 (±2)	6,1 (±3,1) b	3,1 (±1,4)	0,21 (±0,09)
Bio agroforestier	3,8 (±1,2)	6 (±4,7) b	2,6 (±0,9)	0,17 (±0,05)
P-value	0,09	0,04	0,05	0,05

* a et b indiquent les groupes significativement différents entre eux selon le test post hoc de Tukey ($p < 0,05$). Les systèmes partageant une même lettre ne présentent pas de différence significative entre eux, tandis que ceux associés à des lettres différentes appartiennent à des groupes statistiquement distincts.

Le tableau 11 nous présente que le système « conventionnel agroforestier » présente les valeurs les plus élevées en termes de teneur moyenne en carbone (3,1 % ±1,4) et en azote (0,21 % ±0,09), ainsi qu'une bonne stabilité structurale et une épaisseur importante de litière organique (6,1 cm ±3,1). Ces résultats suggèrent un effet bénéfique du couvert arboré et d'une gestion modérée des intrants sur la qualité du sol. À l'opposé, le système « conventionnel jeune » se distingue par une faible stabilité structurale, une épaisseur de litière réduite (4,4 cm ±2,7), et des teneurs en carbone (2,1 % ±1,9) et azote (0,15 % ±0,11) plus faibles, indiquant une qualité de sol plus dégradée. Le système « bio agroforestier », malgré une stabilité structurale faible, présente une épaisseur de litière élevée (6 cm ±4,7) et des teneurs modérées en carbone et azote. Enfin, le « conventionnel intensif » affiche des teneurs faibles en matière organique (C : 2,2 %, N : 0,16 %). Les différences observées sont statistiquement significatives ou proches du seuil (p -value < 0,05) pour l'épaisseur de la litière, le carbone et l'azote, suggérant que les pratiques culturales influencent significativement la qualité des sols.

Si nous recroisons ces résultats avec les caractéristiques de chaque système de culture voici ce que nous pouvons supposer :

Les systèmes présentant une surface terrière plus élevée montrent des taux de matière organique supérieurs et une litière organique plus épaisse que les systèmes en plein soleil. L'apport régulier de débris végétaux diversifiés issu des arbres associés semble favoriser l'enrichissement du sol en carbone organique et en azote (Schmidt *et al.*, 2025). À l'inverse, dans les systèmes de type plein soleil, la diversité végétale réduite et l'exposition directe aux éléments climatiques semblent limiter la production de litière et accélérer la minéralisation de la matière organique.

Par ailleurs, l'usage d'herbicides et d'insecticides dans les systèmes conventionnels non agroforestier semble affecter négativement la formation et la stabilité des agrégats. A cela s'ajoute la faible diversité de la litière monospécifique en l'absence d'arbres auxiliaires défavorable à l'agrégation du sol réduisant la stabilité structurale (Godefroy, Jacquin, 1975).

Enfin, la faible stabilité observée dans le système bio agroforestier pourrait s'expliquer par plusieurs hypothèses : soit l'horizon échantillonné correspondait essentiellement à une couche de litière en décomposition équivalent à un compost peu structuré, soit la nature du sol des zones échantillonnées n'est pas favorable à la formation d'agrégats stables.

Les résultats obtenus sur les paramètres physico-chimiques des sols trouvent dans l'ensemble un écho dans les perceptions exprimées par les producteurs. Ces derniers identifient en effet l'agroforesterie comme une pratique bénéfique pour la qualité des sols, ce qui est cohérent avec les teneurs plus élevées en carbone et en azote observées dans les systèmes agroforestier. De même, les épaisseurs de litière plus importantes mesurées dans ces systèmes confirment l'idée partagée par les producteurs selon laquelle la présence d'arbres enrichit le sol via l'apport de matière organique.

Concernant la dégradation des sols, les producteurs pointent du doigt l'exposition au soleil, le manque de couverture végétale et l'usage excessif de produits chimiques comme facteurs aggravants. Ces perceptions rejoignent les constats sur les systèmes conventionnels en plein soleil qui présentent une stabilité structurale faible et des teneurs plus basses en éléments organiques. Le lien perçu entre ensoleillement, sécheresse et appauvrissement du sol semble donc confirmé par les données mesurées, tout comme l'effet potentiellement délétère des herbicides et insecticides sur la structure et la fertilité du sol.

4. Discussion Générale

4.1. Convergence ou divergence

L'analyse des zones intra-parcellaires identifiées comme « bonnes » ou « mauvaises » par les producteurs montre qu'un certain nombre d'indicateurs agropédologiques permettent effectivement de différencier ces deux types de sols. Ces indicateurs peuvent alors être comparés aux critères mobilisés par les producteurs pour juger la qualité de leurs sols.

Plusieurs indicateurs techniques se révèlent discriminants entre les zones identifiées comme bonnes et celles jugées mauvaises :

- La texture du sol : les zones considérées comme bonnes sont majoritairement argileuses ou argilo-sableuses, tandis que les zones mauvaises sont plus souvent sableuses.
- La profondeur du sol ou de la litière organique : certaines zones jugées mauvaises présentent une profondeur plus faible et un horizon organique plus mince.
- Le tassement : une proportion plus élevée de mottes dures (delta B) dans les zones improductives.

D'autres indicateurs se révèlent non discriminants entre les deux zones jugées comme « mauvaise » et « bonne » :

- La stabilité structurale du sol, mesurée par les tests à l'eau ou à l'alcool, ne montre pas de différence significative entre les zones jugées bonnes et mauvaises.
- La teneur en carbone organique ou en azote total ne diffère pas significativement entre les zones identifiées bonne et mauvaise.

Ces divergences entre perception paysanne et diagnostic technique révèlent des cadres de lecture différents :

- Des zones anciennes, jugées « mauvaises » par les producteurs du fait d'un faible rendement, peuvent présenter une bonne teneur en matière organique ou une bonne structure. Le mode de gestion n'est peut-être pas adapté pour optimiser la production de ces zones.
- Inversement, des zones récemment mises en culture, perçues comme bonne, peuvent montrer des signes de dégradation précoce (compaction, faible stabilité) non perçus par les producteurs, car encore masqués par des rendements élevés.

Ces écarts montrent que les producteurs évaluent la qualité du sol en lien direct avec le rendement observé, alors que les indicateurs agropédologiques peuvent éclairer des dynamiques plus lentes : appauvrissement, perte de structure, diminution de l'activité biologique.

Il est également possible que certains des indicateurs utilisés ou la méthode pour les relever ne soient pas entièrement adaptés pour caractériser de manière pertinente la qualité des sols dans le contexte de cette culture. Des paramètres tels que la stabilité structurale, ou encore les teneurs en carbone et en azote, pourraient ne pas refléter de façon adéquate les différences réellement perçues sur le terrain ou celles ayant une signification agronomique tangible entre les zones étudiées.

Cette étude s'inscrit dans une démarche plus large visant à construire un protocole de lecture des sols adapté aux systèmes cacaoyers. Cette première étape permet déjà d'identifier plusieurs indicateurs discriminants qui semblent cohérents avec les différences perçues entre zones jugées « bonnes » ou « mauvaises » pour la culture du cacao.

Cependant, deux hypothèses peuvent donc être formulées. Soit les indicateurs que nous avons identifiés comme discriminants suffisent à expliquer les différences perçues entre les zones « bonnes » et « mauvaises ». Soit d'autres propriétés du sol, non mesurées ici, jouent un rôle déterminant dans la productivité observée et mériteraient d'être explorées à l'aide de nouveaux indicateurs. Par exemple, les besoins nutritionnels du cacaoyer en phosphore et en potassium étant important (Snoeck, Dubos, 2018), il serait pertinent de disposer d'un indicateur de terrain simple et opérationnel pour estimer ces éléments, une des voies de développement du spectromètre.

Il est important de rappeler que la qualité d'un sol, telle qu'évaluée par des indicateurs techniques ou académiques, repose sur un ensemble de facteurs multiples, interactifs et parfois redondants (Vallée, 1968). Cette complexité peut limiter la capacité de certains indicateurs isolés à refléter pleinement la réalité du terrain.

4.2. Utilité des indicateurs

Les résultats de cette étude mettent en évidence que certains indicateurs de terrain, simples à observer et à interpréter, permettent de faire le lien entre perception paysanne et diagnostic agropédologique. Leur accessibilité en fait des outils concrets pour l'accompagnement technique des producteurs.

Des critères tels que la texture, la couleur du sol, la profondeur, ou encore la présence d'une litière abondante sont observables et opérationnels sur le terrain. Ils peuvent ainsi être utilisés comme base d'un dialogue avec les producteurs et proposer des orientations dans le choix de pratiques adaptées au sol, notamment dans un contexte où les moyens de diagnostic sont limités.

Par exemple :

- Une texture sableuse et/ou une faible épaisseur de sol peut justifier la mise en place d'une couverture arborée ou l'apport de matière organique pour développer une litière organique afin de maintenir l'humidité du sol (Lin, 2010).
- L'observation d'un sol tassé à la bêche peut inciter à favoriser la vie du sol par l'introduction d'arbres auxiliaires et/ou de matière organique diversifiée pour avoir des formes variées de matière organique (Godefroy, Jacquin, 1975).
- L'identification de sols rouges riches en gravier dans les zones productives peut renforcer/introduire des pratiques agroforestières, mettant en lumière leur effet sur le maintien de la qualité du sol et de la productivité (Amponsah-Doku *et al.*, 2022).

Par ailleurs, certains indicateurs peu visibles mais mesurables (stabilité structurale, teneur en C ou en N) peuvent à terme être utilisés comme moyen de sensibiliser les producteurs aux dégradations « invisibles » du sol, en particulier dans les jeunes plantations et/ou les systèmes intensifs où le rendement reste encore élevé mais où la dégradation du sol a débuté.

Dans ce sens, les indicateurs techniques de terrain testés dans cette étude peuvent avoir une fonction pédagogique et/ou d'aide à la décision, en permettant aux producteurs de mieux observer l'évolution de leurs sols, d'anticiper les risques de dégradation, et d'adapter en conséquence le mode de gestion de leurs cacaoyères.

Ainsi, en utilisant ces indicateurs sur le terrain, les techniciens peuvent construire des démarches d'accompagnement appropriables par les producteurs, basées sur des observations partagées et contextualisées.

4.3. Limites méthodologiques du protocole

Cette étude a mobilisé un protocole de diagnostic agropédologique pour confronter les perceptions paysannes. Si cette démarche s'est avérée opérationnelle sur le terrain, certains choix méthodologiques présentent toutefois des limites qui méritent d'être discutées.

Les parcelles inventoriées dans cette étude ont été sélectionnées parmi celles déjà accompagnées par Nitidæ. Or, certaines de ces parcelles ont été ciblées pour une transition vers des systèmes agroforestiers précisément parce qu'elles avaient été identifiées comme peu productives. Ce mode de sélection pourrait introduire un biais potentiel car l'improductivité constatée peut être due à des caractéristiques pédologiques intrinsèques peu favorables à la

culture du cacao. Autrement dit, certaines parcelles classées aujourd'hui comme « bio agroforestières » ont pu être implantées sur des sols dont la nature intrinsèque n'est pas favorable à avoir un niveau de fertilité élevé même en présence de bonnes pratiques de gestion. Cela pourrait expliquer pourquoi les indicateurs de qualité de sol (stabilité structurale, teneur en matière organique, etc.) restent faibles dans ces systèmes malgré des pratiques qui sembleraient favorables à la qualité du sol. Ce potentiel biais de sélection complique l'attribution claire des différences de qualité de sol aux seules pratiques de gestion, puisque certaines limitations relèvent peut-être davantage de la nature du sol que du mode de gestion.

De plus, la caractérisation du gradient agroforestier et de la densité de cacaoyers, utilisée pour classer les systèmes de culture ont été estimées à partir de relevés réalisés sur deux zones de 400 m² (soit 800 m² au total), pour des parcelles ayant une superficie moyenne de 3,2 ha. Cette faible proportion observée peut limiter la représentativité des mesures, en particulier si les parcelles présentent une forte hétérogénéité spatiale, entraînant une mauvaise classification du système. Cette méthode a été choisie pour des raisons de simplicité et rapidité mais pourrait à l'avenir être menée sur une part plus importante de la parcelle.

Pour ces deux raisons, les comparaisons entre systèmes de culture doivent être interprétées avec prudence.

Le test bêche, issu des travaux de Peigné *et al.* (2016), est conçu pour caractériser le niveau de compaction structurale du sol en contexte de grande culture mécanisée. Dans les systèmes pérennes non travaillés mécaniquement comme la cacaoculture, ce test présente une sensibilité réduite : les agrégats sont fortement influencés par l'activité biologique (racinaire et faunique), rendant l'interprétation de la classe de tassement moins pertinente, c'est pour cela que nous avons préféré utiliser la proportion de motte Δb comme indicateur de tassement. De plus, la texture a été approximée lors de ce test à l'aide du test du boudin, influencé par le niveau d'humidité du sol, la présence de MO, l'expérience du pratiquant.

La méthode du test bêche propose une estimation visuelle de la charge caillouteuse mais nous avons retenu dans notre protocole la mesure de la proportion d'éléments grossiers que nous avons estimé plus objective. Cependant, la tarière utilisée pour le prélèvement des échantillons a pu, en rencontrant de gros éléments, les contourner ou les repousser hors de l'échantillon, réduisant ainsi artificiellement leur volume dans le sol analysé. Cette sous-estimation possible pourrait expliquer pourquoi l'indicateur « proportion d'éléments grossiers » ne s'est pas révélé discriminant entre les zones identifiées comme « bonnes » ou celles « mauvaises ». Il serait donc pertinent de développer une méthode, qui réduise la subjectivité de l'estimation visuelle tout en limitant les biais de sélection liés au prélèvement, afin d'obtenir une mesure plus fiable du volume occupé par les éléments grossiers dans le sol.

La stabilité structurale évaluée par un protocole simplifié inspiré des travaux de Hérody (2014) et de Le Bissonnais (1995), a montré des limites : une majorité d'échantillons présente une forte à très forte désagrégation. La notation développée fait une moyenne de la désagrégation à l'alcool et l'eau mais cette notation ne prend pas en compte les cas où il y a désagrégation dans l'eau mais pas dans l'alcool. En l'absence d'un référentiel quantitatif calibré pour les contextes tropicaux et cacaoyers, cette méthode reste essentiellement qualitative, ce qui limite son pouvoir discriminant entre zones ou systèmes de culture. Il serait donc pertinent de développer une

échelle de référence adaptée aux contextes tropicaux pour mieux capturer les nuances de stabilité structurale.

La quantification de la productivité a été réalisée par comptage du nombre de cabosses sur une surface de 400 m² en période de petite traite, avec un décalage d'un mois entre la première et la dernière parcelle inventoriée. Or, la dynamique phénologique du cacaoyer et de la variété peut induire des variations importantes. De plus, le comptage brut ne tient pas compte du calibre des cabosses ni de leur taux de remplissage, ce qui limite la précision de l'estimation de la productivité. Malgré ces limites, la méthode s'est révélée suffisamment robuste pour distinguer des écarts significatifs de productivité entre les zones qualifiées de « bonnes » et « mauvaises », et entre certains systèmes de culture. Le protocole permet donc déjà une première évaluation cohérente du rendement bien que perfectible.

Afin de garantir la comparabilité entre les deux modèles, ils ont été construits à partir d'un même sous-échantillon d'individus, basé sur des observations communes, de façon à limiter les effets de variation dus à l'échantillonnage. Cette approche a nécessité d'exclure de l'analyse les sites de la zone de Dibobly pour lesquels seuls les indicateurs empiriques étaient disponibles. La réduction de la taille initiale de l'échantillon a entraîné une perte d'une partie de l'information disponible, potentiellement utile pour renforcer la robustesse ou la représentativité du modèle empirique.

Enfin, le modèle de prédiction mobilisé durant cette étude pour le spectromètre, repose sur un jeu de calibration de 447 échantillons, dont la grande majorité provient de la zone d'étude. Cette couverture locale permet une bonne représentativité pour les parcelles analysées, mais limite pour l'instant la portée du modèle à l'échelle nationale. De plus, bien que le modèle prédictif affiche des performances satisfaisantes (Carbone : $R^2 = 0,82$; RMSE = 0,41 ; Azote : $R^2 = 0,79$; RMSE = 0,45), une incertitude élevée persiste sur les faibles teneurs en carbone et en azote, comme l'indique la dispersion visible sur le nuage de points « prédit-observé » (présenté en annexe n°5). Cette incertitude pourrait être problématique, car les valeurs basses sont primordiales pour diagnostiquer des situations de dégradation du sol.

4.4. Recommandations

Rappelons que l'objectif principal du projet incluant cette étude est de coconstruire, avec les producteurs, deux outils complémentaires : un guide d'observation du sol et un guide d'évaluation du sol, adaptés au contexte local.

Quelles est l'utilité d'un guide co-construit au sein du système de conseil agronomique ivoirien ?

Malgré l'importance croissante accordée à la fertilité des sols dans les discours sur l'avenir de la cacaoculture en Côte d'Ivoire, les actions concrètes pour évaluer, suivre ou améliorer l'état des sols restent encore limitées sur le terrain. Cette lacune est régulièrement exprimée par les producteurs, qui déplorent un manque d'accompagnement technique, notamment en matière de conseil agronomique.

L'ANADER, organisme chargée de cette mission est perçue comme peu présente, parfois qualifiée de structure trop administrative. De plus, un manque de formation spécifique des

techniciens agricoles à la lecture et à l'interprétation des sols limite également leur capacité à appuyer les producteurs de manière opérationnelle sur ces questions.

Dans ce contexte, La création d'un guide d'évaluation pédologique accessible et utilisable par n'importe quel producteur permettrait aux producteurs d'avoir leur propre outil de diagnostic en mains et de ne pas attendre l'intervention de structures de conseils en charge de ces évaluations.

Quelle approche pour un guide d'observation ?

Les entretiens réalisés ont permis de mettre en évidence que les producteurs utilisent des noms pour qualifier leurs sols qui traduit sa couleur et sa texture. Ces descripteurs constituent une base importante de leur perception sensorielle des sols. Mais, ces observations ne se limitent pas à la couleur et à la texture : les producteurs mobilisent également d'autres indicateurs empiriques : la rétention ou le drainage de l'eau, la présence de certaines espèces végétales, ou encore la présence ou non de graviers.

Dans cette perspective, il serait pertinent de regrouper et formaliser ces indicateurs locaux afin de construire une typologie des sols à partir des savoirs paysans. En associant chaque catégorie locale à des types de sols dont les propriétés pédologiques sont connues, il deviendrait possible d'établir des correspondances entre les savoirs locaux et les connaissances scientifiques. Autrement dit, on pourrait relier les catégories paysannes à un référentiel pédologique existant (comme celles de la FAO) ou en développer un adapté au contexte.

Ce référentiel permettrait ensuite d'obtenir les propriétés et capacités agronomiques des sols à partir des observations des producteurs, rendant l'outil d'autant plus accessible pour une utilisation en autonomie ou en accompagnement technique.

Pour cela, il serait nécessaire de poursuivre les entretiens, en s'appuyant sur une grille d'indicateurs plus exhaustive, puis de recourir à une analyse multivariée pour identifier des clusters de sols à partir des indicateurs paysans. Chaque cluster pourrait ensuite être caractérisé par des observations pédologiques classiques, permettant de faire le lien entre perceptions locales et classes pédologiques.

Voici un résumé schématique de la démarche (Figure 19) :

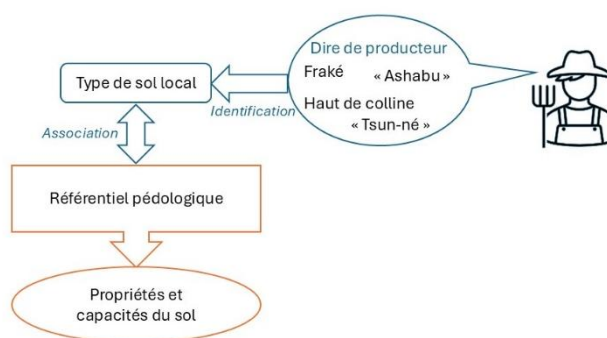


Figure 19 : Résumé schématique de la démarche pour construire un référentiel pédologique à partir des dires de producteurs

Quelle approche pour un guide d'évaluation ?

Les producteurs semblent principalement juger la qualité d'un sol à la vigueur des cacaoyers présents sur ce sol. En effet, ils vont être capable d'identifier assez finement :

- Des zones où le semis de cacao ne réussit pas
- Des zones où la croissance du cacao s'arrête après quelque année
- Des zones où la production du cacao est plus faible

Ces connaissances fines pourraient être utilisées comme porte d'entrée pour un guide d'évaluation rapide des sols en associant les caractéristiques agronomiques identifiées par les producteurs à des caractéristiques du sol.

Les hypothèses que nous pouvons d'ores et déjà émettre (Tableau 12) :

Tableau 12 : Caractéristiques de sols avec leurs conséquences sur le cacao ainsi que les processus en cause

Caractéristiques sols	Processus	Conséquences sur le cacao
Sols peu profonds	RU basse + réservoir à nutriment plus petit	Mortalité semis importante Arrêt de croissance
Sols hydromorphe	Racines asphyxié incapable de prélever des nutriments	Arrêt de croissance Faible production
Sols moins organiques	Moins de nutriment produit par la dégradation de la MO	Faible production Faible croissance
	Moins de protection du sol moins d'humidité + si sol drainant	Mortalité semis importante
Sols tassés	Développement racinaire + difficile Moins de minéralisation	Faible croissance Faible production

Enfin en prenant les caractéristiques agronomiques identifiées des producteurs, nous pouvons imaginer un arbre de décision comme outil d'évaluation (Figure 20) :

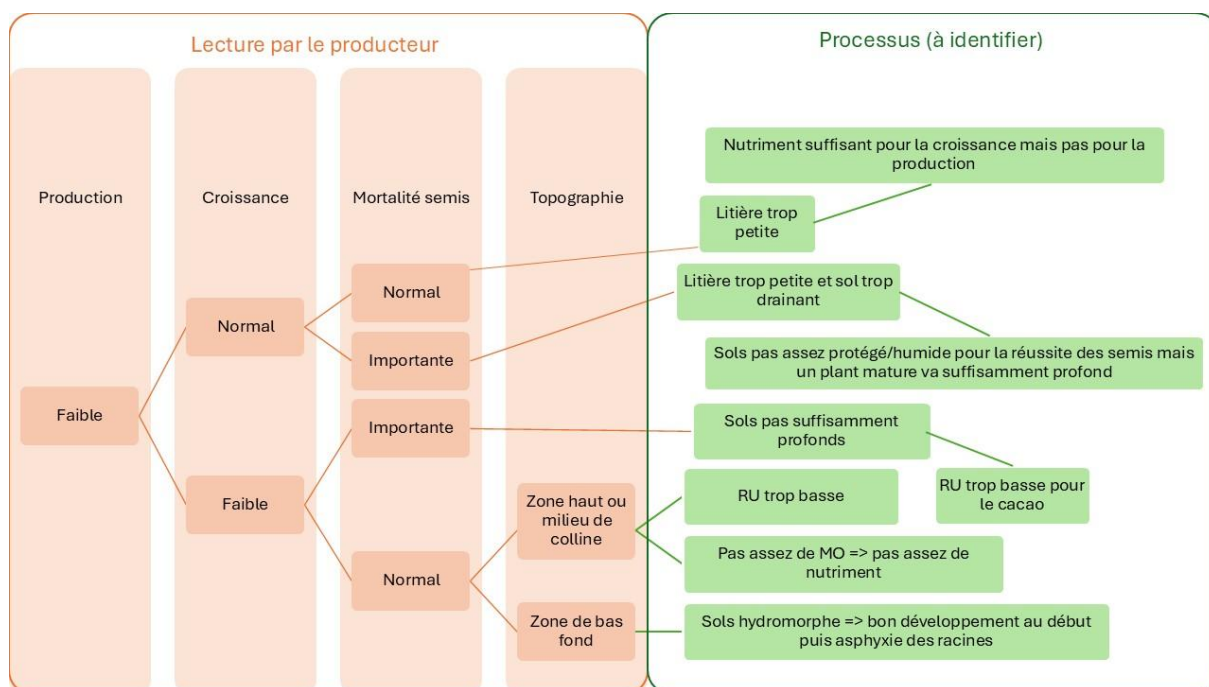


Figure 20 : Schéma d'un format d'outil d'évaluation du sol

Après que les processus et caractéristiques du sol responsable de la faible vigueur du cacao aient été identifiés, il faudrait orienter les producteurs vers des pratiques correctives ciblées, afin de limiter les impacts négatifs de ces processus et d'améliorer la santé du sol et des plantations.

Quelle approche pour un accompagnement ?

Pour aller encore plus loin dans l'accompagnement des producteurs, il serait pertinent de développer des cartes de vulnérabilité des sols. En effet, certains caractères observés sont liés à des facteurs topographiques (Freycon, 2023). De plus, les résultats montrent que les systèmes de culture influencent la qualité des sols. Or, ces deux types d'informations sont déjà en partie disponibles grâce à la télédétection et aux données de terrain (Tiodionwa, Grinand, 2023).

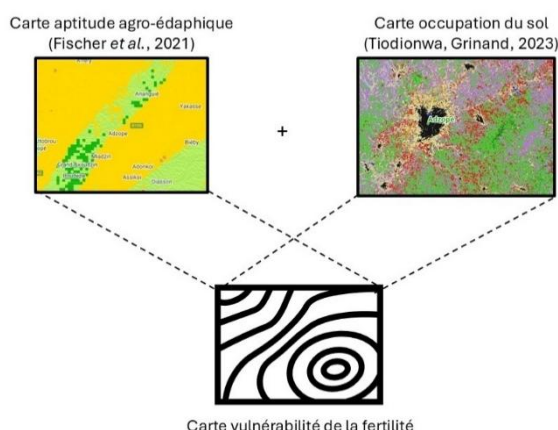


Figure 21 : Schéma du développement d'une carte de la vulnérabilité de la fertilité

En croisant ces éléments avec des indicateurs de risque de dégradation des sols, il devient possible de produire des cartes de vulnérabilité des sols. Ces cartes permettraient d'identifier les

zones les plus vulnérables, et donc de prioriser les actions d'accompagnement, qu'il s'agisse de conseils agronomiques ou d'actions de restauration. Un tel outil renforcerait ainsi l'efficacité des dispositifs d'appui technique en les ciblant de manière plus fine et plus pertinente.

Quelle démarche d'accompagnement ?

En combinant les outils décrits ci-dessus (guide d'observation, guide d'évaluation, carte de vulnérabilité), on peut proposer une démarche structurée en trois grandes étapes, résumée dans la figure 22 :

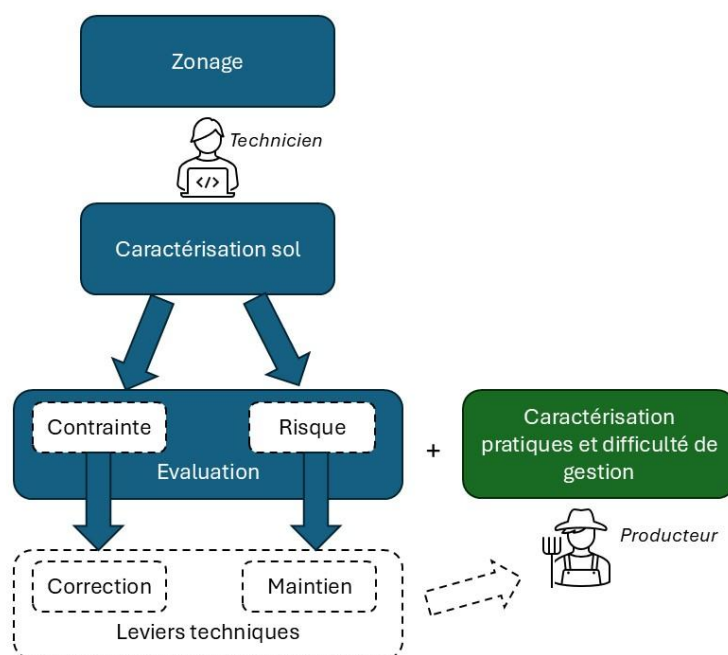


Figure 22 : Schéma de la démarche d'accompagnement sol pour les producteurs

Le déroulé d'accompagnement pourrait se dérouler en trois étapes :

Première étape : le zonage initial.

Un premier niveau d'analyse consisterait à réaliser un zonage à partir de la carte de vulnérabilité de la fertilité (Figure 21). Cet outil permettrait d'orienter le technicien vers les zones prioritaires.

Deuxième étape : l'observation agropédologique.

Une fois les zones ciblées, une caractérisation fine des sols serait réalisée à l'aide d'un outil d'observation de terrain (Figure 19). Cette étape viserait à identifier les propriétés et capacité du sol et en déduire leur sensibilité à certains facteurs.

Troisième étape : Évaluation conjointe avec le producteur

Un échange approfondi avec le producteur permet d'associer :

- Les pratiques culturales mises en œuvre,
- Les symptômes observés sur la culture,
- Aux propriétés du sol identifiées.

L'outil d'évaluation (Figure 20) pourra être mobilisé pour déterminer si une propriété du sol identifiée comme "à risque" se traduit ou non par une contrainte réelle sur le cacao.

En fonction du niveau de sensibilité :

- Si le sol est en situation de risque potentiel, des techniques de maintien ou de prévention peuvent être recommandées ;
- Si la contrainte est déjà avérée, des techniques correctives ciblées seront proposées.

Il est possible que pour un même type de sensibilité mais de différents niveaux, les leviers techniques soient similaires, mais que leur intensité ou leur fréquence de mise en œuvre varie selon le niveau.

5. Conclusion

5.1. Réponse à la problématique

Cette étude visait à explorer la perception paysanne de la qualité des sols dans les plantations de cacao en Côte d'Ivoire, en la confrontant à un diagnostic agropédologique reposant sur des indicateurs observables. Elle s'inscrit dans la création d'outil sol par une démarche interdisciplinaire et participative dans le cadre du projet CacaoForest.

Cette étude a montré que les producteurs utilisent des noms vernaculaires pour nommer la couleur et la texture d'un sol leur donnant une idée de la qualité du sol. Ils utilisent également d'autres indicateurs visuels pour juger de la qualité du sol comme la présence d'éléments grossiers mais aussi une diversité de bioindicateurs végétaux ou faunistiques.

Les descripteurs observés/mesurés montrent une certaine cohérence avec les descriptions paysannes. Les producteurs décrivent les sols des zones les plus productives comme argileuses et les sols des zones improductives comme sableuses ce qui correspond aux observations de terrain. Mais cela diverge avec les perceptions générales des producteurs qui ne perçoivent pas forcément les mauvais sols à cacao comme sableux. Les producteurs pourraient décrire certains sols de zones productives argileux comme étant sableux car ils contiennent une proportion importante de graviers. La présence d'éléments grossiers ne semble pas être un indicateur suffisamment discriminant pour juger de la qualité d'une zone que cela soit dans la description, la perception ou l'observation, une forme de cohérence entre savoirs puisque tous convergent vers une indétermination de cet indicateur. La composition chimique et la stabilité des agrégats ne sont pas suffisamment discriminantes entre les zones identifiées par les producteurs.

L'analyse des systèmes de culture met en évidence une cohérence entre les pratiques perçues comme positives ou négatives pour le sol avec ce qui est observé sur les systèmes de culture. Les systèmes combinant agroforesterie et fertilisation, deux pratiques perçues comme améliorant la qualité du sol, sont ceux qui présentent les sols les mieux protégés par une litière organique et une bonne stabilité structurale. À l'inverse, les systèmes en plein soleil utilisant des pesticides, deux pratiques perçues comme dégradant la qualité du sol, montrent des signes de dégradation du sol, moins protégés et moins riches en nutriments.

Cette étude confirme l'intérêt d'une approche intégrative pour évaluer la qualité des sols dans les systèmes cacaoyers. Elle invite à poursuivre les efforts de coproduction des savoirs, notamment en élargissant le panel de producteurs.

5.2. Valeurs d'ingénieur

Dans ce travail, j'ai voulu comprendre comment les producteurs perçoivent la fertilité de leurs sols, et confronter cette vision à celle que proposent les indicateurs académiques. En croisant ces deux approches, j'ai renforcé mon esprit critique et mon ouverture d'esprit, en accueillant d'autres formes de connaissance/savoir et en remettant en question les miennes.

J'ai cherché à construire un dialogue entre science et terrain, en rendant des méthodes claires, concrètes et utiles pour les producteurs. C'était également pour moi un engagement : rendre la

connaissance accessible (pédagogie), compréhensible et adaptée au contexte local (proximité), tout en respectant les savoirs et l'expérience des acteurs (écoute et respect).

En intégrant les représentations paysannes dans une analyse scientifique, j'ai voulu valoriser des savoirs souvent écartés (équité et reconnaissance). Ce projet est aussi un acte de responsabilité environnementale, en proposant des pistes adaptées au contexte pour préserver la fertilité des sols et renforcer la durabilité des systèmes cacaoyers. Selon moi, le meilleur moyen d'avoir un impact durable est de réussir à lier ces deux visions afin d'assurer la meilleure implication possible des agriculteurs dans ces pratiques. Les producteurs deviennent acteurs de la création de connaissance et ne sont pas de simples récepteurs d'informations déjà formatés.

Enfin, ce travail a été pour moi une façon d'exprimer mon rôle de citoyen-ingénieur : faire dialoguer des mondes qui s'ignorent parfois, défendre une approche ancrée à la fois dans les faits et dans la réalité vécue (rigueur et intégrité), et contribuer, à ma manière, à une agriculture plus juste, plus durable et plus responsable.

6. QVT

La compétence que j'ai développée, et que je souhaite mettre en lumière dans cette partie, est celle de promouvoir des espaces de discussion et de valorisation des travaux. En effet, J'ai su organiser, animer et structurer un temps d'échange autour de retour d'expérience terrain, en y apportant à la fois ma contribution individuelle et une coordination collective.

Cette compétence s'est matérialisée notamment par la mise en place d'une « table ronde cacao », organisée au siège de Nitidæ à Lyon, à l'initiative du pôle technique agro. J'ai fait partie des trois collaborateurs revenant du terrain ayant présenté leurs travaux, tous centrés sur un même thème et une même zone d'étude : la culture du cacao en lien avec les dynamiques forestières dans la région de la Mé. L'objectif de cette demi-journée était de croiser les regards issus de nos différentes démarches d'analyse et de mettre en perspective des enjeux communs afin de les diffuser aux collègues intéressés par ces sujets et qui en ont d'autres points de vue et vécus.

En amont, nous avons préparé collectivement la séance : identification des liens entre les travaux et retours d'expérience, construction des supports visuels, définition de l'organisation et des temps de parole.

Ce moment a été valorisant pour nous trois, car nous avons pu exposer nos analyses devant toute l'équipe, y compris le management, dans un cadre d'écoute active. Être entendu, pouvoir expliquer nos choix, répondre aux questions et recevoir des retours concrets a renforcé la reconnaissance du travail accompli.

Mais au-delà de cette valorisation, ce temps a été bénéfique pour l'ensemble de l'équipe. Il a permis de prendre du recul, de croiser les approches, de comprendre les positionnements et le niveau d'engagement de chacun, et de faire émerger des enjeux partagés. Ce type d'échange renforce la cohérence globale des projets, en créant des ponts entre les travaux réalisés.

La participation en visio a permis d'inclure les collègues sur le terrain / basés en Côte d'Ivoire. Leur présence active a enrichi les échanges et permis de maintenir une circulation de l'information au sein de l'équipe.

D'un point de vue personnel, hormis la valorisation de mon travail, cette expérience m'a permis de développer des compétences de coanimation, de gestion de dynamique collective et de valorisation des savoirs produits sur le terrain. J'ai aussi mieux compris l'importance de créer des espaces de parole ouverts, où chacun peut s'exprimer librement.

Faire vivre ce type d'espace, ce n'est pas simplement organiser une réunion : c'est faciliter une dynamique collective où chacun se sent légitime pour partager, réfléchir, apprendre et faire progresser le travail commun. Ces espaces de discussion favorisent également l'appropriation des décisions et de définition de futurs projets (ex PRM3), car elles émergent d'un débat collectif.

Les retours spontanés reçus après cette première table ronde ont confirmé la pertinence et l'intérêt de cette démarche.

En résumé, animer ce type d'échange constitue une compétence essentielle : elle permet de mieux valoriser les travaux menés, de renforcer la cohésion d'équipe et de stimuler une réflexion collective de qualité.

7. Bibliographie

AMPONSAH-DOKU, Betty, DAYMOND, Andrew, ROBINSON, Steve, ATUAH, Laura et SIZMUR, Tom, 2022. Improving soil health and closing the yield gap of cocoa production in Ghana – A review. *Scientific African*. 1 mars 2022. Vol. 15, pp. e01075. DOI 10.1016/j.sciaf.2021.e01075.

ANSONG OMARI, Richard, BELLINGRATH-KIMURA, Sonoko, SARKODEE ADDO, Elsie, OIKAWA, Yosei et FUJII, Yoshiharu, 2018. Exploring Farmers' Indigenous Knowledge of Soil Quality and Fertility Management Practices in Selected Farming Communities of the Guinea Savannah Agro-Ecological Zone of Ghana. *Sustainability*. 30 mars 2018. Vol. 10, n° 4, pp. 1034. DOI 10.3390/su10041034.

BAKARI, Dramane Koffi, KOULIBALY, Annick, CYRIAC, Kouadio N'Dah Kouamé, BERNARD, Boko Brou et GNÉNÉMA, Soro, 2023. Effect of different types of Cocoa Traditional Agroforestry Systems on yield (Central West, Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2 mai 2023. Vol. 39, n° 3, pp. 1462-1474.

BELLON, Beatriz, GRINAND, Clovis, REBOUD, Apolline et ETTIEN, Rolande, 2025. *Guide de prélèvement et d'analyse d'échantillon de sol dans le cadre du réseau d'expérimentation Manioc et Cacao (non publié)*. mai 2025. NITIDAE.

BERAZNEVA, Julia, MCBRIDE, Linden, SHEAHAN, Megan et GÜEREÑA, David, 2018. Empirical assessment of subjective and objective soil fertility metrics in east Africa: Implications for researchers and policy makers. *World Development*. mai 2018. Vol. 105, pp. 367-382. DOI 10.1016/j.worlddev.2017.12.009.

BÜNEMANN, Else K., BONGIORNO, Giulia, BAI, Zhanguo, CREAMER, Rachel E., DE DEYN, Gerlinde, DE GOEDE, Ron, FLESKENS, Luuk, GEISSEN, Violette, KUYPER, Thom W., MÄDER, Paul, PULLEMAN, Mirjam, SUKKE, Wijnand, VAN GROENIGEN, Jan Willem et BRUSSAARD, Lijbert, 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*. 1 mai 2018. Vol. 120, pp. 105-125. DOI 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

COLL, Patrice, LE Velly, Ronan, LE CADRE-BARTHÉLEMY, Edith et VILLENAVE, Cecile, 2012. La qualité des sols : associer perceptions et analyses des scientifiques et des viticulteurs. *Étude et Gestion des Sols*. 2012. Vol. 19, n° 2, pp. 79-88.

COMPAGNONE, Claude et PRIBETICH, Justine, 2017. Quand l'abandon du labour interroge les manières d'être agriculteur: Changement de norme et diversité des modèles d'agriculture. *Revue Française de Socio-Économie*. 25 avril 2017. Vol. n° 18, n° 1, pp. 101-121. DOI 10.3917/rfse.018.0101.

COMPAGNONE, Claude, SIGWALT, A et PRIBETICH, J, 2013. Les sols dans la tête. Pratiques et conceptions des sols d'agriculteurs vendéens. *Étude et Gestion des Sols*. janvier 2013. Vol. 20, n° 2, pp. 81-95.

COUSIN, Isabelle, DESROUSSEAUX, Maylis, ANGERS, Denis, AUGUSTO, Laurent, AY, Jean-Sauveur, BAYSSE-LAINÉ, Adrien, BRANCHU, Philippe, BRAUMAN, Alain A., PRÉVOST-BOURÉ, Nicolas Chemidlin, COMPAGNONE, Claude, GROS, Raphaël, HERMON, Carole, KELLER, Catherine, LAROCHE, Bertrand, MEULEMANS, Germain, MONTAGNE, David, PÉRÈS, Guénola, SABY, Nicolas P. A., VAUDOUR, Emmanuelle, VILLERD, Jean, VIOLLE, Cyrille, LELIEVRE, Virginie, MARESCHAL, Sybille de, BRICHLER, Marie-Caroline, FROGER, Claire, ITEY, Julie et LEENHARDT, Sophie, 2025. *Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Rapport d'étude*

[en ligne]. report. INRAE. [Consulté le 4 mars 2025]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-04934694>

DABIN, Bernard, LENEUF, Noël et RIOU, Gérard, 1960. Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2000000 : notice explicative. *SECRETARIAT D'ETAT A L'AGRICULTURE*. 1960.

DELGADO, Luciana et STOORVOGEL, Jetse J., 2022. Role of soil perception and soil variability by smallholder farmers in the low adoption rates of extension packages in Central America. *Journal of Rural Studies*. juillet 2022. Vol. 93, pp. 92-103. DOI 10.1016/j.jrurstud.2022.05.009.

ETTIEN, R., RULLIER, N., SANIAL, E. et RABANY, C., 2022. *Les arbres des cacaoyères–Recueil de connaissances paysannes sur les interactions entre arbres compagnons et cacaoyers en Côte d'Ivoire*. France, NITIDAE, 49 p.

FAO, 2024. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024* [en ligne]. FAO. [Consulté le 21 avril 2025]. ISBN 978-92-5-139255-3. Disponible à l'adresse : <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd2971en>

FENTON, O., BONDI, G., BRACKEN, C. J., O'SULLIVAN, L., LOPEZ-SANGIL, L., TUOHY, P. et DALY, K., 2024. Relative and absolute difference in soil organic carbon stocks in grassland soils in Ireland: Impact of rock fragments, bulk density and calculation methods. *Geoderma Regional*. 1 mars 2024. Vol. 36, pp. e00769. DOI 10.1016/j.geodrs.2024.e00769.

FOUGEREAU, Gabrielle, 2024. *Mémoire de stage GEEFT: Amélioration d'un référentiel agroforestier pour les cacaoyères de Côte d'Ivoire*. AgroParisTech

FREYCON, Vincent, 2023. *Caractérisation morpho-pédologique de Mébifon, Côte d'Ivoire (Rapport prévisoire)*. Rapport de mission Terri4sol. Cote d'ivoire.

GE, Y., WADOUX, A. et PENG, Y., 2024. Une introduction à l'analyse des sols par spectroscopie dans le visible et le proche infrarouge (vis-NIR) ainsi que dans le moyen infrarouge (MIR). [en ligne]. 2024. [Consulté le 31 juillet 2025]. Disponible à l'adresse : <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb9005fr>

GODEFROY, Jacques et JACQUIN, F., 1975. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales; comparaison avec les sols forestiers. *Fruits*. 1975. Vol. 30, n° 10, pp. 595-612.

HANSSON, Sven Ove, 2019. Farmers' experiments and scientific methodology. *European Journal for Philosophy of Science*. octobre 2019. Vol. 9, n° 3, pp. 32. DOI 10.1007/s13194-019-0255-7.

HERMANS, Thirze D. G., DOUGILL, Andrew J., WHITFIELD, Stephen, PEACOCK, Caroline L., EZE, Samuel et THIERFELDER, Christian, 2021. Combining local knowledge and soil science for integrated soil health assessments in conservation agriculture systems. *Journal of Environmental Management*. 15 mai 2021. Vol. 286, pp. 112192. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112192.

HÉRODY, Yves, 2014. Petit guide pour comprendre la méthode Hérody. *BRDA éditions*. 2014.

HUYNH, Ha T. N., LOBRY DE BRUYN, Lisa A., WILSON, Brian R. et KNOX, Oliver G. G., 2020. Insights, implications and challenges of studying local soil knowledge for sustainable land use: a critical review. *Soil Research*. 2020. Vol. 58, n° 3, pp. 219. DOI 10.1071/SR19227.

INGRAM, Julie, FRY, Patricia et MATHIEU, Ann, 2010. Revealing different understandings of soil held by scientists and farmers in the context of soil protection and management. *Land Use Policy*. janvier 2010. Vol. 27, n° 1, pp. 51-60. DOI 10.1016/j.landusepol.2008.07.005.

INTERNATIONAL UNION OF SOIL SCIENCES, 2022. *World reference base for soil resources 2022: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 4.edition. Vienna, Austria : International Union of Soil Sciences. ISBN 979-8-9862451-1-9.

KENFACK ESSOUGONG, Urcil P., SLINGERLAND, Maja, MATHÉ, Syndhia, VANHOVE, Wouter, TATA NGOME, Precillia I., BOUDES, Philippe, GILLER, Ken E., WOITTIEZ, Lotte S. et LEEUWIS, Cees, 2020. Farmers' Perceptions as a Driver of Agricultural Practices: Understanding Soil Fertility Management Practices in Cocoa Agroforestry Systems in Cameroon. *Human Ecology*. 1 décembre 2020. Vol. 48, n° 6, pp. 709-720. DOI 10.1007/s10745-020-00190-0.

KURIA, Anne W., BARRIOS, Edmundo, PAGELLA, Tim, MUTHURI, Catherine W., MUKURALINDA, Athanase et SINCLAIR, Fergus L., 2019. Farmers' knowledge of soil quality indicators along a land degradation gradient in Rwanda. *Geoderma Regional*. mars 2019. Vol. 16, pp. e00199. DOI 10.1016/j.geodrs.2018.e00199.

LE BISSONNAIS, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*. décembre 1996. Vol. 47, n° 4, pp. 425-437. DOI 10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x.

LE BISSONNAIS, Yves et LE SOUDER, Christine, 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des sols*. 1995. Vol. 2, n° 1, pp. 43-56.

LÊ, Sébastien, JOSSE, Julie et HUSSON, François, 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 18 mars 2008. Vol. 25, pp. 1-18. DOI 10.18637/jss.v025.i01.

LIN, Brenda B., 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. 15 avril 2010. Vol. 150, n° 4, pp. 510-518. DOI 10.1016/j.agrformet.2009.11.010.

MA, Shengnan, SONG, Yi, LIU, Jiawei, KANG, Xingyu et YUE, Zhongqi Quentin, 2024. Extended wet sieving method for determination of complete particle size distribution of general soils. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 1 janvier 2024. Vol. 16, n° 1, pp. 242-257. DOI 10.1016/j.jrmge.2023.03.006.

PEIGNÉ, Joséphine, GAUTRONNEAU, Yvan, VIAN, Jean François, ACHARD, Perrine, CHIGNIER-RIBOULON, Maxime, RUFFE, Lysiane et VASKOU, Claire, 2016. Test Bêche. Guide d'utilisation. . 2016.

R CORE TEAM AND CONTRIBUTORS WORLDWIDE, 2025. *The R Stats Package*. 11 avril 2025.

REKIK, F., VAN ES, H., HERNANDEZ-AGUILERA, J.N. et GÓMEZ, M.I., 2020. Understanding soil health and associated farmers' perceptions in Colombian coffee systems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020. Vol. 75, n° 4, pp. 499-504. DOI 10.2489/jswc.2020.00107.

ROUÉ, Marie, 2024. *Coproduction Entre Savoirs Autochtones et Sciences: Faire Face Au Changement Global*. 1st ed. Versailles : Quae. Indisciplines Series. ISBN 978-2-7592-3810-1.

RUF, François, SCHROTH, Götz et DOFFANGUI, Kone, 2015. Climate change, cocoa migrations and deforestation in West Africa: What does the past tell us about the future? *Sustainability Science*. janvier 2015. Vol. 10, n° 1, pp. 101-111. DOI 10.1007/s11625-014-0282-4.

SAÏDOU, A., KUYPER, T.W., KOSSOU, D.K., TOSSOU, R. et RICHARDS, P., 2004. Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*. 1 décembre 2004. Vol. 52, n° 3-4, pp. 349-369. DOI 10.1016/S1573-5214(04)80021-6.

SCHMIDT, Jennifer, FUNGENZI, Thomas, RECAMÁN, Alexander et KHALSA, Sat Darshan S., 2025. Evaluation of a composite soil health index and soil microbiome in a regenerative agriculture cocoa chronosequence. *Ecological Indicators*. 1 septembre 2025. Vol. 178, pp. 113866. DOI 10.1016/j.ecolind.2025.113866.

SNOECK, Didier et DUBOS, Bernard, 2018. Improving soil and nutrient management for cacao cultivation. In : UMAHARAN, Pathmanathan (éd.), *Achieving sustainable cultivation of cocoa: genetics, breeding, cultivation and quality* [en ligne]. Burleigh Dodds Science Publishing. pp. 225-236. [Consulté le 5 mars 2025]. ISBN 978-1-78676-168-2. Disponible à l'adresse : <https://shop.bdspublishing.com/store/bds/detail/product/3-190-9781838793579>

SNOECK, Didier, KOKO, Louis, JOFFRE, Joël, BASTIDE, Philippe et JAGORET, Patrick, 2016. Cacao Nutrition and Fertilization. In : LICHTFOUSE, Eric (éd.), *Sustainable Agriculture Reviews* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 155-202. Sustainable Agriculture Reviews. [Consulté le 6 mars 2025]. ISBN 978-3-319-26776-0. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-26777-7_4

STEVENSON, Annalisa, HARTEMINK, Alfred E. et ZHANG, Yakun, 2023. Measuring sand content using sedimentation, spectroscopy, and laser diffraction. *Geoderma*. 1 janvier 2023. Vol. 429, pp. 116268. DOI 10.1016/j.geoderma.2022.116268.

TIODIONWA, Ouattara et GRINAND, Clovis, 2023. *Cartes d'occupation et d'usage des terres dans la région de la Mé (Côte d'Ivoire) en 2016, 2019 et 2022* [en ligne]. Zenodo. [Consulté le 16 juillet 2025]. Disponible à l'adresse : <https://zenodo.org/records/7903157>

TROMPETTE, Pascale et VINCK, Dominique, 2009. Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances* [en ligne]. 2009. Vol. 3, n° 1. [Consulté le 18 avril 2025]. DOI 10.3917/rac.006.0005. Disponible à l'adresse : <https://journals.openedition.org/rac/18242>

VALLÉRIE, M., 1968. Fertilité et fertilisation des sols tropicaux. *Centre ORSTOM, Yaoundé, Rapp.* 1968.

WORLD BANK GROUP, 2025. World Bank Climate Change Knowledge Portal. *Climate Change Knowledge Portal* [en ligne]. 2025. [Consulté le 17 juin 2025]. Disponible à l'adresse : <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

8. Annexe

Annexe 1 : trame d'entretien

Date : Code parcelle : Village :

Nom : Prénom :

Age : Ancienneté cacaoculture (années) : Niveau d'étude :

Activité agricole	Cacao	Hévéa	Palme	Anacarde	Manioc	Igname	Banane	Pisciculture	Elevage	Forêt	Autre
Effectif											
Surface totale (ha)											
Vente (%)											

Pour les effectifs, il s'agit du nombre de parcelles, d'étangs piscicoles ou d'effectif du cheptel. Pour l'élevage, spécifier de quels animaux il s'agit (porcin, ovin, bovin, volaille viande, volaille ponte). Si autre, préciser de quoi il s'agit.

PRÉCISER À L'AGRICULTEUR QUE LE RESTE DE L'ENTRETIEN PORTERA À PRÉSENT SUR UN DE SES CHAMPS DE CACAO. LE SÉLECTIONNER PAR RAPPORT AUX DONNÉES FOURNIES PAR NITIDAE POUR EFFECTUER SON ÉCHANTILLONNAGE.

Age parcelle : Surface : Précédent cultural : Variété(s) cacaoyers : Statu foncier :

Production en 2024 (PT et GT) : Evolution du rendement ces dernières années : Pourquoi ?

Quelles sont les contraintes agricoles auxquelles tu es confronté sur cette plantation ?

As-tu déjà participé à des formations techniques (~~Anader~~, CNRA, ONG, autres) ? Si oui, sur quelle(s) thématique(s) ?

ACTIVITÉ DE MIND-MAPPING : L'AGRICULTEUR DOIT RÉALISER UNE CARTE MENTALE DE SA PARCELLE EN DESSINANT SES CONTOURS, LES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE (RIVIÈRE, PISTE, CHEMIN, ÉLÉMENTS MARQUANTS NATURELS OU HUMAINS), LA TOPOGRAPHIE, LES USAGES DES SOLS VOISINS, AINSI QUE LES TYPES DE SOLS PRÉSENTS DANS SA PARCELLE AVEC LEURS CARACTÉRISTIQUES (COULEUR, GRANULOMÉTRIE, COMPACTION, ÉPAISSEUR, ETC.), LEURS NOMS LOCAUX (relevé à ce moment-là l'ethnie) ET LEUR CLASSEMENT DU MEILLEUR AU MOINS BON.

Code couleur pour la carte : contours et usages voisins en noir, rivière et ruisseau en bleu, Piste, chemin en violet, Zone de bonne production de cacao en vert, zone de moins bonne production en jaune, pour les types de sol restent les couleurs marron, rouge orange et beige (à adapter à la couleur décrite)

	Nom local	Couleur	Texture	Granulométrie	Autre caractéristique 1	Autre caractéristique 2	Classification
Type de sol 1							
Type de sol 2							
Type de sol 3							
Type de sol 4							
Type de sol 5							
Type de sol 6							

Ethnie :

C'est quoi le sol selon toi ?

A quoi sert le sol ?

Comment fonctionne le sol ?

Pratique agricole	Nom produit	Dose	Unité	Période application	Fréquence annuelle	Spatialisation de la pratique	Effet sur le sol ?
Fertilisation							
Insecticide							
Fongicide							
Herbicide							
Désherbage manuel							
Ecobossage							
Autre (précisez)							

TOUR DE LA PARCELLE POUR OBSERVER LES ZONES DES DIFFÉRENTS TYPES DE SOL. REPARCOURIR LES CARACTÉRISTIQUES DE DESCRIPTION DE CES SOLS AVEC L'AGRICULTEUR UNE FOIS SUR PLACE.

Date :

Code :

Puis, pour chaque type, essayer de comprendre l'évolution de chaque sol, ça s'améliore si oui pourquoi ? Ça se détériore, si oui pourquoi ?

	Evolution et signes, symptômes	Explication/processus	Pratiques mises en œuvre pour améliorer ce sol	Effet des arbres/plantes cultivés ou spontanés sur chaque sol	Espèces arbres de la + abondante à la – abondante (+nombre)
Type 1					
Type 2					
Type 3					
Type 4					
Type 5					
Type 6					

A-t-il coupé des arbres récemment dans une optique d'améliorer la qualité du sol ? Lesquels et pourquoi ?

A-t-il planté ou gardé des arbres récemment dans une optique d'améliorer la qualité du sol ? Lesquels et pourquoi ?

Quelles seraient les caractéristiques d'un sol encore meilleur (indicateurs de fertilité) que ton meilleur sol de ta parcelle ?

Annexe 2 : méthode de calcul de la surface terrière (Fougereau, 2024)

La surface terrière (g) de chaque arbre (m^2/ha), calculé comme suit :

$g = \pi * (D/2)^2$ avec D = diamètre à hauteur de poitrine (m)

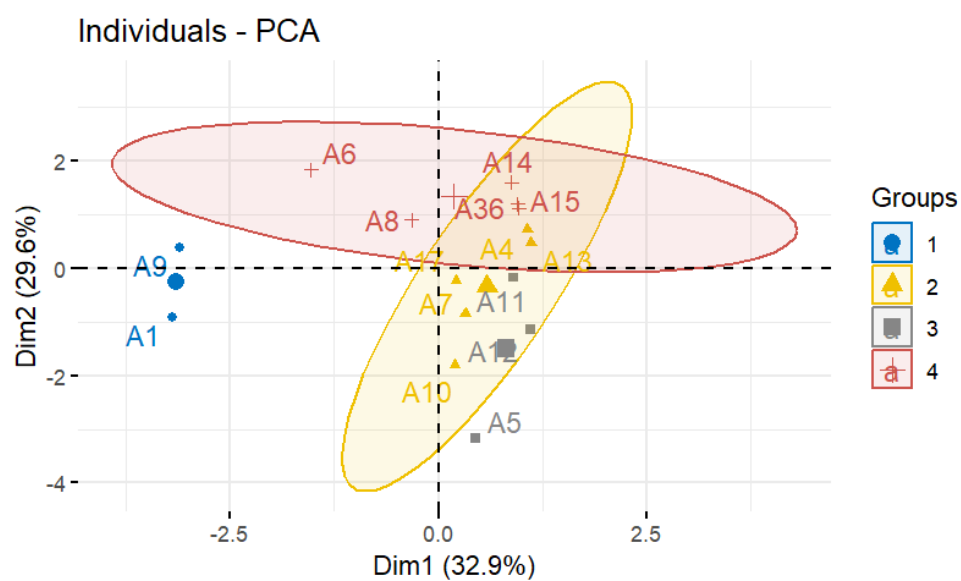
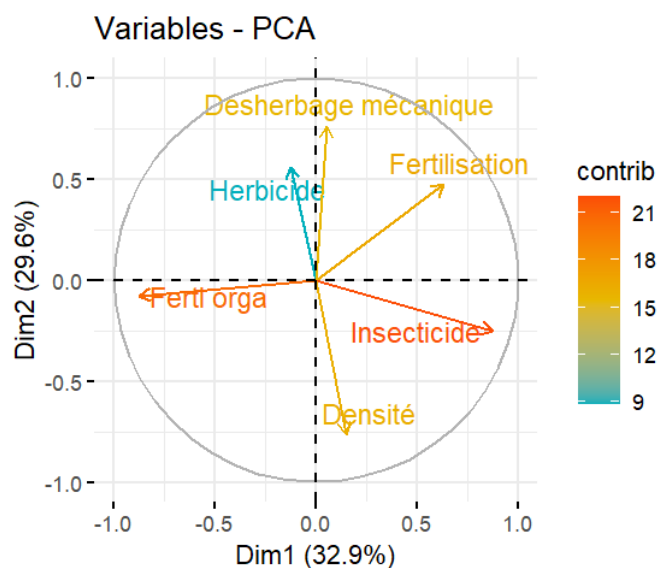
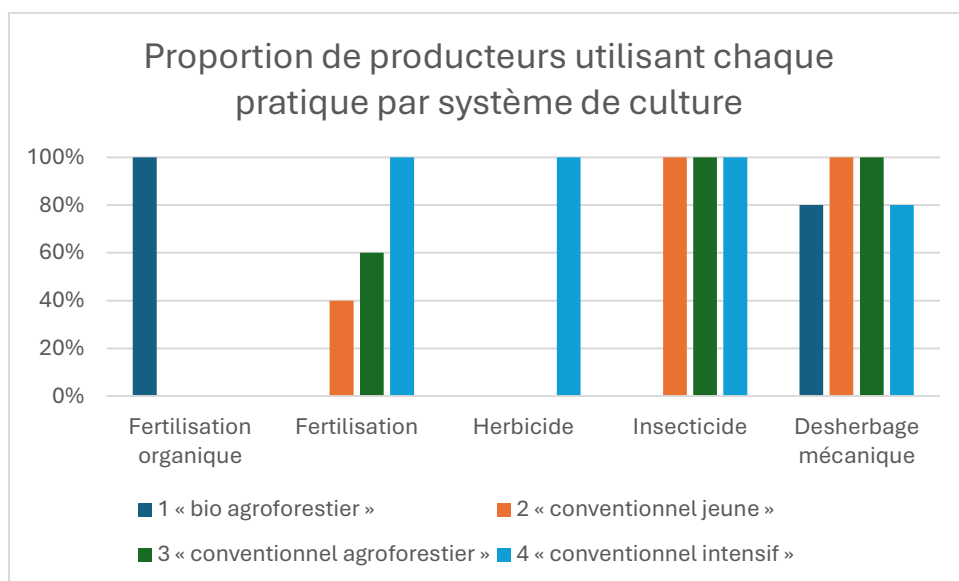
Dans certains contextes particuliers en fonction de la forme des arbres ou de l'inclinaison du terrain, l'opérateur doit suivre des consignes bien précises pour mesurer correctement le DHP (Annexe 11).

Les surfaces terrières de chaque arbre sont ensuite additionnées et cette somme est alors rapportée à la superficie totale de la parcelle pour obtenir sa surface terrière, notée **G** et exprimée en m^2 par hectare. En résumé :

$G = (\sum_{i=1}^n g_i) / S$ avec g_i = la surface terrière de l'arbre i en m^2

n = le nombre total d'arbres inventoriés (selon le protocole) S = la surface en ha de la zone échantillonnée

Annexe 3 : Graphique sortie R pour l'ACP



Annexe 4 : sortie Rmarkdown pour le modèle agrégé

2025-07-08

Modèle sur données agrégées

Modèle avec indicateurs techniques :

```
##
## Call:
## glm(formula = reponse ~ Profondeur + rep_hydro + texture.y +
##      Horizon1_profondeur + Horizon2_deltab + Horizon2_cailloux +
##      pred_corg_sample + pred_ntot_sample, family = "binomial",
##      data = data_all)
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)    -1.14957    1.11374  -1.032  0.30199
## Profondeur       0.02883    0.01122   2.569  0.01021 *
## rep_hydro      -1.28228    0.42310  -3.031  0.00244 **
## texture.y        0.52041    0.19617   2.653  0.00798 **
## Horizon1_profondeur 0.03817    0.05287   0.722  0.47040
## Horizon2_deltab  -0.03572    0.00812  -4.399 1.09e-05 ***
## Horizon2_cailloux -0.02832    0.01295  -2.188  0.02868 *
## pred_corg_sample   0.11426    0.42571   0.268  0.78840
## pred_ntot_sample  -0.79385    6.52667  -0.122  0.90319
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##      Null deviance: 307.11  on 221  degrees of freedom
## Residual deviance: 270.44  on 213  degrees of freedom
##      (3 observations effacées parce que manquantes)
## AIC: 288.44
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

Modèle avec indicateurs empiriques :

```
##
```

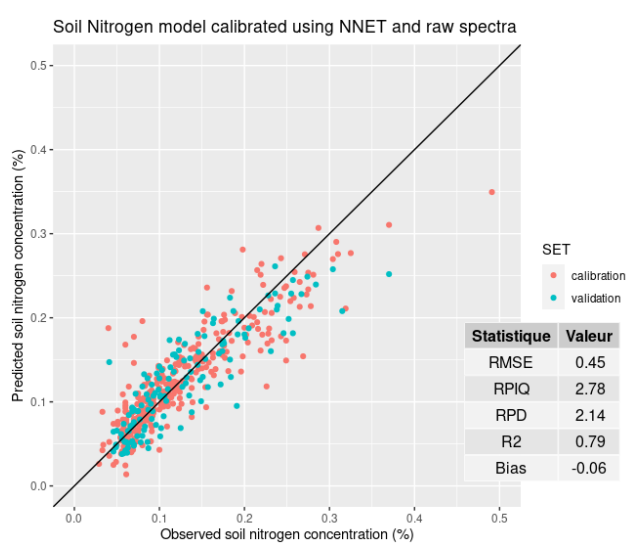
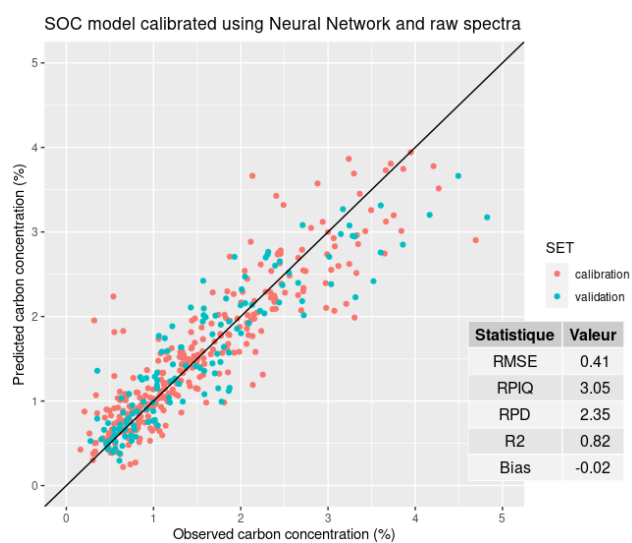
```
## Call:
## glm(formula = reponse ~ couleur + texture.x + granulométrie +
##       Caractère, family = "binomial", data = data_all_aggregated)
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)      -2.1387      2.1032  -1.017   0.3092
## couleurMarron       1.4456      1.6318   0.886   0.3757
## couleurRouge       2.1760      1.6663   1.306   0.1916
## texture.xMixte    -16.4367    3956.1806  -0.004   0.9967
## texture.xSable     -0.2810      1.2812  -0.219   0.8264
## granulométrieGravier  2.7941      1.5632   1.787   0.0739 .
## CaractèreDrainant  -17.9405    3956.1806  -0.005   0.9964
## CaractèreND        -0.1262      1.6157  -0.078   0.9377
## CaractèreStagnant  -0.4363      1.6804  -0.260   0.7952
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##      Null deviance: 34.617  on 24  degrees of freedom
## Residual deviance: 21.188  on 16  degrees of freedom
## AIC: 39.188
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 16
```

##Comparaison modèle

comparaison AIC et BIC modèle

```
##      Modèle      AIC      BIC R2_pseudo
## 1 GLM_tech 288.43719 319.06129 0.1194080
## 2 GLM_agri  39.18792  50.15781 0.3879391
```

Annexe 5 : validation modèle spectromètre (données prédites/observées)



Comment les producteurs de cacao perçoivent-ils et qualifient-ils la qualité de leurs sols
Approches comparées et outils de diagnostic pour accompagner les pratiques paysannes

How do cocoa producers perceive and qualify the quality of their soils?
Comparative approaches and diagnostic tools to support peasant practices

Mots-clés : Perception paysanne, Qualité des sols, Cacaoculture, Diagnostic agropédologique, Savoirs locaux, Côte d'Ivoire

Key-words : Peasant perception, Soil quality, Cocoa cultivation, Agro-pedological diagnosis, Local knowledge, Ivory Coast

Résumé :

Le cacao est une culture essentielle en Côte d'Ivoire, mais la baisse de productivité liée à la dégradation des sols induite reste un enjeu majeur. Face à ce constat, cette étude a cherché à mieux comprendre comment les cacaoculteurs perçoivent la qualité de leurs sols et dans quelle mesure ces perceptions sont corroborées par des observations mesurables sur le terrain. L'étude s'appuie sur des entretiens auprès de 36 producteurs dans deux régions ivoiriennes : la Mé et le Guémon ; et sur un diagnostic agropédologique réalisé sur 24 zones identifiées par les producteurs comme « bonnes » ou « mauvaises » dans la région de la Mé. Les résultats montrent que les producteurs estiment la qualité d'un sol principalement par sa productivité ainsi que des critères visuels comme la couleur, la présence de bioindicateur pour affiner leur jugement. De plus, certains indicateurs techniques comme la texture, l'hydromorphie ou le tassement rejoignent les perceptions paysannes sur la classification des zones. L'étude souligne aussi les limites de certains outils technique initialement inadaptés au contexte tropical. Ce travail met en avant l'intérêt de croiser les savoirs locaux avec des indicateurs de terrain simples, dans une optique de sensibilisation ou de conseil technique pour une gestion durable des sols cacaoyers.

Abstract :

Cocoa is a key crop in Côte d'Ivoire, but declining productivity linked to induced soil degradation remains a major challenge. In light of this, this study try to better understand how cocoa farmers perceive the quality of their soils and to what extent these perceptions are corroborated by measurable field observations. The study is based on interviews with 36 producers in two Ivorian regions: Mé and Guémon; and on an agropedological diagnosis carried out on 24 areas identified by producers as "good" or "bad" in the Mé region. The results show that producers estimate the quality of a soil mainly by its productivity as well as visual criteria such as color and the presence of bioindicators to refine their judgment. In addition, certain technical indicators such as texture, hydromorphy or compaction match farmers' perceptions on the classification of areas. The study also highlights the limitations of certain technical tools initially unsuitable for the tropical context. This work highlights the interest in combining local knowledge with simple field indicators, with a view to raising awareness or providing technical advice for sustainable management of cocoa soils.

Nombre de pages du document final : 56

Demandeur (entreprise, organisme...) :
NITIDAE