



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

.....

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

ANNÉE : 2022 - 2023

N° D'ORDRE : 087

CANDIDAT

Nom : TOURÉ

Prénoms : Bessimory

# THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : AGRO-PÉDOLOGIE

**Caractérisations des propriétés physiques, chimiques  
et biologiques et évaluation des stocks de carbone  
organique dans les sols agricoles du département de  
Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

## JURY

Président : M. BAKAYOKO Sidiky, Professeur Titulaire,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

Directeur : M. ZRO Bi Gohi Ferdinand, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

Rapporteur : M. KONE Wowo Armand, Maître de Conférences,  
Université Nangui ABROGOUA (UNA)

Examineur : M. TRA Bi Crolaud Sylvain, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

Mme BONGOUA Affi Jeanne Epse DEVISME, Maître de Conférences,  
Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB)

Soutenue publiquement

le : 02/12/2023



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

.....

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

ANNÉE : 2022 - 2023

N° D'ORDRE : 087

# THÈSE DE DOCTORAT

**Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale**

**Spécialité : AGRO-PÉDOLOGIE**

**Caractérisations des propriétés physiques, chimiques  
et biologiques et évaluation des stocks de carbone  
organique dans les sols agricoles du département de  
Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

CANDIDAT

Nom : TOURÉ

Prénoms : Bessimory

Soutenue publiquement

le : 02/12/2023

## JURY

**Président** : M. BAKAYOKO Sidiky, Professeur Titulaire,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

**Directeur** : M. ZRO Bi Gohi Ferdinand, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

**Rapporteur** : M. KONE Wowo Armand, Maître de Conférences,  
Université Nangui ABROGOUA (UNA)

**Examineur** : M. TRA Bi Crolaud Sylvain, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG)

Mme BONGOUE Affi Jeanne Epse DEVISME, Maître de Conférences,  
Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB)

## TABLE DES MATIÈRES

|   |     |
|---|-----|
| DÉDICACE.....   | vi  |
| REMERCIEMENTS .....   | vii |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....  | ix  |
| LISTE DES TABLEAUX.....   | xi  |
| LISTE DES FIGURES.....  | xii |
| LISTE DES ANNEXES.....  | xiv |
| INTRODUCTION.....   | 1   |
| PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS .....   | 7   |
| I.1. APERÇU SUR LE SOL.....   | 6   |
| I.1.1. Définition, pédogenèse et mode d'organisation du sol.....  | 6   |
| I.1.1.3. Organisation du sol .....  | 7   |
| I.1.3. Constituants et propriétés du sol .....  | 10  |
| I.1.3.1. Constituants du sol.....   | 10  |
| I.1.3.1.1. Phase solide.....  | 10  |
| I.1.3.1.2. Phase liquide .....  | 12  |
| I.1.3.1.3. Phase gazeuse.....   | 12  |
| I.1.3.2. Propriétés des sols.....   | 13  |
| I.1.3.2.1. Propriétés physiques .....   | 13  |
| I.1.3.2.2. Propriétés chimiques.....  | 15  |
| I.1.3.2.3. Propriétés biologiques.....  | 18  |
| I.1.3.2.3.1. Définition et mode de détermination .....  | 18  |
| I.1.3.2.3.2. Principaux groupes taxonomiques des macro-invertébrés du sol .....                             | 21  |
| I.2. DYNAMIQUE ET PROCESSUS DE STABILISATION DU CARBONE ORGANIQUE<br>DES SOLS.....                          | 28  |
| I.2.1. Notions de stockage, séquestration, minéralisation et réservoir ou puit de carbone<br>organique..... | 28  |

---

|  |    |
|--|----|
| I.2.2. Cycle du carbone du sol .....   | 29 |
| I.2.3. Facteurs influençant le stockage de carbone organique dans les sols.....  | 30 |
| I.2.3.1. Facteurs naturels .....   | 31 |
| I.2.3.1.1. Facteurs climatiques.....   | 31 |
| I.2.3.1.2. Facteurs édaphiques .....   | 32 |
| I.2.3.1.3. Type de végétation .....  | 34 |
| I.2.3.2. Facteurs anthropiques .....   | 34 |
| I.2.3.2.1. Mode d'occupation des sols.....   | 34 |
| I.2.3.2.2. Pratiques culturales .....  | 35 |
| I.2.3.3. Différentes approches de mesure des stocks du carbone du sol .....  | 36 |
| I.3. IMPACTS DU DÉVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE PÉRENNE SUR LE<br>COUVERT VÉGÉTAL, LE CLIMAT ET LA FERTILITÉ DES SOLS ..... | 36 |
| I.4. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU MILIEU D'ÉTUDE .....  | 38 |
| I.4.1. Localisation géographique .....   | 38 |
| I.3.2. Caractéristiques physiques.....   | 40 |
| I.3.2.1 Climat.....  | 40 |
| I.3.2.2 Végétation .....   | 40 |
| I.3.2.3. Géomorphologie et hydrographie .....  | 40 |
| I.3.2.4. Géologie .....  | 41 |
| I.3.2.5. Couverture pédologique.....   | 42 |
| I.3.3. Populations et activités économiques .....  | 42 |
| DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES .....   | 43 |
| II.1. MATÉRIELS.....   | 45 |
| II.1.1. Matériel édaphique .....   | 45 |
| II.1.2. Outils de collecte et de traitement des données .....  | 45 |
| II.1.2.1. Cas des données de sol .....   | 45 |

---

|  |    |
|--|----|
| II.1.2.2. Matériel de collecte de la macrofaune du sol .....   | 46 |
| II.1.3. Outils informatiques .....   | 47 |
| II.2. MÉTHODES .....   | 48 |
| II.2.1. Etude pédologique .....  | 48 |
| II.2.1.1. Détermination de la pente du terrain et implantation des fosses .....                            | 48 |
| II.2.1.2. Ouverture et description des fosses pédologiques <i>in situ</i> .....                            | 50 |
| II.2.1.2.1. Détermination de la profondeur utile du sol et des caractéristiques associées .....            | 50 |
| II.2.1.2.2. Détermination de la couleur des horizons .....   | 51 |
| II.2.1.2.3. Détermination de l'humidité des horizons du sol .....  | 51 |
| II.2.1.2.4. Détermination de la structure des horizons du sol .....  | 52 |
| II.2.1.2.5. Estimation de la texture des horizons du sol .....   | 52 |
| II.2.1.2.6. Echantillonnage du sol .....   | 52 |
| II.2.1.2.7. Préparation des échantillons de sol en vue des analyses physico-chimiques au laboratoire ..... | 53 |
| II.2.1.2.8. Analyses physico-chimiques des échantillons de sol au laboratoire .....                        | 53 |
| II.2.2. Étude des macro-invertébrés des sols .....   | 56 |
| II.2.2.1 Stratégie d'échantillonnage .....   | 56 |
| II.2.2.2. Identification des macro-invertébrés du sol récoltés .....                                       | 59 |
| II.2.2.3. Analyse de la similitude entre les milieux .....   | 59 |
| II.2.2.4. Analyse de la composition et de la structure des peuplements des macro-invertébrés du sol .....  | 60 |
| II.2.3. Évaluation du stock de carbone organique des sols .....  | 61 |
| II.2.4. Analyse statistique des données .....  | 61 |
| II.2.4.1. Analyses de variance des propriétés des sols .....   | 61 |
| II.2.4.2. Corrélations entre les propriétés des sols et le stock de carbone des sols .....                 | 62 |
| TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION .....   | 63 |
| III.1. RÉSULTATS .....   | 64 |

---

|   |     |
|---|-----|
| III.1.1. Caractéristiques morpho-pédologiques des sols étudiés .....  | 64  |
| III.1.1.1. Sols sous palmeraies.....  | 64  |
| III.1.1.2. Sols sous cacaoyères .....   | 64  |
| III.1.1.3. Sols sous hévéas .....   | 65  |
| III.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites étudiés.....   | 70  |
| III.1.2.1. Caractéristiques physiques .....   | 70  |
| III.1.2.2. Caractéristiques chimiques des sols étudiés.....   | 76  |
| III.1.2.2.1. Acidité, statut organique et phosphore assimilable .....   | 76  |
| III.1.2.2.2. Complexe adsorbant.....  | 82  |
| III.1.2.2.3. Oligo-éléments .....   | 89  |
| III.1.3. Caractéristiques des peuplements des macro-invertébrés des sols des sites d'études..                         | 94  |
| III.1.3.1. Composition des communautés des peuplements des macro-invertébrés des sols ...                             | 94  |
| III.1.3.2. Abondance des peuplements des macro-invertébrés des sols et richesse spécifique des milieux.....           | 103 |
| III.1.3.3. Diversité des peuplements des macro-invertébrés des sols.....  | 105 |
| III.1.4. Stock de carbone organique .....   | 108 |
| III.1.5. Relations entre les stocks de carbone organique et les propriétés des sols selon les d'usages des sols ..... | 110 |
| III.1.5.1. Relations stock de carbone organique du sol-propriétés physiques des sols .....                            | 110 |
| III.1.5.2. Relations stock de carbone organique du sol-propriétés chimiques des sols.....                             | 115 |
| III.1.5.3. Relations stock de carbone organique du sol-peuplements des macro-invertébrés                              | 119 |
| III.2. DISCUSSION .....   | 122 |
| III.2.1. Morphologie et caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés .....                                     | 122 |
| III.2.1.1. Sols de plateaux.....  | 122 |
| III.2.1.2. Sols de bas-fonds.....   | 124 |
| III.2.2. Caractéristiques des peuplements des macro-invertébrés des sols.....   | 124 |
| III.2.3. Stock de carbone organique des sols et ses déterminants .....  | 127 |

|   |       |
|---|-------|
| III.2.4. Bilan des relations entre le stock de carbone et les différentes propriétés des sols ... | 131   |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....  | 133   |
| RÉFÉRENCES.....   | 136   |
| ANNEXES .....   | xli   |
| PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES TIRÉES DE LA THÈSE<br>.....                          | xviii |

DÉDICACE

*Je dédie cette thèse :*

- *à la mémoire de mon père TOURÉ Mamadou, arraché à mon affection en 2001 alors que je partais en classe de 6<sup>ème</sup> et celle de ma mère Maimounan DOUMBIA qui a su m'éduquer dans la dignité et dans l'amour du travail et du prochain jusqu'en 2016. Même s'ils ne sont plus, qu'ils sachent que, je défendrai toujours les valeurs qu'ils m'ont inculquées !*
- *à la mémoire de ma grande sœur TOURÉ Aminata et celles de mes grands frères TOURÉ Tiemoko et TOURÉ Sidi Mohamed.*
- *à ma compagne KONÉ Peman Angèle et mes enfants Mohamed Lamine Rayane, Tiemoko Namintin, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pendant la conduite de cette thèse.*

---

## REMERCIEMENTS

La réalisation de cette thèse de doctorat à l'Université Jean Lorougnon Guédé a été une expérience très enrichissante, aussi bien sur le plan académique et professionnel que sur le plan humain. Elle a bénéficié du concours de plusieurs personnes. Nous ne saurions soumettre cette thèse de doctorat à l'appréciation du jury sans témoigner notre reconnaissance à l'endroit de ces personnes. Les mots de remerciements formulés ici viennent du plus profond de notre cœur.

Ainsi, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes premiers mots de remerciements à Mme ADOHI KROU Viviane, Professeur Titulaire en Physique, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), pour les efforts qu'elle fait quotidiennement en vue de la bonne marche de l'institution, et qui permet que cette thèse soit soutenue.

À sa suite, nous remercions M. SORO Dogniméton, Professeur Titulaire en Agro-pédologie, Vice-Président chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé et M. KONE Issiaka, Professeur titulaire en Socio-anthropologie, Vice-Président chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour leurs conseils et implication dans l'épanouissement et la formation des étudiants de l'UJLoG.

Qu'il me soit permis de remercier Mme TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Phytopathologie, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie, pour sa disponibilité et ses sages conseils dont j'ai bénéficié durant tout mon parcours à UJLoG.

Je ne saurais trouver les mots pertinents pour exprimer toute ma reconnaissance à M. ZRO Bi Gohi Ferdinand, Maître de Conférences en Pédologie et Directeur du Département d'Agro-pédologie de l'UJLoG pour la confiance placée en nous pendant la réalisation de cette recherche. Il a lui-même assuré la direction scientifique. Sa connaissance de la Pédologie, sa marque de bienveillance et sa disponibilité ont contribué significativement à l'aboutissement du travail.

Mes vifs remerciements sont adressés aussi à M. AYOLIÉ Koutoua, Professeur Titulaire en Physiologie Végétale, Directeur du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole qui a servi de cadre à la réalisation de cette thèse, à savoir le Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole. Aussi, Docteur AYOLIÉ n'a-t-il cessé de me prodiguer de sages conseils.

M. BAKAYOKO Sidiky, Professeur Titulaire en Agro-pédologie et Docteur GUEI Arnauth Martinez, Maître de Conférences en Agroécologie mes initiateurs à la recherche en

assurant respectivement la direction scientifique et l'encadrement de mes travaux de Master, ainsi que M. TRA Bi Crolaud Sylvain, Maitre de Conférences en Entomologie Agricole, avec qui j'ai appris la Biostatistique. Je leur suis infiniment reconnaissant.

Je remercie l'ensemble des membres du jury pour leur temps et leur attention à l'évaluation de cette thèse. Toutefois, vos différentes remarques contribueront à améliorer le travail.

Aux docteurs KONATÉ Zoumana et ABOBI Akéré Hebert, Maitre de Conférences et N'GANZOUA Kouamé René, Maître-Assistant, tous Agro-pédologues à UJLoG, je suis très reconnaissant pour leurs observations constructives et leurs conseils.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de M. N'GUESSAN Ange Parfait, Doctorant en Entomologie Agricole, pour l'aide qu'il a apportée au travail, notamment au niveau de l'étude de la macrofaune. Qu'il en soit de même à l'endroit de M. SERY Alain et M. GBOGOU N'Gbala Armel, qui ont été présents durant toute la phase de terrain. C'est l'occasion ici de réitérer mes remerciements à l'ensemble des producteurs qui ont mis des parcelles de leurs plantations à ma disposition.

Mes sincères remerciements au Commandant YEO Amedée, Directeur de l'Exploitation et des Opérations de la SIMDCI-SECURITÉ pour sa confiance et ses conseils avisés, et à l'ensemble des agents de la SIMDCI-SECURITÉ de Daloa en particulier l'agent N'DRI Kouamé Guillaume.

J'adresse, pour finir, toute ma gratitude à ma famille, notamment mes frères et sœurs TOURÉ Lamine, TOURÉ Namaro, TOURÉ Makan, TOURÉ Fatoumata, TOURÉ Saran, TOURÉ Mariam et TOURÉ Souleymane qui nous ont été d'un soutien moral et financier important.

Que toutes les personnes qui ont pris une part quelconque à la réalisation de cette étude et qui n'ont pas été citées se sentent concernées par ces remerciements.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

|        |  |
|--------|--|
| ANOVA  | : Analyse de la variance   |
| Cac    | : Cacao  |
| CAH    | : Classification Ascendante Hiérarchique   |
| CEC    | : Capacité d'Echange Cationique  |
| CILSS  | : Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel                                     |
| CNTIG  | : Comité National de Télédétection et d'Information Géographique                                     |
| COD    | : Carbone Organique disponible   |
| COS    | : Carbone organique du sol   |
| CPCS   | : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols  |
| D      | : Densité des individus des macro-invertébrés par mètre carré  |
| Da     | : Densité apparente du sol   |
| E      | : Indice d'Equitabilité  |
| EG     | : Eléments Grossiers   |
| ENSEA  | : Ecole Nationale Supérieure de Statistique et d'Economie Appliquée                                  |
| ESA    | : Ecole Supérieure d'Agronomie   |
| FAO    | : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture                                |
| GES    | : Gaz à Effet de Serre   |
| GIEC   | : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat                                     |
| GPS    | : Global positioning system (Système de Positionnement Mondial)                                      |
| GRETIA | : Groupe d'étude des invertébrés armoricains   |
| H'     | : Indice de Shannon - Weaver   |
| Hev    | : Hévéa  |
| Hp     | : Humidité pondérale du sol  |
| Hz     | : Horizon du sol   |
| ICEF   | : International de Conseil d'Etudes et de Finances   |
| INPHB  | : Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny   |
| INS    | : Institut National des Statistiques   |
| ISO    | : International Organization for Standardization (Organisation Internationale pour la Normalisation) |
| LAVESO | : Laboratoire d'Analyse des Végétaux et Des Sols   |
| MEA    | : Millenium Ecosystem Assessment   |

|          |  |
|----------|--|
| MINEF-CI | : Ministère des Eaux et Forêts de la Côte d’Ivoire                                 |
| MINUSS   | Mission des Nations Unies au Soudan du Sud   |
| MOS      | : Matière organique du sol   |
| Pal      | : Palmier à huile  |
| pc       | : Pourcentage  |
| PEM      | : Profondeur d’enracinement maximale   |
| pH       | : Potentiel Hydrogène  |
| PIB      | : Produit Intérieur Brut   |
| PRICI    | : Projet de Renaissance des Infrastructures et de gestion urbaine en Côte d’Ivoire |
| Pt       | : Porosité totale du sol   |
| RGPH     | : Recensement Général de la Population et de l’Habitat                             |
| S        | : Richesse spécifique ou taxonomique   |
| SCOS     | : Stock de Carbone Organique du Sol  |
| S-eau    | : Stock en eau   |
| STIPA    | : Système de Transfert de l’Information Pédologique et Agronomique                 |
| Tah      | : Tahiraguhé   |
| Tap      | : Tapéguhé   |
| TSBF     | : Tropical Soil Biology and Fertility  |
| UFR      | : Unité de Formation et de Recherche   |
| UJLoG    | : Université Jean Lorougnon Guédé  |
| USAD     | : United States Department of Agriculture  |
| UTCATF   | : Utilisation des Terres, Changement d’Affectation des Terres et Foresterie        |
| WRB      | : World Reference Base (Base de Référence Mondiale pour les ressources en sols)    |
| Zép      | : Zépréguhé  |

---

**LISTE DES TABLEAUX**

|  |     |
|--|-----|
| Tableau I : Tailles et propriétés des éléments minéraux composant le sol .....                       | 11  |
| Tableau II : Méthodes d'analyses des propriétés physico-chimiques .....                              | 54  |
| Tableau III : Paramètres physiques des sols étudiés .....  | 74  |
| Tableau IV : Acidité, statut organique et phosphore assimilable des sols étudiés .....               | 80  |
| Tableau V : Complexe adsorbant des sols étudiés .....  | 87  |
| Tableau VI : Oligo-éléments des sols étudiés .....   | 92  |
| Tableau VII : Composition et occurrence des macro-invertébrés des sols étudiés .....                 | 99  |
| Tableau VIII : Densité et richesse spécifique des macro-invertébrés des sols étudiés .....           | 106 |
| Tableau IX : Abondance relative des groupes taxonomiques des macro-invertébrés des sols étudiés..... | 107 |
| Tableau X : Indices de diversité des peuplements des macro-invertébrés des sols étudiés ...          | 108 |
| Tableau XI : Stock de carbone organique des sols étudiés .....                                       | 110 |

## LISTE DES FIGURES

|   |     |
|---|-----|
| Figure 1: Schéma des différents stades de la formation du sol.....  | 7   |
| Figure 2 : Horizons du sol.....   | 8   |
| Figure 3 : Taille et diamètre des organismes du sol.....  | 20  |
| Figure 4 : Schéma du cycle du carbone du sol.....   | 30  |
| Figure 5 : Carte de localisation géographique du département de Daloa.....  | 38  |
| Figure 6 : Carte de localisation des sites de l'étude.....  | 39  |
| Figure 7 : Microreliefs des sites.....  | 41  |
| Figure 8 : Quelques matériels techniques utilisés.....  | 46  |
| Figure 9 : Quelques matériels de capture et de conservation des macro-invertébrés.....  | 47  |
| Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental utilisé.....  | 48  |
| Figure 11 : Schéma de calcul de la pente du terrain.....  | 49  |
| Figure 12 : Dispositifs d'emplacement des fosses pédologiques.....  | 50  |
| Figure 13 : Emottage et tamisage des échantillons de sol.....   | 53  |
| Figure 14 : Protocole d'échantillonnage des peuplements de vers de terre et termites.....   | 57  |
| Figure 15 : Dispositif d'échantillonnage des macro-invertébrés épigés.....  | 58  |
| Figure 16 : Exemple de Diagramme de Venn.....   | 60  |
| Figure 17 : Profils des sols sous les palmeraies.....   | 67  |
| Figure 18 : Profils des sols sous cacaoyères.....   | 68  |
| Figure 19 : Profils des sols sous les plantations d'hévéa.....  | 69  |
| Figure 20 : Distribution des espèces selon les usages des sols à Tapeguhé.....  | 95  |
| Figure 21 : Distribution des espèces selon les usages des sols à Zepreguhé.....   | 96  |
| Figure 22 : Distribution des espèces selon les usages des sols à Tahiraguhé.....  | 97  |
| Figure 23 : Distribution des espèces selon les usages des sols à l'échelle du paysage.....  | 98  |
| Figure 24 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous les palmeraies..... | 112 |
| Figure 25 : Corrélogramme de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous cacaoyers.....       | 113 |
| Figure 26 : Corrélogramme de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous hévéas.....          | 114 |
| Figure 27 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous palmiers.....       | 116 |

Figure 28 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous cacaoyers..... 117

Figure 29 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous hévéas ..... 118

Figure 30 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous les palmiers ..... 119

Figure 31 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous les cacaoyers ..... 120

Figure 32 : Corrélogrammes de Pearson montrant les corrélations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous hévéas ..... 121

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de description des profils pédologiques ..... xvi  
Annexe 2 : Diagramme textural de l'USDA ..... xvii  
Annexe 3 : Quelques représentants de la macrofaune recensés sur les différents sites d'étude  
..... xvii

# INTRODUCTION

L'agriculture est un facteur essentiel de croissance économique : en 2018, elle représentait 4 pc du produit intérieur brut (PIB) mondial. Dans certains pays en développement parmi les moins avancés, sa part dépassait 25 pc du PIB (Godement, 2022). Selon la Mission des Nations Unies au Soudan du Sud (MINUSS, 2014), malgré l'urbanisation rapide, les activités liées à l'agriculture constituent encore le moyen de subsistance d'environ 60 pc de la population active du continent africain et représentent 17 pc de la totalité du produit intérieur brut et 40 pc de ses recettes en devises étrangères.

En Côte d'Ivoire particulièrement, l'agriculture a toujours occupé une place prépondérante dans l'économie et le développement. En effet, le secteur agricole représente le quart du PIB du pays et occupe près d'une personne sur deux en âge de travailler (Ducroquet *et al.*, 2017). Le développement du secteur agricole est le fruit d'une pratique de cultures intensives dû aux besoins croissants en ressources alimentaires engendrés par un accroissement démographique. Il en est résulté une forte pression sur les terres agricoles devenues très rares et peu fertiles, entraînant une baisse graduelle des rendements agricoles (Tra Bi, 2013 ; Abobi *et al.*, 2014 ; Ballot *et al.*, 2016 ; CILSS, 2016 ; Kitabala *et al.*, 2016).

L'activité agricole en général est aussi l'un des principaux facteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Tubiello *et al.* (2015) ont estimé sa part à environ 21 pc des émissions mondiales en 2010. Dans le même temps, les sols agricoles peuvent jouer un rôle clé dans l'atténuation du réchauffement climatique en raison de leur capacité à stocker le carbone organique du sol (COS) (Sousa-Junior *et al.*, 2018 ; Rumpel *et al.*, 2020). Le stockage de carbone organique du sol représente la quantité de carbone organique stockée dans un sol à une période donnée, il dépend d'un équilibre entre la quantité de CO qui entre dans le sol et celle qui en sort (FAO, 2017 ; Cambou, 2019 ; Konan *et al.*, 2021). Le stockage du carbone dans le sol dépend non seulement du climat, des caractéristiques pédologiques inhérentes au sol, du stade de développement du sol, des stratégies de gestion des sols, mais aussi, des apports organiques au sol, processus dans lesquels la macrofaune du sol est très impliquée (Barré *et al.*, 2017 ; Fujisaki *et al.*, 2018 ; Schiefer *et al.*, 2018 ; Lal, 2020 ; Veldkamp *et al.*, 2020 ; Wiesmeier *et al.*, 2020 ; Koné *et al.*, 2021 ; Konan *et al.*, 2021).

En effet, les matières organiques qui s'accumulent dans le sol via la litière constituent des sources d'énergie et de carbone pour le compartiment biologique des sols. À travers leurs activités de consommation et de digestion, de fragmentation et de bioturbation, les macro-invertébrés des sols sont des ingénieurs de l'écosystème, ils sont responsables des différentes

étapes de transformation et de l'enfouissement des matières carbonées dans les horizons organo-minéraux et de la formation d'humus (Nielsen *et al.*, 2011 ; Blanchart & Jean Trap, 2020 ; Koné *et al.*, 2020 ; Konan *et al.*, 2021). Le compartiment biologique des sols joue ainsi un rôle essentiel et fournit des biens et services écosystémiques clés (cycle des nutriments, formation des sols, production de nourriture, régulations du climat, de l'érosion et des parasites), en intervenant dans la structuration et le fonctionnement du sol (Koumba *et al.*, 2017).

Vu ce qui précède, on note qu'il y a un intérêt à intensifier les recherches sur les stratégies visant à accroître le stockage du carbone dans les sols (Soussana *et al.*, 2019). Pour Pingali (2012), ces recherches devraient se concentrer sur les sols agricoles car leurs niveaux de stock de carbone organique sont faibles en raison des cultures qu'ils supportent continuellement, lesquelles cultures sont réalisées selon des pratiques qui ne sont pas toujours durables.

En guise d'exemple, le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, notamment la région du Haut-Sassandra dont Daloa est le Chef-lieu, est l'une des principales zones agricoles du pays. Cette région est aujourd'hui couverte essentiellement de forêts dégradées du fait de l'agriculture et est caractérisée par une production agricole de plus en plus faible. Par ailleurs, la saison sèche y est plus longue. Dans ce contexte de changement climatique couplé à la baisse de productivité des sols, le manque de moyens financiers des producteurs ne leur permet pas un accès aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, irrigation), il y a lieu de songer à identifier parmi les pratiques agricoles existantes, celles qui sont susceptibles d'augmenter naturellement le stock de carbone du sol, facteur clé de la fertilité du sol. C'est dans cette logique que s'inscrit la présente étude. Elle vise en général à évaluer la dynamique du carbone organique dans les sols des principaux agrosystèmes du département de Daloa et à déterminer les modalités de stockage de ce carbone afin d'envisager une gestion durable des exploitations agricoles. Plus spécifiquement, il s'agit de déterminer, selon les usages des sols :

- i. leurs caractéristiques morphopédologie et physico-chimiques ;
- ii. la diversité, l'abondance et la composition des communautés des macro-invertébrés que ces sols abritent ;
- iii. leur stock de carbone organique ;
- iv. les liens existant entre leurs différentes propriétés (physique, chimique et biologique) et leur stock de carbone organique.

L'étude est basée sur trois hypothèses énoncées comme suit :

- les stocks de carbone organique dans les sols sous cultures pérennes varient significativement selon les cultures ;
- l'usage des sols impacte le peuplement des macro-invertébrés des sols ;
- les stocks de carbone organique des sols sont mieux expliqués par leurs propriétés biologiques que leurs autres propriétés.

La présente thèse est subdivisée en trois grandes parties. La première partie présente l'état des connaissances, dans cet ordre, sur : i) l'apçru sur le sol ; ii) le cycle de carbone du sol ; iii) le développement de l'agriculture pérenne au dépends des forets en Côte d'Ivoire ; iv) le cadre physique de la zone d'étude. La deuxième partie de la thèse décrit, dans un premier paragraphe, le matériel utilisé et dans un autre, les méthodes employées pour collecter et analyser les données. Les résultats obtenus sont analysés et discutés successivement dans la troisième partie de la thèse. Une conclusion assortie de perspectives, ainsi qu'une liste de références bibliographiques et des annexes complètent le document.

# PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

## I.1. APERÇU SUR LE SOL

La connaissance d'un sol passe par la détermination de ses constituants et propriétés physiques, chimiques et biologiques (Fardeau, 2015 ; Thibault *et al.*, 2018 ; Gayan *et al.*, 2020 ; Jacques, 2021). Cette partie de la thèse aborde donc les différents constituants et propriétés du sol, non sans avoir donné avant un aperçu sur d'autres aspects du sol, notamment : la définition, la pédogenèse et le mode d'organisation du sol, puis les services écosystémiques rendus par les sols.

### I.1.1. Définition, pédogenèse et mode d'organisation du sol

#### I.1.1.1. Définition

Depuis la naissance de la pédologie, de nombreuses définitions du sol ont été proposées. Le sol étant un milieu complexe, il a connu une évolution dans sa définition au cours du temps. Selon ISO (2015), le sol peut être défini comme étant une entité naturelle de la couche supérieure de l'écorce terrestre et souvent meuble, résultant de la transformation, la décomposition et l'altération de la roche mère au contact des processus climatiques, biologiques et physico-chimiques.

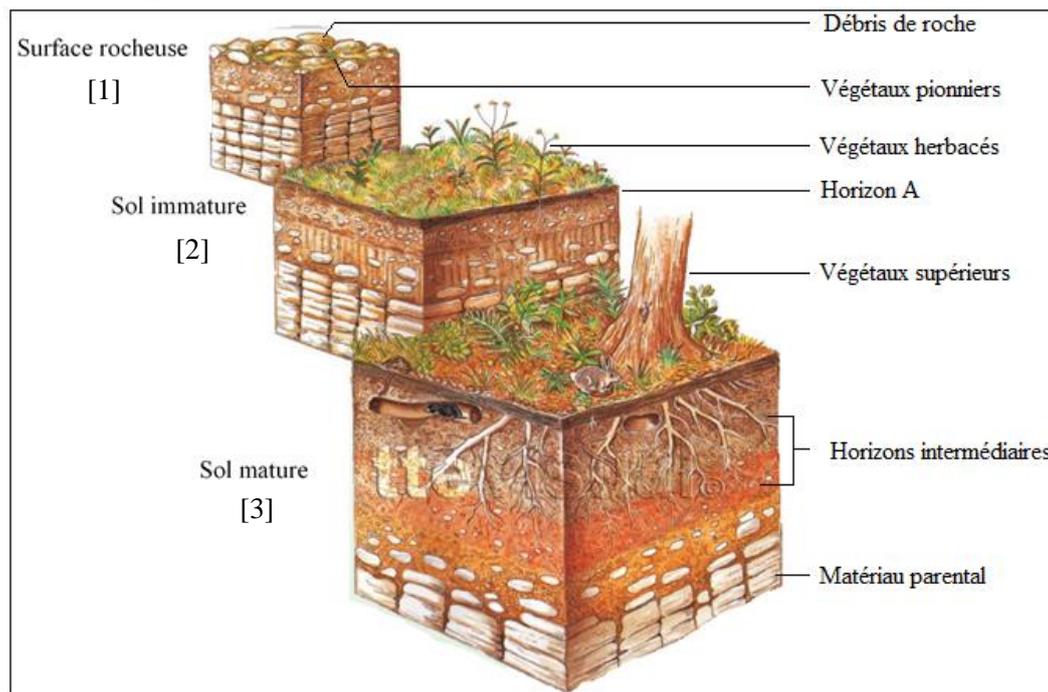
#### I.1.1.2. Pédogenèse

Un sol prend naissance dès que la moindre vie végétale et animale vient s'installer dans les premiers débris de décomposition d'une roche (Soltner, 1992). La formation d'un sol dépend donc de nombreux facteurs abiotiques (climat, nature de la roche-mère, physico-chimie du sol) et biotiques (abondances et diversité des communautés floristiques, faunistiques et microbiennes), le tout agissant en interaction dynamique dans le temps et dans l'espace (Baize & Jabiol, 2011 ; Diarra, 2021). Ceci est résumé par l'équation des sols proposée par Jenny (1941) : "Sol = f (climat, roche, relief, organismes, temps)"(1).

La figure 1 schématise les étapes de formation des sols et leur développement. Grâce à une végétation croissante et l'arrivée d'organismes du sol sur une roche préalablement altérée physiquement, l'horizon de surface s'enrichit en matière organique et s'épaissit sous l'influence de la vie (formation d'un horizon A organo-minéral). Parallèlement, des horizons minéraux intermédiaires se différencient du matériau minéral parental, au fil du temps, grâce à des processus d'altération chimique de la roche et/ou par des transferts de matières. Egli *et al.* (2006) estiment à environ cent ans la durée minimale du processus de formation du sol.

Cependant, pour les anthroposols, des changements majeurs concernant la solution du sol et l'évolution de la matière organique peuvent déjà survenir au bout d'une année sous l'effet des facteurs clés de la structuration des sols constitués par la faune du sol et les racines des plantes (Pey, 2010). En milieu alluvial, l'importance du compartiment biologique dans la différenciation morphologique du substrat a été aussi constatée (Bureau *et al.*, 1994).

Figure 1: Schéma des différents stades de la formation du sol.



Source : <http://www.ttevisual.com/geography/content4.asp>.

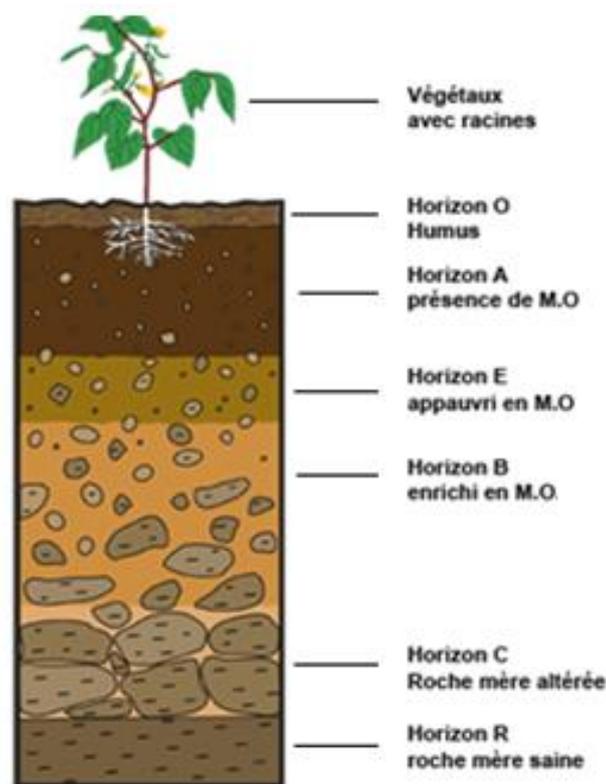
[1] : Première phase ou apparition de la vie sur une roche ; [2] : Deuxième phase ou enrichissement en matière organique de l'horizon de surface ; [3] : Troisième phase ou sol mature.

### I.1.1.3. Organisation du sol

Le sol est un milieu structuré à différentes échelles de fonctionnement. On distingue plusieurs niveaux d'organisation constituant des couches plus ou moins parallèles à la surface et d'épaisseurs variables (Figure 2). Ces couches constituent les différents horizons du sol. Ils sont constitués de matière minérale et organique. Leur nombre varie en fonction de l'état d'évolution du sol. Les horizons diffèrent les uns des autres par des caractéristiques suivantes : la couleur, la texture, l'abondance d'éléments grossiers, l'arrangement spatial des constituants et des vides associés. Ces caractéristiques ont permis de définir plus de soixante-dix (70) types d'horizons appelés : horizons de référence décrits et répertoriés dans le référentiel pédologique (Baize & Girard, 2008). Ces horizons de référence sont désignés par les lettres O, A, B, E, S,

C, R, M selon une nomenclature internationale. On distingue deux groupes d'horizons : les horizons humifères ou organiques et les horizons minéraux. Les horizons rencontrés généralement dans les pays tropicaux sont présentés dans le paragraphe ci-dessous.

Les horizons O (horizons organiques) sont en contact avec l'atmosphère et la lithosphère. Ils sont de nature organique, de couleur sombre et composés essentiellement de débris végétaux plus ou moins transformés, mais encore reconnaissables. L'épaisseur de ces horizons varie avec l'intensité de l'activité biologique et le climat. Selon son épaisseur, l'horizon O se divise en trois couches superposées : O<sub>1</sub> ou litière composée de débris végétaux non décomposés, O<sub>f</sub> ou couche de fermentation où les débris végétaux sont partiellement décomposés par l'activité biologique et O<sub>h</sub> ou couche d'humification caractérisée par une transformation totale des débris végétaux en humus.



MO : Matière organique

Figure 2 : Horizons du sol

Source : Baize & Girard (2008).

Les horizons A, de nature organo-minérale, ont en général une couleur foncée et sont situés sous l'horizon O. Ils surmontent les horizons E de couleur claire, essentiellement minéraux, appelés horizons éluviaux. Ces horizons sont lessivés, appauvris en carbonates et

---

hydroxydes. Les horizons B ou illuviaux sous-jacents des horizons E sont aussi de nature minérale (horizons minéraux). Ils constituent les lieux d'accumulation d'éléments comme les argiles, le fer, l'aluminium, etc., d'où leur enrichissement en minéraux argileux, sels, carbonates et oxyhydroxydes. L'horizon C correspond à la roche mère plus ou moins altérée. Chacun de ces horizons est une couche repérable et distincte par ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques. Les horizons du sol sont d'autant plus distincts et diversifiés que le sol est évolué. L'ensemble des horizons d'un sol forme le profil.

### I.1.2. Services écosystémiques rendus par les sols

Les sols constituent une ressource naturelle non renouvelable. En d'autres termes, leur perte et leur dégradation ne sont pas réversibles à l'échelle d'une vie humaine (FAO, 2015). Or, ils sont à la base de nombreux services dits « écosystémiques », c'est-à-dire des « services que les humains retirent des écosystèmes, sans avoir à œuvrer pour les obtenir » (MEA, 2005 ; Adhikari & Hartemink, 2016). Ces services sont classés en quatre (4) catégories : les services de support, d'approvisionnement, de régulation et culturels (MEA, 2005).

- Les services de support incluent notamment, l'agriculture, l'urbanisation et ses corollaires et les cycles des nutriments (Lal, 2014 ; Walter *et al.*, 2015).

- Au niveau des services d'approvisionnement, figurent la production agricole (Lal, 2014 ; Walter *et al.*, 2015), la production de biomasse pour l'énergie via la production forestière et la production de matières premières pour le bâtiment et l'industrie. Aussi, le sol héberge-t-il un immense patrimoine biologique peu connu qui fournit ou pourrait fournir dans le futur des produits biochimiques et pharmaceutiques (Burrow, 2015).

- Les services de régulation du sol sont illustrés entre autres par les stocks des volumes d'eau considérables que renferment les sols, permettant ainsi la survie des hommes et des plantes en période sèche (Adhikari & Hartemink, 2016 ; Jónsson & Davíðsdóttir, 2016 ; Razanamalala, 2017). Le sol sert aussi de réservoir de stockage et d'alimentation des trois éléments nutritifs majeurs du sol pour les plantes qui sont l'azote, le phosphore et le potassium. Ces éléments sont indispensables au développement des organismes du sol et au maintien des chaînes alimentaires des écosystèmes. Ces nutriments sont fixés dans le sol par l'intermédiaire du complexe argilo-humique. Plusieurs autres services de régulation non moins importants sont également assurés par les sols : régulation de l'effet de serre via le stockage de carbone (près de 80 pc du carbone terrestre est stocké dans le sol) (Burrow, 2015 ; Adhikari & Hartemink,

2016) ; régulation des inondations par l'action de la biodiversité dans le sol ; filtration de l'eau via l'action épuratrice des micro-organismes et de ses autres composantes (Burrow, 2015 ; Walter *et al.*, 2015).

- En constituant un patrimoine géologique, paysager et archéologique important, le sol apporte des services culturels indéniables (Lal, 2014 ; Burrow, 2015). Tenant compte de la diversité et de l'importance des services écosystémiques rendus par les sols, il y a un enjeu pour l'homme à améliorer ses connaissances sur les différentes propriétés des sols.

### I.1.3. Constituants et propriétés du sol

#### I.1.3.1. Constituants du sol

Les sols peuvent être très différents d'un endroit à l'autre, cependant, ils sont généralement constitués de solides de natures organique et minérale, d'eau et d'air (Fondrillon, 2009). Le sol est donc un milieu triphasique. Aude (2013) estime à environ 48 pc la proportion en volume de la phase solide (36 pc d'éléments minéraux et 12 pc de matière organique), 15 pc celle de la phase liquide et 35 pc la proportion de la phase gazeuse.

##### I.1.3.1.1. Phase solide

###### ❖ Fraction minérale

Les constituants minéraux proviennent d'une roche mère qui s'est dégradée sous l'effet de différents phénomènes physiques, chimiques et biologiques (Legros, 2009). Les principaux constituants minéraux du sol sont les argiles, les limons et les sables. Ces trois éléments sont classés selon leur diamètre et arborent des propriétés physico-chimiques propres (Tableau I) (Aude, 2013). Le sable et le limon sont des constituants chimiquement inertes car ces grains portent peu de charges électriques. Par comparaison aux sables et aux limons, les argiles sont des éléments les plus fins, mais aussi, les plus réactifs. Les argiles présentent trois propriétés importantes qui varient selon leur structure minéralogique. Les argiles présentent une charge globale négative qui leur permet de fixer et redistribuer les ions  $H^+$  et les cations métalliques présents dans le sol. Le taux d'argiles dans un sol va donc conditionner la capacité d'échange cationique et le pH du sol (Bronick & Lal, 2005 ; Aude, 2013). Les argiles sont hydrophiles et peuvent fixer les molécules d'eau, ce qui intervient sur la réserve hydrique du sol. Enfin, les argiles sont des colloïdes et peuvent se présenter sous forme dispersée (suspension homogène des particules dans l'eau) ou floculée (regroupement des particules en petits agrégats). De par

ces propriétés, les argiles jouent un rôle central dans le sol influençant sa structure, sa porosité ou sa capacité d'échange ionique et le stockage du carbone.

Tableau I : Tailles et propriétés des éléments minéraux composant le sol

| Elément minéraux | Diamètre ( $\mu\text{m}$ ) | Absorption des ions | Rétention de l'eau | Perméabilité |
|------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| Argiles          | < 2                        | Forte               | Forte              | Faible       |
| Limons           | 2 - 50                     | Faible              | Moyenne            | Faible       |
| Sables           | 50 - 2000                  | Nulle               | Nulle              | Forte        |

Source : Aude (2013).

Les proportions relatives de sables, limons et argiles qui constituent le sol définissent sa texture. Il existe une douzaine de classes texturales comme représenté dans le diagramme référentiel des textures ou triangle des textures (annexe 2) (USDA, 1987). La texture du sol est une propriété stable dont l'évolution demande plusieurs milliers d'années en fonction de la roche mère.

#### ❖ Fraction organique

Au sens strict, la fraction organique du sol regroupe l'ensemble des substances carbonées provenant des débris végétaux, déjections et cadavres d'animaux en humus (Benahmed, 2017). L'humus est le composé final de la dégradation de la matière organique. C'est un composé organique stable à noyaux aromatiques et riches en radicaux libres, comme la lignine. Il est la source naturelle d'azote la plus importante et régularise l'agencement du sol en présence de l'eau, en air et en chaleur (Bliefert & Perraud, 2001 ; Benahmed, 2017).

L'humus est un terme qui regroupe l'ensemble de la matière organique non vivante du sol et qui peut être classé en deux catégories : i) les substances non humiques qui correspondent à la fraction de matière organique dont les caractéristiques bio-physicochimiques sont reconnaissables (les hydrates de carbone, les protéines, les acides aminés, les lipides,...etc.) et ii) les substances humiques issues de la transformation chimique ou biologique (altération, polymérisation,...etc.) de la matière organique du sol (Pansu & Gautheyrou, 2003 ; Sahnoune, 2014).

L'humus peut présenter des charges négatives dues à la dissociation des atomes d'hydrogènes localisés sur les groupements carboxyles et phénols. De par ces charges

---

négligables, l'humus va interagir avec certains ions du sol tels que les ions ferriques, l'aluminium et le calcium. Dans les sols, les acides humiques sont associés aux argiles par l'intermédiaire des cations bivalents pour former le complexe argilo-humique (Aude, 2013).

#### I.1.3.1.2. Phase liquide

La phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol ». Constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension, elle occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol (Sahnoune, 2014). Par ailleurs, la solution du sol est indispensable pour la nutrition hydrique des végétaux (Walter *et al.*, 2015). Cette eau alimente enfin le sol en oxygène, en sels minéraux et en gaz carbonique, mais aussi, en éléments polluants (Bressoud *et al.*, 2009). La composition de la solution du sol varie selon le climat, les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...etc.) et l'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.) (Sahnoune, 2014).

#### I.1.3.1.3. Phase gazeuse

Un mélange de gaz et de vapeur d'eau forme l'atmosphère du sol qui occupe les pores non remplis par la phase liquide. La phase gazeuse du sol est en équilibre avec l'air extérieur mais les concentrations des différents gaz diffèrent, ce qui est lié à la vitesse de diffusion des gaz dans la porosité fine du sol (qui peut être plus ou moins continue). La composition de la phase gazeuse dans le sol présente des fluctuations saisonnières liées à la respiration des racines et à l'activité microbienne du sol. L'oxygène ( $O_2$ ) doit être présent dans le sol en quantité suffisante pour répondre aux besoins des plantes et des microorganismes (respiration aérobie). Le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) doit également diffuser vers l'extérieur (Gobat *et al.* 2010 ; Calvet, 2003 ; Benahmed, 2017).

La phase gazeuse du sol est conditionnée par plusieurs phénomènes, notamment, les échanges de gaz avec l'atmosphère par diffusion moléculaire couplée à la volatilisation et à la dissolution, la respiration des organismes vivants, les échanges de gaz avec la solution du sol et les apports volontaires ou accidentels de diverses substances organiques volatiles (Benahmed, 2017). L'atmosphère du sol est contrôlée par deux gaz à l'état libre ou dissous : l'oxygène qui conditionne la respiration des racines et des organismes et qui intervient dans des

---

réactions d'oxydation et le dioxyde de carbone qui est essentiel aux organismes autotrophes pour leur synthèse organique (Chamayou & Legros, 1989 ; Benahmed, 2017).

### I.1.3.2. Propriétés des sols

#### I.1.3.2.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques des sols sont mesurées à l'aide d'indicateurs tels que les éléments grossiers (taux, nature et états), la texture, la densité apparente, la porosité, la teneur en eau du sol ou encore l'eau disponible pour les plantes, la structure et la stabilité des agrégats, la profondeur d'enracinement (Fardeau, 2015 ; Araya *et al.*, 2021).

##### ❖ Taux et nature des éléments grossiers

Les éléments grossiers du sol sont constitués par tous les constituants minéraux individualisés de dimension supérieure à 2 mm. Leur taux (pierrosité ou charge grossière) exprimé en pourcentage est obtenue par pesée lors de la préparation des échantillons, après lavage et séchage du « refus à 2 mm ». Dans ce refus, on distingue les éléments grossiers lithiques, les nodules pédologiques et parfois des agrégats ayant résisté à l'écrasement (Baize, 2000 ; Sharma *et al.*, 2010 ; Araya *et al.*, 2021).

##### ❖ Texture

La texture du sol est sa proportion relative de sables, limons et argiles déterminée à partir du triangle textural (Schvartz *et al.*, 2005 ; Fardeau, 2015). Elle est aussi la caractéristique la plus stable d'un sol. Sur le terrain, la texture est déterminée par la méthode pifométrique (un peu la technique du doigt mouillé). Au laboratoire, la détermination se fait par une technique quantifiant l'information relative à la vitesse, donc au temps de descente des particules dans de l'eau, lequel temps est sous la dépendance de la loi de Stokes (Fardeau, 2015). La texture du sol influence également la teneur en eau et le potentiel hydrique du sol (Radcliffe *et al.*, 2010).

##### ❖ Densité apparente

Selon Fardeau (2015), la densité apparente ( $D_a$ ) exprimée en  $\text{g.cm}^{-3}$  peut être définie comme étant la masse de terre par unité de volume. Elle varie avec les pratiques conduisant aux compressions de toutes natures, tels le piétinement animal ou le passage des engins lourds dans des conditions d'humidité favorisant la compaction (Reynolds *et al.*, 2008 ; Fardeau, 2015).

#### ❖ Porosité totale

La porosité totale (Pt) correspond au volume des pores présents dans un volume de terre donné ; elle est exprimée en pourcentage. Ces pores peuvent être remplis par des gaz et/ou de l'eau (Schvartz *et al.*, 2005 ; Fardeau, 2015). La teneur en eau étant très variable au cours du temps, le pourcentage est aussi très variable (Fardeau, 2015). C'est dans la porosité du sol que s'effectuent les échanges de gaz entre le sol et l'atmosphère (Schvartz *et al.*, 2005). Elle intervient également dans la distribution et la disponibilité de l'eau et sert d'habitat aux microorganismes du sol (Kibblewhite *et al.*, 2008 ; Jacques, 2021). La porosité a donc une importance capitale dans la fertilité des sols (Jacques, 2021).

#### ❖ Teneur en eau

La teneur en eau du sol ou encore l'eau disponible pour les plantes est la quantité d'eau maximale retenue par un sol qui serait disponible pour les plantes (Radcliffe *et al.*, 2010 ; Fardeau, 2015). C'est un paramètre essentiellement variable au cours du temps contrôlé par les pluies, l'évapotranspiration, l'irrigation, les conditions de circulation de l'eau dans le profil (Fardeau, 2015) et la texture (Radcliffe *et al.*, 2010). Elle correspond à la différence entre la teneur en eau du sol à la capacité au champ et la teneur en eau du sol au point de flétrissement permanent (Schvartz *et al.*, 2005 ; Radcliffe *et al.*, 2010).

#### ❖ Structure

D'après Schvartz *et al.* (2005) et Jacques (2021), la structure du sol est la disposition des particules de sable, limon et argile les unes par rapport aux autres dans un volume de sol donné. Elle influence la teneur en eau pour les plantes et le potentiel hydrique du sol (Radcliffe *et al.*, 2010), ainsi que la distribution spatiale des racines (Pardo *et al.*, 2000), la sensibilité à l'érosion et la porosité du sol (Bronick & Lal, 2005).

#### ❖ Stabilité des agrégats

Un agrégat peut être défini comme un groupe de deux, ou très souvent bien plus, des particules élémentaires qui sont liées en formant une unité dont la résistance est supérieure à celle des particules séparées constituant l'agrégat (Fardeau, 2015). L'agrégation est le processus par lequel les particules minérales et organiques du sol s'associent pour former des agrégats (Jangorzo, 2013). La stabilité de ces agrégats est la capacité d'un sol à maintenir l'arrangement

spatial des agrégats et des vides lorsqu'il est exposé à différents stress tels qu'une pluie (Cosentino *et al.*, 2006).

#### ❖ Profondeur d'enracinement maximale

La profondeur d'enracinement maximale (PEM) peut se définir comme étant la profondeur limite exploitable par les racines (à moduler donc selon l'espèce végétale considérée) en un site déterminé. On peut soit la constater directement sur le terrain sous une végétation pérenne adulte ou, sous une culture annuelle, au stade phénologique du développement maximal de l'enracinement. Lorsque le solum ne supporte pas la végétation ou que l'on n'a pas l'espèce végétale ou le stade phénologique souhaités, on doit l'estimer par un jugement relatif à l'existence d'éventuels obstacles à l'enracinement. La PEM sert à estimer le réservoir maximal d'un solum, d'une unité typologique ou d'une unité cartographique. Celui-ci est égal à la somme des réservoirs utilisables de chaque horizon jusqu'à la PEM (Baize, 2016).

#### I.1.3.2.2. Propriétés chimiques

Comme pour le cas des propriétés physiques, les propriétés chimiques du sol sont évaluées par la mesure de nombreux indicateurs, notamment : le potentiel d'hydrogène ( $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{KCL}}$ ), le taux de matière organique (MO) ou de carbone organique (CO) du sol, la teneur en éléments nutritifs du sol, le rapport C/N, la capacité d'échange cationique (CEC) ou encore le taux de saturation du complexe d'échange (Baize, 2000 ; Sharma *et al.*, 2010 ; Thibault *et al.*, 2018).

#### ❖ Acidité ou alcalinité

Le potentiel d'hydrogène (pH) renseigne sur le degré d'acidité ou d'alcalinité du sol (Schvartz *et al.*, 2005). La mesure de l'acidité permet de quantifier la concentration des ions  $\text{H}^+$  dans les solutions de sol. On peut déterminer en fait deux pH pour chaque échantillon sol : l'un dans l'eau et l'autre dans du chlorure de potassium (KCl) (Baize, 1988). Le premier renseigne sur l'acidité effective de la solution et le second sur l'acidité potentielle (Fardeau, 2015). Le pH optimal pour la production végétale est d'environ 6,5 (Jacques, 2021). Le pH d'un sol influence la capacité de ses constituants porteurs de charges à piéger ou libérer les cations (Schvartz *et al.*, 2005).

---

- ❖ Carbone et matière organique du sol

- Description

La matière organique du sol (MOS) est spécifique aux êtres vivants (Jacques, 2021). Il s'agit du produit de la décomposition des résidus d'animaux et des végétaux, de produits métaboliques des plantes, d'animaux (racines, litières de feuilles, résidus de culture) ou de microorganismes, d'hydrates de carbone, de lignines, de protéines, de lipides, ... présents dans le sol (Lehmann & Kleber, 2015). La MOS est donc un mélange hétérogène de composés carbonés d'origines diverses (végétales, animales, microbiennes), dont la stabilité et le taux de renouvellement diffèrent (Trigalet *et al.*, 2017). En effet, le temps de renouvellement de la MOS varie selon plusieurs facteurs tels que l'abondance d'organismes décomposeurs et l'énergie dont ils ont besoin, ou encore les propriétés et l'abondance des surfaces minérales qui peuvent protéger la MOS (Lehmann & Kleber, 2015). La MOS qui n'est pas protégée est exposée à l'oxydation et la forme la plus oxydée du carbone contenu dans la MOS est le CO<sub>2</sub> (Trigalet *et al.*, 2017). Le processus de décomposition de la MOS est influé par l'humidité, la température, la communauté microbienne présente dans le sol et les conditions ambiantes du sol (Lehmann & Kleber, 2015 ; Zakem *et al.*, 2021).

La MOS est composée d'environ 50 à 55 pc du COS (Miltner *et al.*, 2012 ; Kallenbach *et al.*, 2016). Ce taux peut varier selon les conditions édaphiques (Trigalet *et al.*, 2017). Le COS a plusieurs formes (Miltner *et al.*, 2012 ; Kallenbach *et al.*, 2016). Il est obtenu à partir d'un rapport de conversion couramment utilisé entre COS et MOS, le « coefficient de van Bemmelen » (MOS/COS = 1,72). Néanmoins, ce rapport varie selon les types de MOS (Pribyl, 2010 ; Baize, 2016).

- Rôle dans le maintien de la fertilité du sol

La MOS joue un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (Salducci, 2007 ; Diacono *et al.*, 2010). En effet, sa présence, comme son absence, a des conséquences environnementales et agronomiques multiples (biologiques, physiques et chimiques) sur les sols et les agrosystèmes (Decoopman, 2003 ; Fardeau, 2015).

Au plan biologique, la MOS constitue une source de carbone organique et d'énergie utilisée par la plupart des êtres vivants du sol pour leur développement (Schvartz *et al.*, 2005). Étant l'aliment des êtres vivants du sol, la MOS est à l'origine de leur activité biologique reconnue depuis longtemps comme essentielle au bon fonctionnement du sol (Sharma *et al.*,

2010 ; Jacques, 2021). A ce sujet, plusieurs auteurs dont Lehmann & Kleber (2015) et Zakem *et al.* (2021) attestent que la MOS est un continuum de substances organiques qui sont progressivement dégradées en molécules plus petites par les décomposeurs, organismes hétérotrophes qui se nourrissent de la MOS pour obtenir l'énergie et les molécules dont ils ont besoin. Ces organismes transforment une grande partie de la MOS en nutriments solubles dans l'eau et assimilables par les plantes. Plus la MOS est oxydée/dégradée, plus elle interagit avec la surface des composés minéraux du sol et plus elle est impliquée dans la formation des agrégats du sol. L'adsorption de la MOS sur les surfaces minérales et son incorporation dans les agrégats du sol la protègent momentanément d'une décomposition ultérieure.

Sur le plan physique, la MOS augmente le pouvoir de rétention en eau des sols à des degrés divers selon sa nature (Diacono *et al.*, 2010 ; Lal, 2014 ; Lehmann & Kleber, 2015). L'apport de la MOS améliore la stabilité des agrégats grâce à la stimulation de l'activité microbienne (Cosentino *et al.*, 2006 ; Lehmann & Kleber, 2015 ; Chenu *et al.*, 2018 ; Jacques, 2021), améliore la porosité du sol et diminue sa densité apparente (Thibault *et al.*, 2018 ; Jacques, 2021).

En ce qui concerne les propriétés chimiques des sols, plus un sol est riche en matières organiques, plus son pouvoir tampon est élevé. Autrement dit, un sol riche en matières organiques est capable de résister aux variations de pH du sol (Lal, 2014 ; Jacques, 2021).

#### ❖ Teneur en éléments nutritifs

Pour son développement, la plante a besoin de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote minéral (N), de potassium (K), de calcium (Ca), de magnésium (Mg), de phosphore (P), de soufre (S) et de nombreux micronutriments (Baize, 2000 ; Schwartz *et al.*, 2005). Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont prélevés dans l'air et dans l'eau tandis que les autres éléments nutritifs sont puisés dans le sol via les racines (Schwartz *et al.*, 2005). La teneur en éléments nutritifs du sol est donc un indicateur important de la fertilité du sol (Jacques, 2021).

#### ❖ Rapport C/N

Le rapport C/N informe sur la dynamique d'évolution de la MOS. Un rapport C/N idéal se situe entre 9 et 10 (Thibault *et al.*, 2018). Un rapport C/N faible indique une dégradation rapide de la MOS tandis qu'un rapport C/N élevé traduit sa décomposition lente. Les microorganismes qui décomposent la MOS ont besoin d'azote (N). Si la matière organique

apportée au sol a un rapport C/N faible, elle apporte suffisamment d'azote aux microorganismes du sol, ce qui permet une croissance rapide de la population microbienne qui décompose alors rapidement la MOS. Un rapport C/N élevé signifie que la MOS ne contient pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone. L'activité biologique est réduite ; les microorganismes prélèvent l'azote dans le sol pour se nourrir et poursuivent lentement la décomposition de la matière carbonée (Jacques, 2021).

#### ❖ Capacité d'échange cationique et taux de saturation du sol en bases échangeables

La Capacité d'échange cationique (CEC) est la quantité totale de cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) qui peuvent être adsorbés sur certains constituants solides du sol porteurs de charges tels que la MOS, les oxydes de fer ou d'aluminium et certains minéraux argileux comme la kaolinite (Fardeau, 2015 ; Jacques, 2021). Elle varie dans le temps (Schvartz *et al.*, 2005). La plupart des cations échangeables, sauf  $\text{Al}^{3+}$ , sont des nutriments pour les plantes (Jacques, 2021). Cette propriété illustre à la fois la fonction de garde-manger pour les plantes et un réservoir jouant un rôle majeur en tant que pouvoir tampon de la pression osmotique entre le milieu extérieur et les cellules des racines (Schvartz *et al.*, 2005 ; Diacono *et al.*, 2010 ; Fardeau, 2015). Plus un sol est riche en argiles et en matières organiques, plus sa capacité à adsorber des cations est grande. Au contraire, plus un sol est riche en sable et pauvre en matières organiques, plus sa CEC est faible (Jacques, 2021).

Le taux de saturation d'un sol en bases échangeables est le pourcentage de la CEC occupée par des cations basiques tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  (Schvartz *et al.*, 2005 ; Jacques, 2021). Plus ce taux est élevé, plus il y a de cations nutritifs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) disponibles et le taux de saturation du complexe d'échange en bases l'est aussi (Schvartz *et al.*, 2005 ; Jacques, 2021).

### I.1.3.2.3. Propriétés biologiques

#### I.1.3.2.3.1. Définition et mode de détermination

Les propriétés biologiques du sol correspondent à l'ensemble des organismes du sol qui passent leurs cycles biologiques complets dans le sol ou y séjournant au moins une partie de leur existence. Ces organismes sont très diversifiés en forme, couleur, taille et fonction : ils s'étendent des organismes microscopiques aux mammifères macroscopiques représentant à eux seuls près du quart (23 pc) de la diversité totale de l'ensemble des organismes vivants décrits à

---

ce jour (Lavelle *et al.*, 2006 ; Cameron *et al.*, 2018). La faune du sol est classée en quatre (04) grands groupes selon la taille des organismes qui la composent (El Alami, 2013 ; Briones, 2014 ; Baize, 2016) : la microfaune, la mésofaune, la macrofaune et la mégafaune (Figure 3).

Dans la pratique, les propriétés biologiques du sol, surtout celles liées à la macrofaune du sol, s'apprécient à l'aide de nombreux indices écologiques, notamment, la composition, l'abondance, la richesse spécifique, etc, qui permettent de caractériser la structure d'un peuplement donné et les indices de structure (indices de Shannon-Weaver, d'équitabilité, Simpson, etc.) qui permettent d'évaluer la diversité de ce peuplement.

L'abondance des peuplements des macro-invertébrés est estimée par la densité des espèces, la densité étant le nombre d'individus d'un taxon ramené à une unité de surface ou de volume (Ramade, 2003). La richesse spécifique (RS) est l'un des paramètres fondamentaux qui caractérisent un peuplement (Blondel, 1969). Elle représente le nombre total d'espèces que comporte le peuplement d'un site d'étude à un moment donné (Ramade, 2003). Elle est fréquemment utilisée comme une variable exprimant l'état d'un écosystème et intervient le plus souvent dans les efforts de gestion et de conservation de la biodiversité ainsi que dans l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la biodiversité (Koumba *et al.*, 2017).

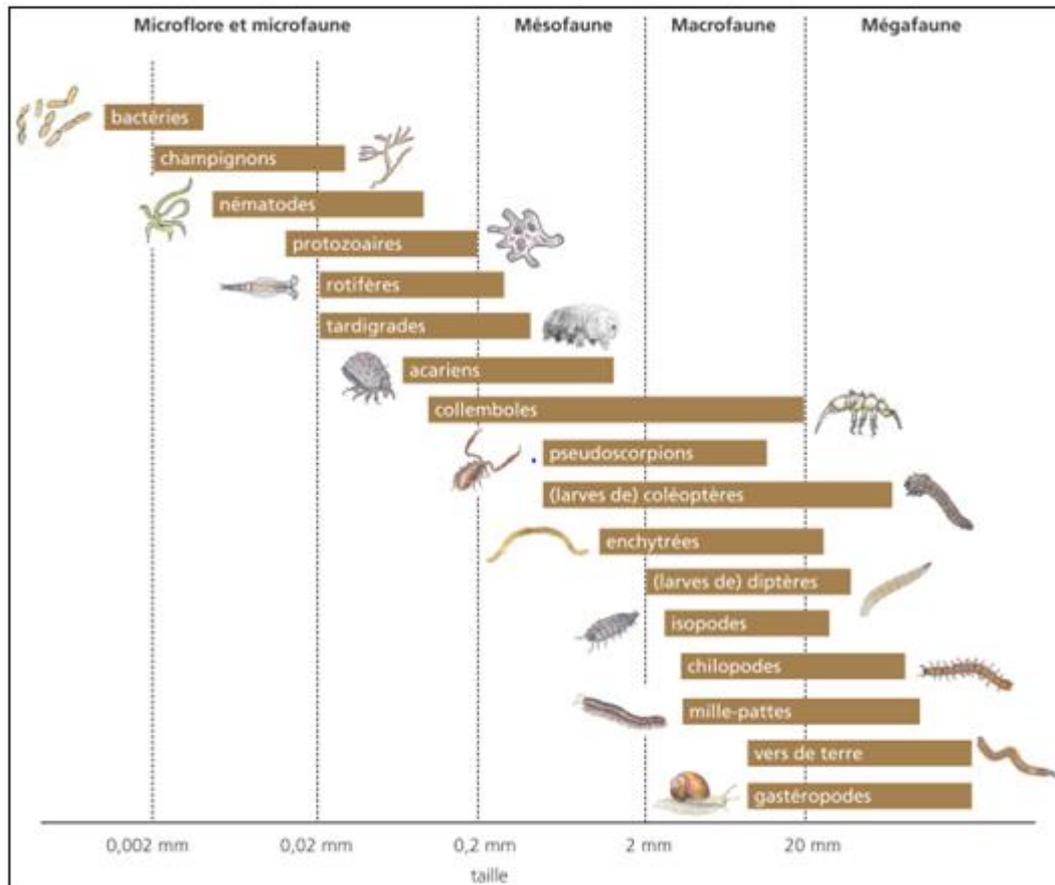


Figure 3 : Taille et diamètre des organismes du sol

Source : Briones (2014).

L'indice de Shannon ( $H'$ ), aussi appelé indice de Shannon-Weaver, est le plus couramment utilisé (Shannon, 1948 ; Shannon & Weaver, 1963). Il permet de mesurer la composition spécifique d'un peuplement à partir du nombre d'espèces et de leur abondance dans un écosystème donné (Legendre & Legendre, 1984). Cet indice est idéal pour une étude d'évaluation et de comparaison des peuplements car il est relativement dépendant de la taille de l'échantillon (Gray & Pearson, 1982). Plus un milieu renferme des espèces différentes, plus la valeur de l'indice de Shannon augmente de façon logarithmique. Les valeurs de  $H'$  sont comprises entre 1 et 5, elle tient compte de la diversité spécifique (Shannon, 1948 ; Shannon & Weaver, 1963). Son calcul s'accompagne le plus souvent de l'indice d'Équitabilité ou Régularité ( $E$ ) de Pielou (1969), appelé également indice d'Équirépartition. La régularité de la distribution des espèces est un élément important de la diversité ; elle représente le rapport de  $H'$  à l'indice maximal théorique dans le peuplement ( $H'_{\max}$ ). Une espèce représentée abondamment ou par un seul individu n'apporte pas la même contribution à l'écosystème et le

maximum de diversité sera atteint quand les espèces auront une répartition très régulière. D'après Ramade (1993), l'équitabilité varie de 0 à 1. Lorsque cet indice est proche de 0, cela signifie qu'une espèce domine largement la communauté et lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces tendent à avoir la même abondance dans un milieu naturel non perturbé. Pour beaucoup d'écologistes, une équitabilité élevée est l'expression d'une communauté équilibrée.

#### I.1.3.2.3.2. Principaux groupes taxonomiques des macro-invertébrés du sol

##### ❖ Annélides Oligochètes

Les Annélides (Oligochètes) ou Vers de terre sont des vers à symétrie bilatérale libre (coelomates). Leur corps est cylindrique et formé d'une succession de segments semblables, compris entre un lobe céphalique et un lobe terminal. Tous les vers de terre partagent un besoin d'humidité minimale dans leur environnement (Traore, 2012 ; Kadi, 2015). Ils appartiennent à l'ordre des Oligochètes avec la famille des Lombricidés comme la plus importante et probablement la plus récente en terme évolutif (Gobat *et al.*, 2010 ; Burrow, 2015). Les Annélides sont principalement actifs pendant les saisons des pluies et rentrent en repos pendant les périodes sèches en s'enfonçant dans le sol (Lavelle *et al.*, 1995). De manière générale, les périodes de repos peuvent être influencées par l'humidité, la température ou la nourriture (Bachelier, 1974 ; Traore, 2012).

Bouché (1972) classe les vers de terre en trois catégories écologiques basées sur les critères morphologiques (pigmentation, taille), comportementaux (alimentation, construction de galeries, mobilité) et écologiques (longévité, temps de régénération, prédation, survie à la sécheresse). Ainsi, les épigés (de surface) qui vivent dans la litière ou dans d'autres matériaux de surface riches en matière organique, sont des espèces de petite taille aux teintes foncées et participant au fractionnement des matières organiques mortes ; ces vers de terre ne perforent pas, même si certaines espèces intermédiaires peuvent créer de petites galeries très superficielles. Ils vivent à la surface du sol et, de ce fait, sont exposés aux aléas climatiques, à la prédation et aux opérations culturales (travail du sol, pesticides, brûlis). Les endogés (de faible profondeur) vivent quant à eux exclusivement dans le sol et se nourrissent de la matière organique. Ils construisent des réseaux de galeries horizontales dans les 30 premiers centimètres et agissent ainsi sur la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol. Ce sont des vers peu colorés de taille variable et généralement les plus nombreux dans les sols. Pour finir, les vers anéciques (de grande profondeur) sont des espèces de grande taille creusant de profondes galeries

verticales ouvertes en surface, ce qui leur permet de se nourrir de la matière organique recouvrant la surface du sol, mais aussi, de se réfugier en profondeur. Ils peuvent s'enfoncer jusqu'à 1 mètre de profondeur selon la qualité des couches meubles et la saison (Mohammedi & Lounis, 2015).

#### ❖ Termites

Les termites (Arthropodes : Insectes) sont des insectes qui appartiennent à l'ordre des Blattoptères. Ils possèdent deux paires d'ailes membraneuses presque semblables, avec des antennes monoliformes et un thorax segmenté (Holt & Lepage, 2000 ; Eggleton, 2000 ; Traore, 2012). Elles sont très sensibles à l'humidité et à la chaleur. Les principaux facteurs qui déterminent leur abondance et diversité dans un milieu sont le type de sol, l'eau, la végétation et l'activité humaine (Roy, 1974 ; Eggleton, 2000 ; Gbenyedji *et al.*, 2011). Le nombre d'espèces de termites décrites ne cessent d'augmenter. Actuellement, on compte environ 2900 espèces, 270 genres, 14 sous-familles réparties dans 7 familles (Angel & Krishna, 2004). Sur les 2900 espèces identifiées dans le monde, plus de 1000 espèces sont présentes sur le continent africain (Langewal *et al.*, 2003). Selon Engel & Krishna (2004), les six familles des termites sont : i) les Mastotermitidae représentés par une seule espèce primitive d'Australie septentrionale ; ii) les Kalotermitidae caractérisés par des termites primitifs peu différenciés en dehors du couple royal avec les genres *Cyptotermes* et *Neotermes* ; iii) les Hodotermitidae distingués par des familles peu nombreuses. Bouillon & Mathot (1965) divisent cette famille en deux sous-groupes, à savoir : les Termopsidae et les Hodotermitidae ; iv) les Rhinotermitidae renfermant 13 genres et 166 espèces, dont *Coptodermes sjostedti*, un des termites les plus nuisibles d'Afrique (Basse Côte d'Ivoire, Guinée) et les *Psammotermes* ; v) les Serritermitidae, ancienne sous-famille des Rhinotermitidae et vi) les Termitidae (ou termites supérieurs) qui renferment les trois quart (3/4) des termites décrits et plus des 9/10 des termites africains ; vii) la famille des Termopsidae est dominée par des termites primitifs. Cette famille est représentée par des colonies à faible population (quelques centaines d'individus maximum), leur aire de distribution recouvre l'Australie, la Nouvelle-Zélande, l'Asie du Sud-Est et le littoral nord-américain (Edmond, 2016).

Le mode de vie des termites varie d'un genre à l'autre. Des différences considérables peuvent se manifester à l'intérieur d'une même sous-famille (Traore, 2012). Ce sont des insectes dont les genres diffèrent par les habitats, les exigences climatiques, le régime alimentaire et les

---

aptitudes à bâtir. Ils sont abondants dans les dépressions humides (Mboukou-kimbatsa, 1997, El Alami, 2013). Certains termites demeurent dans les bois secs et d'autres espèces vivent dans des nids (ou termitières). Les colonies arboricoles restent toujours en contact avec le sol pour leur alimentation en eau (Ponge, 2000 ; El Alami, 2013). La cellulose et la lignine constituent leurs principaux aliments énergétiques qu'ils digèrent à l'aide de symbiotes (Bactéries, Zooflagellés, Champignons Basidiomycètes) (Grassé, 1982).

Ils occupent une place importante dans les écosystèmes tropicaux où ils participent à de nombreux services écosystémiques qui sont, entre autres, la décomposition de la matière organique et l'évolution de la structure physico-chimique des sols (Holt & Lepage, 2000 ; Traore, 2012). Ils peuvent modifier fortement la texture et la structure du sol et avoir également un impact énorme sur le cycle du carbone par le traitement de grandes quantités du matériel végétal (Jouquet *et al.*, 2002 ; Konaté *et al.*, 2003 ; Traoré, 2012). Les structures biogéniques (termitières) des termites sont aussi des sites favorables pour la régénération de la végétation dans les écosystèmes de savanes (Traoré, 2008 et 2012).

#### ❖ Coléoptères

Les coléoptères (Arthropodes : Insectes) forment l'ordre le plus grand du règne animal avec une taille comprise entre 0,25 mm et 10 cm (Lembrouk, 2012 ; Mohammedi & Lounis, 2015). Ils sont composés d'un nombre important de familles, genres et espèces et se trouvent répartis dans pratiquement tous les habitats, aussi bien aquatiques que terrestres (Ruiz *et al.*, 2011). Une vingtaine de familles est représentée dans le sol, avec des adaptations très variables (morphologie, régime alimentaire, etc.) aux conditions de ce milieu (Freyssinel, 2007 ; Mohammedi & Lounis, 2015).

Les familles les plus importantes sont les elateridae, les carabidae, les staphylinidae, les scarabaeidae et les cicindelidae. De façon générale, les coléoptères se nourrissent de matière organique vivante ou morte de toutes sortes. Leur diversité et leur prédominance numérique, ainsi que leurs styles de nourriture (herbivore, prédateur, parasite), fait des coléoptères un groupe d'organismes avec une influence particulièrement forte sur les processus et services de l'écosystème (Stork *et al.*, 2008 ; Konaté & Kampmann, 2010). Les larves des coléoptères jouent un rôle crucial dans l'enfouissement de la matière organique dans le sol (Traoré, 2012 ; Kadi, 2015). De nombreux coléoptères demeurent dans les sols et peuvent souvent servir d'indicateurs au pédobiologiste, car les sols favorables au développement des coléoptères

---

endogés seraient des sols ayant une teneur élevée en éléments fins (argiles et limons) susceptibles d'y maintenir une humidité favorable (Coiffait, 1960 ; Kadi, 2015).

#### ❖ Diptères

L'ordre des diptères (Arthropodes : Insectes) dans les macros-invertébrés du sol est représenté par des phases immatures (les larves). En général, les larves de diptères préfèrent l'humidité et très peu d'entre elles peuvent survivre à la dessiccation pendant des périodes prolongées (Camacho, 2004 ; Traore, 2012 ; Kadi, 2015). Les espèces associées avec le sol colonisent les zones à humidité élevée et avec une teneur importante en matière organique qui leurs garantissent la nourriture et un niveau de rétention en eau élevé. D'autres espèces se nourrissent de racines et de champignons, vivent dans le matériel fécal ou dans les nids et galeries d'autres animaux.

Dans les sols où elles sont fortement représentées, les larves de diptères jouent un rôle important dans le fonctionnement biologique du sol, en intervenant dans la décomposition de la matière organique et la libération des nutriments car elles peuvent réduire en liquide pâteux les litières végétales et la mélanger avec le sol (Traoré, 2012 ; El Alami, 2013 ; Kadi, 2015). Ce groupe taxonomique peut être de grande utilité pour l'évaluation des activités d'origine anthropique, car il est sensible à la pollution dû aux métaux lourds (Hunter *et al.*, 1987) et à l'acidification (Hartmann *et al.*, 1989). Il apparait donc comme un bioindicateur prometteur des changements fonctionnels au niveau du paysage (Delettre *et al.*, 1992).

#### ❖ Orthoptères

L'ordre des orthoptères renferme les sauterelles, criquets, grillons et courtilières etc. Les sauterelles peuvent déterminer par leurs excréments un important apport en matière organique du sol. De nombreux criquets ont des habitudes fouisseuses et déterminent dans les horizons supérieurs des sols un mélange de particules. Ils contribuent aussi à enrichir le sol en matière organique. Les grillons qui vivent parmi les feuilles sèches, au contact de l'humus. Les Courtilières se nourrissent de racines et, à un degré moindre d'insectes ; ce sont d'excellentes fouisseuses (Deschaseau & Ponge, 2001 ; El Alami, 2013).

#### ❖ Fourmis

Les fourmis (Arthropodes : Insectes) sont des hyménoptères holométaboles à antennes coudées et différenciées, à thorax simple et possédant typiquement un pétiole formé par les premiers segments abdominaux (Diomande, 1981 ; Yéo, 2006) avec deux paires d'ailes membraneuses et fines (Diomande, 1981 ; Veron, 2002). L'ordre des fourmis est le plus important des macro-invertébrés du sol après celui des coléoptères, par le nombre d'espèce qu'il renferme et par la masse d'individus qui le compose (Aouar, 2009). On les trouve dans les habitats terrestres depuis la toundra subarctique jusqu'à la forêt tropicale, des marécages aux déserts, depuis le littoral jusqu'aux plus hautes altitudes (Camacho, 2004). Elles construisent des nids avec de nombreuses galeries et chambres souterraines et, dans certains cas, un monticule épigé. Ces nids jouent le même rôle que les termitières sur les propriétés du sol et sur la croissance des végétaux (Mohammedi & Lounis, 2015). Selon les espèces, les fourmis sont herbivores, carnivores ou parfois éleveuses de puceron. Leurs abondances rendent les sols acides par la sécrétion de l'acide formique (Veron, 2002 ; Mohammedi & Lounis, 2015).

Les fourmis jouent un rôle important sur la pédogenèse et les propriétés édaphiques, en contribuant à la décomposition de la matière organique, à la concentration et au stockage des nutriments, à la redistribution et à l'organisation des constituants organiques et minéraux du sol (Diomande, 1981 ; Holec & Frouz, 2006 ; Yéo, 2006). Elles sont également responsables de la dispersion de nombreuses graines qu'elles perdent en les transportant dans leurs nids. Elles aident ainsi à l'installation de la végétation sur les sols nus (Mohammedi & Lounis, 2015).

#### ❖ Gastéropodes

Les gastéropodes sont des mollusques représentés dans les sols par les escargots et les limaces (Deprince, 2003 ; El Alami, 2013). Ils ont un corps mou, non segmenté et complètement dépourvu d'appendices articulés, qui se divise en trois parties : la tête bien différenciée, la masse viscérale et le pied, organe caractéristique de ces gastéropodes. La locomotion est assurée par la masse musculeuse et ventrale. Les zones humides, pelousaires ou rocailleuses accueillent également des espèces bien particulières et caractéristiques du milieu (Karas, 2009 ; Mohammedi & Lounis, 2015). Ils se nourrissent en surface quand l'humidité du milieu est suffisante (El Alami, 2013). La plupart des gastéropodes sont phytophages généralistes. Beaucoup d'entre eux consomment des champignons et quelques espèces sont carnivores ou se nourrissent d'autres invertébrés du sol, y compris d'autres gastéropodes. Ils ont un rôle limité dans la vie des sols (Deprince, 2003 ; Traoré, 2012).

### ❖ Isopodes

Les isopodes (isopoda) sont des crustacés appartenant au sous-ordre des Oniscidea. Ils mesurent généralement entre 5 à 20 mm de long (Gobat *et al.*, 2010 ; Burrow, 2015). Les isopodes ou cloportes composent le sous-ordre des crustacés qui a été capable de s'adapter à la vie dans le sol. Leur cuticule perméable les rend sensibles à la dessiccation (Kadi, 2015). On les rencontre fréquemment dans les milieux humides (bois, litière de forêts, champignons etc...) (Gobat *et al.*, 2010 ; El Alami, 2013 ; Kadi, 2015 ; Burrow, 2015 ; Walser, 2021). D'autres espèces ont su coloniser les environnements les plus extrêmes y compris les déserts d'Israël et du nord de l'Afrique et les lacs hypersalins australiens (Hopkin, 1991 ; Burrow, 2015).

Les cloportes sont omnivores mais se nourrissent surtout de matière organique d'origine végétale qu'ils transforment en boulettes fécales rapidement décomposées. Les Isopodes jouent un rôle important dans la fragmentation et la dispersion de la litière (Kadi, 2015 ; Walser, 2021) et dans le recyclage des nutriments dans le sol. On estime ainsi que plus de 10 pc de la litière annuelle est fragmentée par les cloportes (Burrow, 2015). Contrairement à certains taxons, les cloportes sont relativement de bons indicateurs de l'impact des pratiques agricoles (Paoletti & Cantarino, 2002 ; Magrini *et al.*, 2011), de la pollution par les métaux lourds (Godet, 2010 ; Godet *et al.*, 2011). Ils ont une forte capacité d'accumulation des métaux lourds dans leur corps (Snyder & Hendrix, 2008 ; Burrow, 2015).

### ❖ Myriapodes

Les myriapodes (arthropodes : myriapodes) sont des organismes comportant un grand nombre de segments corporels sur chacun desquels sont implantés un ou deux appendices locomoteurs. C'est la raison pour laquelle les myriapodes sont appelés mille-pattes. La classification des myriapodes est basée sur la position de l'orifice génital (Gobat *et al.*, 2010 ; Mohammedi & Lounis, 2015). Ils sont représentés par deux principales sous-classes : les chilopodes et les diplopodes (Traoré, 2012 ; Walser, 2021). Ils vivent dans la litière et les horizons superficiels car ils ne peuvent pas creuser le sol. Ils jouent un rôle important dans le processus de décomposition de la MOS (Traoré, 2012).

#### ➤ Diplopodes

La sous-classe des diplopodes englobent treize (13) ordres, 115 familles et 10000 espèces (Demange, 1981). En général, Ils vivent où la litière et les horizons superficiels du sol où l'humidité est constante (Demange, 1981 ; Traoré, 2012), certaines espèces se trouvent sous les écorces des arbres et dans les mousses. Dans les zones où il n'y a pas d'arbres, les excréments des mammifères (bétail ou animaux sauvages) peuvent leur fournir de la nourriture et un abri (Demange, 1981). La majorité des diplopodes sont phytophages ou saprophages, ils se nourrissent de débris végétaux, de mycéliums, parfois de plantes vivantes ; quelques espèces sont carnivores (Ponge, 2000 ; El Alami, 2013).

Les diplopodes jouent un rôle important dans le processus de décomposition de la matière organique, particulièrement la comminution. Certains auteurs ont mis en évidence une forte corrélation entre les diplopodes et le degré d'humidité de leur habitat ainsi qu'avec la production de biomasse végétale (Demange, 1981), des corrélations positives ont aussi été trouvées entre la biodisponibilité de  $P_2O_5$  du sol et leur abondance. Dans certains cas on a observé des effets négatifs de la pollution par métaux lourds sur la diversité spécifique des diplopodes (Hopkin *et al.*, 1985).

#### ➤ Chilopodes

La sous-classe des chilopodes est constituée de quatre ordres, 22 familles et 4 000 espèces (Demange, 1981). Ce sont des prédateurs qui vivent en général dans le feuillage, sous des pierres, dans du bois pourri, ou cachés dans la terre (Demange, 1981 ; Walser, 2021). La majorité des chilopodes sont carnivores, et s'attaquent aux Diplopodes et autres petits animaux. Quelques chilopodes sont phytophages (Ponge, 2000 ; El alami, 2013).

#### ❖ Araignées

Ce groupe d'invertébrés appartient à l'embranchement des arthropodes et au sous-embranchement des chélicérates. Le corps des arachnides est généralement divisé en deux parties : le céphalothorax et l'abdomen. Dans la plupart des cas, le céphalothorax porte six paires d'appendices : une paire de chélicères (pinces déchirant la nourriture chez les acariens, avec crochets venimeux chez les araignées), une paire de pédipalpes et quatre paires de pattes locomotrices. Les arachnides n'ont jamais d'antennes comme les insectes (GRETIA, 2010 ; Mohammedi & Lounis, 2015). Les paragraphes qui suivent sont focalisés sur les Araneae ou Araignées.

Les araignées (Arachnides) sont de la classe des arachnides ; elles ont huit(08) pattes et des yeux simples, sans ailes ni antennes (Gobat *et al.*, 2010). On les trouve principalement dans la litière et la partie superficielle du sol. Elles abondent aussi bien dans les milieux naturels que dans les milieux cultivés (Wise, 1993 ; Traoré, 2012 ; Kadi, 2015). Elles regroupent des espèces prédatrices qui se nourrissent exclusivement de proie vivante qu'elles chassent. Comme tous les arachnides, les araneae ou araignées n'absorbent que des liquides (Gobat *et al.*, 2010 ; Mohammedi & Lounis, 2015). Elles sont considérées comme l'un des groupes de prédateurs dominants dans la faune du sol (Lyoussoufi *et al.*, 1990).

L'abondance et la diversité d'Araignées dans un milieu sont indicatrices de la qualité biologique de ce milieu (Wise, 1993). Il s'agit d'une indication indirecte en rapport avec la quantité des proies qu'elles peuvent trouver dans ce milieu (Maelfait, 1996 ; Traoré, 2012 ; Kadi, 2015). La grande sensibilité des Araignées aux changements du milieu a fait d'elles des espèces indicatrices fines de l'évolution des milieux, car elles renseignent sur le niveau de pollution récent par la concentration des métaux dans leurs corps (entre six mois et deux ans) (Alvarez *et al.*, 2002 ; Mohammedi & Lounis, 2015).

## I.2. DYNAMIQUE ET PROCESSUS DE STABILISATION DU CARBONE ORGANIQUE DES SOLS

### I.2.1. Notions de stockage, séquestration, minéralisation et réservoir ou puit de carbone organique

Le stockage de carbone organique du sol (SCOS) correspond à la quantité de CO stockée dans un sol à une durée donnée, il dépend d'un équilibre entre la quantité de CO qui entre dans le sol et celle qui en sort (FAO, 2017 ; Cambou, 2019). La séquestration du COS correspond au prélèvement du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par les plantes grâce au mécanisme de photosynthèse et à sa conversion sous forme organique pour leur croissance et le restituent aux sols dans le réservoir le plus instable par rhizodéposition ou lors de leur mort, principalement par la biomasse végétale. Ce réservoir est caractérisé par le plus fort taux de renouvellement (de quelques jours à quelques années) et est composé de résidus de plantes récemment incorporés et est rapidement décomposable par la faune du sol, ce qui génère souvent des émissions de CO<sub>2</sub> en retour dans l'atmosphère (FAO, 2017).

A l'inverse de la séquestration, le carbone organique des sols peut être dégradé sous forme de CO<sub>2</sub> ou de CH<sub>4</sub>. Cette minéralisation du C est réalisée par les organismes vivants du sol, qui

---

consomment de la MOS pour s'alimenter (Sharma *et al.*, 2010 ; Derrien *et al.*, 2016 ; Marion, 2017). Cette biotransformation s'appelle la minéralisation primaire et consiste en la décomposition rapide de la matière organique fraîche en composés minéraux solubles assimilables par la plante et en CO<sub>2</sub>. L'humus peut aussi être minéralisé et donc libérer du C dans l'atmosphère : c'est la minéralisation secondaire (Marion, 2017).

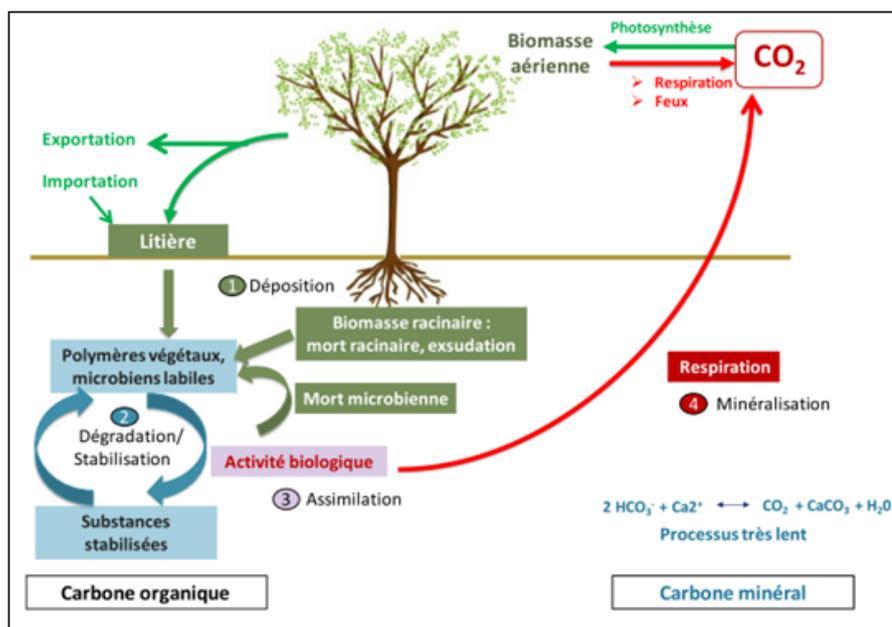
En 2000, le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) a défini le puits de carbone comme « tout processus ou mécanisme qui absorbe les gaz à effet de serre, tels le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub> présents dans l'atmosphère ». Le concept de puits de carbone s'est diffusé avec le protocole de Kyoto initié dans le but de réduire les concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphériques et de lutter ainsi contre le réchauffement climatique. L'écosystème forestier séquestre et emmagasine plus de carbone que tout autre écosystème terrestre (Gibbs *et al.*, 2007 ; Cambou, 2019). Il accumule d'énormes quantités de carbone dans le bois, les racines, le sol et l'écosystème via la photosynthèse (Pignard *et al.*, 2004). Les réservoirs ou pools de carbone désignent les unités physiques capables de stocker du carbone, suite à une action de puits (par exemple la séquestration par les arbres) ou de captage (par exemple dans une formation géologique). Cependant, la quantité de carbone accumulée dans un réservoir désigne un stock (Bernoux *et al.*, 2006 ; Cambou, 2019). Par ailleurs, si les entrées de MO sont supérieures aux sorties, alors le sol joue un rôle de puits, en stockant du carbone. Dans le cas contraire, le sol est une source d'émission de C dans l'atmosphère (Marion, 2017).

### I.2.2. Cycle du carbone du sol

Le cycle du carbone organique du sol (COS) correspond à l'entrée de carbone organique dans le sol, à sa transformation et à sa dissipation. De nombreux processus illustrés par la figure 4 sont mis en jeu : 1) la déposition suivie de l'addition du COS à la fraction organique du sol ; 2) l'altération et la conversion du COS d'une structure chimique en une autre différente, résultant d'attaques enzymatiques ou de réactions chimiques, 3) ; l'assimilation consistant à l'incorporation du COS dans les tissus des organismes décomposeurs et enfin 4) la minéralisation qui correspond à la conversion du COS en CO<sub>2</sub>, via la respiration des organismes du sol. La somme de ces processus aboutit à la notion de décomposition du COS (Baldock & Skjemstad, 2000 ; Cambou, 2019).

En général, le cycle du carbone et la séquestration du carbone sont plus actifs dans les horizons supérieurs du sol, alors que le carbone stable à un taux de renouvellement plus long,

ce qui signifie qu'une plus grande proportion de COS se trouve dans les horizons de sol plus profonds (Rumpel *et al.*, 2012 ; FAO, 2017). Beare *et al.* (2014) et FAO (2017) ont estimé que les plus grandes profondeurs de sol avaient une plus grande capacité à stocker du C supplémentaire que les horizons supérieurs car il y existe une plus grande différence entre le contenu en COS et la valeur de saturation du COS. L'accumulation de C stabilisé avec de



longues périodes de présence dans les horizons profonds de sol peut s'expliquer par un transport continu, des immobilisations temporaires et la fabrication du carbone organique disponible (COD) par les microorganismes dans le profil de sol (Kaiser & Kalbitz, 2012 ; FAO, 2017) et/ou une stabilisation efficace de la matière organique dérivée des racines dans la matrice du sol (Rasse *et al.*, 2005 ; FAO, 2017).

Figure 4 : Schéma du cycle du carbone du sol.

Sources : Lehmann & Kleber (2015).

### I.2.3. Facteurs influençant le stockage de carbone organique dans les sols

Selon Fujisaki *et al.* (2018) et Chevallier *et al.* (2020), les facteurs qui influencent les stocks de carbone organique du sol (SCOS) sont d'ordre naturels (climat, type de végétation, propriétés du sol etc.) et d'ordre anthropiques (modes d'usages des sols et pratiques agricoles notamment). Les SCOS résultent du bilan issu de trois processus : les apports organiques (litières aériennes et racinaires, amendements), la décomposition de ces apports par les activités

---

biologiques des sols et la stabilisation de la matière organique par la matrice minérale des sols (particules d'argiles, oxydes) (Derrien *et al.*, 2016 ; Chevallier *et al.*, 2020).

### I.2.3.1. Facteurs naturels

#### I.2.3.1.1. Facteurs climatiques

Le climat est un facteur extrêmement important pour le  $S_{COS}$  car il affecte les types d'espèces végétales, la quantité de matière végétale produite et le degré d'activité biologique du sol (Marion, 2017).

Selon Razafimbelo *et al.* (2015) et Kooke *et al.* (2019), une température élevée induit une forte activité des organismes du sol, entraînant ainsi une oxydation de la matière organique qui affecte le  $CO_2$  de l'atmosphère. Pellerin *et al.* (2021) et Chevallier *et al.* (2020) ont confirmé ce résultat en montrant qu'une augmentation de 10 °C de la température de l'air diminuait le temps de résidence du COS d'un facteur deux (2) ou trois (3). Cependant, une augmentation de la température pourrait également entraîner une diminution de la biomasse microbienne du sol et du COS dissout, en lien avec une diminution des apports par les végétaux (Song *et al.*, 2012 ; Cambou, 2019). Par ailleurs, les alternances des saisons ont un effet sur la concentration en COS (Hevia *et al.*, 2003 ; Cambou, 2019) : la faible température ralentit le taux de minéralisation de la matière organique constituant le stock de carbone du sol (FAO, 2012 ; Kooke *et al.*, 2019).

La pluviométrie est le deuxième facteur climatique impactant les SCOS. Burke *et al.* (1989) ont montré que le  $S_{COS}$  dépend des précipitations moyennes annuelles. Il augmenterait avec les précipitations jusqu'à une valeur optimale de 800 mm pour des précipitations annuelles, et se stabiliserait au-delà. Les précipitations induisent une augmentation de la production primaire par les plantes et donc des apports plus importants du C dans le sol. La valeur seuil atteinte pour les précipitations supérieures ou égales à 800 mm correspond à un équilibre entre la vitesse de décomposition du C et la vitesse d'entrée des résidus végétaux dans le sol. La pluviométrie a une influence sur l'humidité du sol et l'activité biologique.

La pluviométrie a un effet favorable sur la biodégradation de la MOS, mais des conditions d'anaérobiose provoquées par la saturation en eau des sols bloquent ces processus qui ont besoin d'oxygène (Corbeels *et al.*, 2016 ; Pellerin *et al.*, 2021). La minéralisation serait maximale pour un degré de saturation en eau de la porosité de l'ordre de 50 à 75 pc. L'augmentation de l'humidité peut stimuler l'activité microbienne. Dans un contexte où

l'humidité est déjà forte, son augmentation risque d'altérer la disponibilité de O<sub>2</sub> et d'inhiber l'activité microbienne (Cambou, 2019 ; Pellerin *et al.*, 2021). Les alternances dessiccation-humectation provoquent des accélérations de la minéralisation (Pellerin *et al.*, 2021).

#### I.2.3.1.2. Facteurs édaphiques

##### ❖ Texture

Le matériau parent est à l'origine des propriétés minérales du sol. Il influence fortement la texture et la nature des argiles et a donc un effet direct sur le SCOS (Wagai *et al.*, 2008 ; Cambou, 2019). La texture du sol peut influencer le niveau de stabilisation du carbone organique dans le sol. Des études antérieures sur les sols tropicaux ont montré que les teneurs en COS augmentent avec les teneurs en éléments fins (argile + limon) (Razafimbelo *et al.*, 2010 ; Chevallier *et al.*, 2020). Ces études confortent l'importance de la texture comme déterminant du SCOS. En effet, l'argile et le limon ont le pouvoir de se lier avec les polymères humiques du sol. La quantité de MOS associée à l'argile et au limon est donc tributaire de la quantité de ces fractions dans le sol. Un sol sableux pauvre en argile et limon présente un Scos plus faible qu'un sol argileux ou limoneux riche en argile et limon (Razafimbelo *et al.*, 2010).

##### ❖ Structure

La structure du sol, influencée par sa granulométrie, a un effet sur la stabilité de COS à travers : i) son effet sur la disponibilité du dioxygène (O<sub>2</sub>) et de l'eau ; ii) son rôle dans la compartimentation du COS, qui devient moins accessible aux microorganismes du sol ; iii) son rôle dans la compartimentation de la biomasse microbienne, moins accessible à la faune du sol ; iv) son rôle dans la dynamique de l'agrégation (Baldock & Skjemstad, 2000 ; Cambou, 2019). Ainsi, la texture du sol, de même que la structure, constituent la base de la protection physique du Scos (Cambou, 2019).

##### ❖ Acidité

Le pH est fortement corrélé à la MOS qui agit comme un tampon dans un sol acide. La matière organique offre de nombreux sites chargés négativement pour lier les protons (H<sup>+</sup>) et augmenter ainsi le pH. Dans un sol basique, la MOS peut donc devenir source d'ions H<sup>+</sup>, acidifiant le sol. Dans les deux cas, la solution de sol tend vers un pH neutre, bien qu'elle soit conditionnée par la nature alcaline de la matière organique entrant dans le sol (McCauley *et al.*, 2017 ; Cambou, 2019). De plus, le pH influence l'activité microbienne. Les pH acides inhibent

la croissance bactérienne, mais favorisent la croissance fongique (jusqu'à un pH minimum de 4,5). Une augmentation du pH entraîne cependant une augmentation globale de la respiration basale des sols et de l'activité microbienne (Rousk *et al.*, 2009 ; Cambou, 2019).

#### ❖ Nutriments disponibles

Les cycles biogéochimiques du carbone organique du sol et de l'azote sont extrêmement liés étant donné que leurs origines dans le sol sont principalement la même (apport de matières organiques dans le sol). De plus, la disponibilité en azote dans le sol influence l'activité biologique. Ainsi, les teneurs en carbone organique et en azote dans le sol permettent de calculer le rapport C/Nt, qui est un indicateur de l'état de dégradation de la MOS : s'il est inférieur à 8, il traduit une décomposition intense de la MOS ; s'il est supérieur à 12, il traduit une accumulation de la MOS (et donc du COS). De ce fait, la disponibilité de l'azote a un effet sur COS (Six *et al.*, 2002 ; Cambou, 2019). Les cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) et oligo-éléments (Fe, Mn, Cu, Zn, B) du sol ont également un effet sur la stabilisation des MOS à travers la mise en place de ponts cationiques (protection physico-chimique) et sont également nécessaires aux plantes, leur permettant une meilleure production de biomasse (McCauley *et al.*, 2017 ; Cambou, 2019).

#### ❖ Macrofaune

La macrofaune du sol correspond traditionnellement aux organismes qui ont une taille supérieure à 2 mm Pellerin *et al.* (2021). Elle intègre une grande diversité taxonomique puisqu'elle inclut les mille-pattes (diplopoètes et chilopodes), les cloportes, les vers de terre, certains collembolés, un grand nombre d'araignées ou d'insectes (fourmis, carabes, termites) et aussi des vertébrés tels des rongeurs (mulots) ou des insectivores (taupes, musaraignes).

Dans les régions tropicales et tempérées, il est admis que la stabilisation de la MOS sur de long terme est contrôlée par les interactions entre les micro-organismes (champignons et bactéries), les ingénieurs de l'écosystème (racines, vers de terre, termites, fourmis) et la matrice minérale du sol. Les ingénieurs agissent en fragmentant la litière, en l'incorporant au sol, en mélangeant par bioturbation le sol et en influençant le transport de MOS sous forme dissoute (Bohlen *et al.*, 2004 ; Derrien *et al.*, 2016). La macrofaune des sols favorise également la stabilisation du C en formant des structures biogéniques (bio-structures comme des turricules, des galeries, des plaquages, des meules de champignons, des termitières ou encore des

fourmilières). Le COS au sein de ces structures peut être stabilisé par la formation d'interactions organo-minérales, en fonction de la composition chimique des matières organiques ingérées (Vidal *et al.*, 2016 ; Derrien *et al.*, 2016).

Les caractéristiques des structures biogéniques varient en fonction des espèces, de l'usage du sol et de la saison (Mora *et al.*, 2005 ; Derrien *et al.*, 2016). La répartition du COS au sein de ces structures biogéniques varie entre les différents habitats de l'espèce et en fonction de la profondeur du sol (Don *et al.*, 2008 ; Derrien *et al.*, 2016). La vitesse de dégradation physique de ces structures influence la durée de la stabilisation du COS, mais aussi le relargage de nutriments et leur disponibilité dans les sols (Jouquet *et al.*, 2011 ; Derrien *et al.*, 2016). En effet, les types des matières organiques (macro-débris, matières particulaires ou métabolites microbiens) et leur localisation (intra- ou inter-agrégats), qui diffèrent d'une espèce à l'autre de macrofaune, sont des moteurs de la dynamique du COS dans les structures biogéniques (Six *et al.*, 2004 ; Bossuyt *et al.*, 2005 ; Derrien *et al.*, 2016).

#### I.2.3.1.3. Type de végétation

Les espèces végétales ont un effet sur la qualité chimique de la MOS (Armas-Armas-Herrera *et al.*, 2016 ; Derrien *et al.*, 2016). La MOS modifie les processus régissant la dynamique du COS à travers la quantité et la qualité de la litière et la rhizodéposition (processus de libération de composés organiques par les racines vivantes dans le sol) (Azlan *et al.*, 2013 ; Carvalhais *et al.*, 2014 ; Cambou, 2019 ; Konan *et al.*, 2021).

Les processus de décomposition de la matière organique sont spécifiques à l'espèce végétale présente, ainsi que la composition biochimique de la litière restituée au sol (Azlan *et al.*, 2013 ; Carvalhais *et al.*, 2014 ; Cambou, 2019 ; Konan *et al.*, 2021). Cette décomposition peut être plus ou moins rapide, en fonction de la matière organique : une matière organique riche en cellulose a une minéralisation rapide que celle riche en lignine (Duchaufour, 1997).

#### I.2.3.2. Facteurs anthropiques

##### I.2.3.2.1. Mode d'occupation des sols

Le mode d'occupation des sols a un fort impact sur le  $S_{COS}$ . Les travaux de Martin *et al.* (2011) indiquent que des horizons compris entre 0 et 30 cm ont un stock moyen de 80 tC.ha<sup>-1</sup> sous forêt et prairie, de 50 tC.ha<sup>-1</sup> sous culture et de 35 tC.ha<sup>-1</sup> pour les sols viticoles. Tout changement d'usage des terres a donc un effet marqué sur  $S_{COS}$ . Les cultures impliquent des

Scos différents d'une part parce qu'elles impliquent des pratiques culturales différentes et d'autre part car elles impactent différemment le sol en termes de systèmes racinaires (pénétration, exsudats, ancrage), production et restitution de biomasse au sol (Jarecki & Lal, 2003 ; Marion, 2017).

Les méta-analyses traitant de ce sujet montrent une perte massive du COS suite à la mise en culture des forêts et des prairies. La méta-analyse de Guo & Gifford (2002), basée sur 74 publications, indique que les SCOS diminuent après changement de forêt native à cultures (-42 pc) et de pâturages à culture (-59 pc). Elle met également en évidence une baisse des SCOS lors du passage de prairie à plantation forestière (-10 pc) et de forêt native à plantation (-13 pc). En revanche, les SCOS augmentent après changement de forêt native à pâturage (+ 8 pc), de champ cultivé à pâturage (+ 19 pc), de culture à plantation (+ 18 pc), et de culture à forêt secondaire (+ 53 pc) (Guo & Gifford, 2002). Les SCOS sous les agrosystèmes sont plus élevés dans les sols ferrallitiques que dans les autres types de sols. Les sols hydromorphes ont aussi des stocks élevés, particulièrement en surface (0-30 cm) (Chevallier *et al.*, 2020).

#### I.2.3.2.2. Pratiques culturales

Les pratiques agricoles sont des facteurs majeurs de la variation des stocks de carbone organique dans les sols agricoles (Marion, 2017). Toutes les pratiques entraînant une baisse de la stabilité structurale du sol pourraient impacter négativement les SCOS et amoindrir la fertilité des sols (Chabalier *et al.*, 2006 ; Marion, 2017). D'après Wei *et al.* (2014) et Derrien *et al.* (2016), la réduction du travail du sol, voire la suppression du labour (retournement et fragmentation) est souvent considérée comme une option pour augmenter le SCOS. En effet, le travail du sol détruit sa structure, stimulant ainsi la décomposition des matières organiques qui s'y trouvent. Ainsi, la suppression du travail du sol limiterait cette décomposition et favoriserait la stabilisation du carbone dans le sol (Razafimbelo *et al.*, 2015 ; Corbeels *et al.*, 2016 ; Powlson *et al.*, 2016 ; Chevallier *et al.*, 2020).

La mise à nu des sols peut également entraîner une érosion provoquant la perte des premières couches du sol les plus riches en carbone organique (Venkatapen, 2012 ; Marion, 2017). Toutefois, d'autres études remettent en cause ou discutent l'importance de ce facteur sur le stockage (par exemple Dimassi *et al.*, 2014 ; Haddaway *et al.*, 2017 ; Chenu *et al.*, 2019 ; Ogle *et al.*, 2019 ; Chevallier *et al.*, 2020). Par ailleurs, le trafic au champ lors du travail du sol

---

semble clairement faire augmenter la densité apparente ( $D_a$ ) (Jarecki & Lal, 2003 ; Marion, 2017), et aura donc un impact sur les  $S_{CO_2}$  (Hoogmoed & Klaij, 1994 ; Marion, 2017).

### I.2.3.3. Différentes approches de mesure des stocks du carbone du sol

Deux approches sont couramment utilisées. Il s'agit de l'approche diachronique et de l'approche synchronique (Olson *et al.*, 2014a ; Olson *et al.*, 2014b). L'approche diachronique consiste à mesurer au cours du temps, sur une même parcelle, l'évolution des stocks de C dans le sol depuis un temps  $T_0$  qui correspond à la mise en place du nouveau système. Cette approche est considérée comme la plus fiable (Costa-Junior *et al.*, 2013), car elle limite les biais liés à l'utilisation de parcelles différentes (texture). Mais en pratique elle reste peu utilisée car la terre est mise en culture sans que la caractérisation initiale n'ait été faite (Smith, 2004). L'approche synchronique consiste, quant à elle, à comparer, à un instant donné, le stock de C d'une parcelle correspondant à la pratique stockante menée depuis plusieurs années à celui d'une parcelle de référence (gestion conventionnelle). Il faut cependant s'assurer que la parcelle de référence n'ait pas subi de modifications majeures. Si le stock de carbone organique d'un sol dépend du bilan entre les entrées et les sorties de la matière organique, la quantité de C stockée et la durée de ce stockage dépendent aussi de processus de stabilisation du carbone complexes.

## I.3. IMPACTS DU DÉVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE PÉRENNE SUR LE COUVERT VÉGÉTAL, LE CLIMAT ET LA FERTILITÉ DES SOLS

L'agriculture constitue pour la majorité des pays Africains la base de leur économie. De ce fait, pour booster leur économie, la plupart de ces pays ont adopté un système d'exploitation agricole extensif pour la mise en place des principales cultures de rente. Ce système d'exploitation n'est pas sans conséquence sur le patrimoine forestier pourtant réputé pour sa haute capacité à séquestrer le carbone (Norris *et al.*, 2010 ; Gockowski & Sonwa, 2011). Des études détaillées, fondées sur des données satellitaires, mettent en évidence la responsabilité majeure de l'agriculture dans la déforestation en Afrique occasionnant la dégradation des sols (CILSS, 2016). Depuis 1990, environ 12 pc des superficies forestières (soit 81,6 millions ha) ont été convertis en d'autres types d'usages des sols en Afrique, dont environ 9 % (79 millions ha) en Afrique de l'Ouest (FAO, 2015).

La Côte d'Ivoire n'est pas épargnée par cette déforestation massive provoquée par l'activité agricole. En effet, depuis son accession à l'indépendance, ce pays a basé son économie

---

sur l'agriculture pérenne, notamment, les cultures du café (*Coffea arabica* et *Coffea canephora*, Rubiaceae), cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae), palmier à huile (*Elaeis guineensis*, Palmae ou Arecaceae), et plus récemment, l'hévéa (*Hevea brasiliensis*, Euphorbiaceae). Ainsi, de 16 millions d'hectares au début du siècle dernier, la forêt ivoirienne est passée à 7 850 864 hectares en 1990, puis à 3 401 146 en 2015. Aujourd'hui, il y a à peine 2 millions d'hectares de forêt naturelle (Ruf, 2009). Le dérèglement climatique qui se traduit dans le pays par des saisons sèches de plus en plus longues, l'érosion et la baisse de la fertilité des sols qui entraînent la baisse de la production agricole affectant la croissance économique, l'effritement de la biodiversité, la disparition de l'habitat des gros mammifères, etc., sont autant de conséquences néfastes imputables à la dégradation de la couverture forestière en Côte d'Ivoire (MINEF-CI, 2017 et 2020, UTCATF, 2018).

## I.4. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU MILIEU D'ÉTUDE

### I.4.1. Localisation géographique

L'étude a été réalisée dans le département de Daloa (Figure 5). Ce département localisé dans la région du Haut Sassandra au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, est délimité par 6°2' et 7°55' de longitude Ouest et 6° et 6°55' de Latitude Nord. Il est, par ailleurs, limité au Nord par les départements de Vavoua et Zuénoula, au Sud par ceux d'Issia et Sinfra, à l'Est par le département de Bouaflé et à l'Ouest par le département de Zoukougbeu (Figure 5). Il couvre une superficie de 5 450 km<sup>2</sup>. La ville Daloa qui est le chef-lieu de la région du Haut Sassandra, est aussi le pôle de développement urbain du Centre-Ouest du pays (PRICI, 2016).

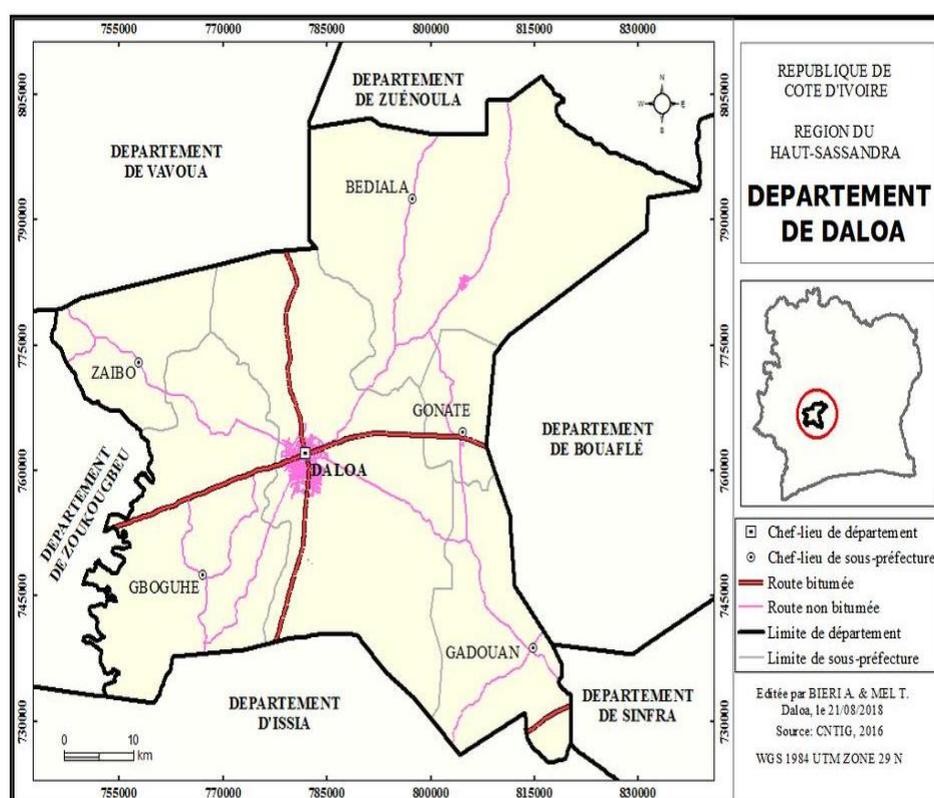


Figure 5 : Carte de localisation géographique du département de Daloa.

Source : CNTIG (2016).

Pour la réalisation de l'étude, des plantations de cacaoyers, hévéas et palmiers à huile situées dans trois villages ont servi de cadres pour la collecte des données. Ces villages sont : Tahiraguhé (6° 47' 33" N et 6° 24' 01" W) situé au sud du département sur l'axe Daloa-Issia, Tapeguhé situé au centre-ouest sur l'axe Daloa-Vavoua (6° 57' 59" N et 6° 27' 44" W) et Zépréguhé localisé au centre sur l'axe Daloa-Bouaflé (6°54'90"N et 6°22'18" W) (Figure 6).

Ces plantations sont vieilles de 10 à 15 ans. Ce sont des monocultures pour ce qui concerne les hévéas et les palmeraies, et des plantations mixtes pour le cas des cacaoyères. En effet, ces dernières comportaient des plantes fruitières, notamment des papayers (*Carica papaya*, Caricaceae), bananiers (*Musa* sp., Musaceae), manguiers (*Mangifera indica*, Anacardiaceae) et orangers (*Citrus sinensis*, Rutaceae), mais aussi, des palmiers à huile (*Elaeis guineensis*, Arecaceae) et de nombreuses espèces d'arbres ligneux non cultivés. En général, les sols qui supportent les cultures ne sont l'objet d'apport, ni d'engrais chimiques, ni d'engrais organiques. Pour l'entretien des parcelles, des pesticides, fongicides et herbicides sont utilisés, surtout dans les cacaoyères.

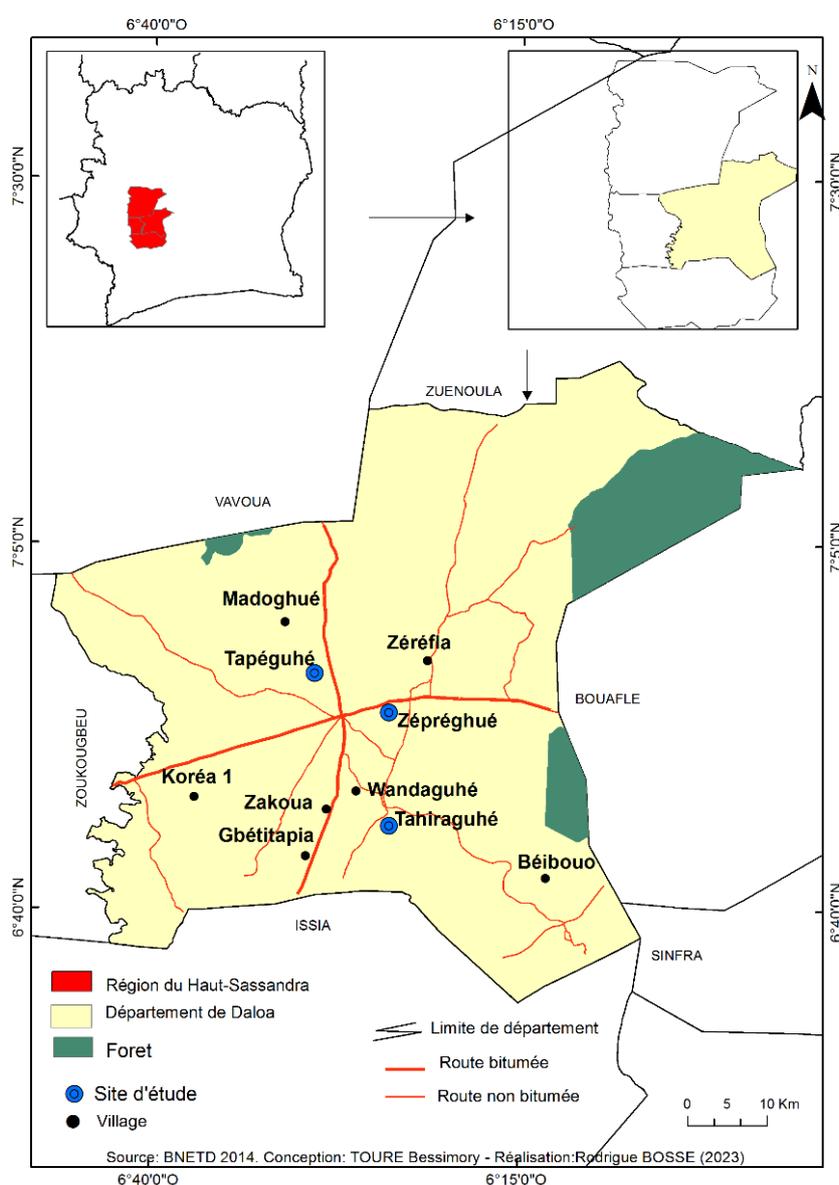


Figure 6 : Carte de localisation des sites de l'étude.

### I.3.2. Caractéristiques physiques

#### I.3.2.1 Climat

Le climat du département de Daloa est de type tropical humide avec quatre saisons : la grande saison des pluies, marquée par des intersaisons et des orages s'étend d'avril à mi-juillet, la petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre, la petite saison des pluies de mi-septembre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars (Koffié & Kra, 2013). La pluviométrie oscille entre 1200 et 1600 millimètres de hauteur de pluie par an (ICEF & ENSEA, 2002 ; Koffié & Kra, 2013). Globalement, Les précipitations sont réparties sur toute l'année avec un maximum aux mois de juin et juillet et un minimum aux mois de décembre à mars. Zone humide par excellence, l'hygrométrie est importante avec une température homogène moyenne annuelle de 26 °C (Koffié & Kra, 2013).

#### I.3.2.2 Végétation

La végétation appartient au secteur mésophile de la région Guinéo-Congolaise (Kouamé, 1998). La végétation du département de Daloa se compose principalement de forêt semi-décidue sur sa majeure partie et de savane préforestière dans sa partie Nord. Cette végétation se caractérise par une flore très variée. Il s'agit dans l'ensemble, de formations végétales de type tropical abritant une grande variété d'essences nobles propices au bois d'œuvre (Iroko, Dabema, Bété, Badi, etc.) (Koffié & Kra, 2013). L'occupation humaine a profondément modifié la végétation naturelle. Ainsi, la forêt dense humide semi-décidue a fait place à une forêt défrichée mésophile à des zones de cultures pérennes et vivrières (Koffié & Kra, 2013 ; Zanh *et al.*, 2018). Ces plantations sont prioritairement constituées de cacaoyères, caféières, de parcelles d'hévéa et de palmier à huile (Barima *et al.*, 2016).

#### I.3.2.3. Géomorphologie et hydrographie

Au plan morphologique, le relief du département de Daloa est constitué d'une pénéplaine de faible altitude. Dans la partie Nord, on observe des dômes cristallins (300 - 400 m d'altitude) et au Sud, des bas-plateaux (200 - 300 m d'altitude) (Koffié & Kra, 2013). La partie Nord-ouest est une zone plus aplanie et relativement déprimée. Le département de Daloa présente donc des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables aux cultures irriguées (Avenard *et al.*, 1971). La topographie des parcelles de cacaoyères et d'hévéas prospectées est dominée par des plateaux d'environ 215

m d'altitude alors que celle des palmeraies est constituée par des bas de versant à très faible pente et des bas-fonds se situant approximativement à 150 m d'altitude. Le micro relief de l'environnement immédiat des différentes plantations est dominé par les termitières, fourmières et les turricules de vers de terre (Figure 7).

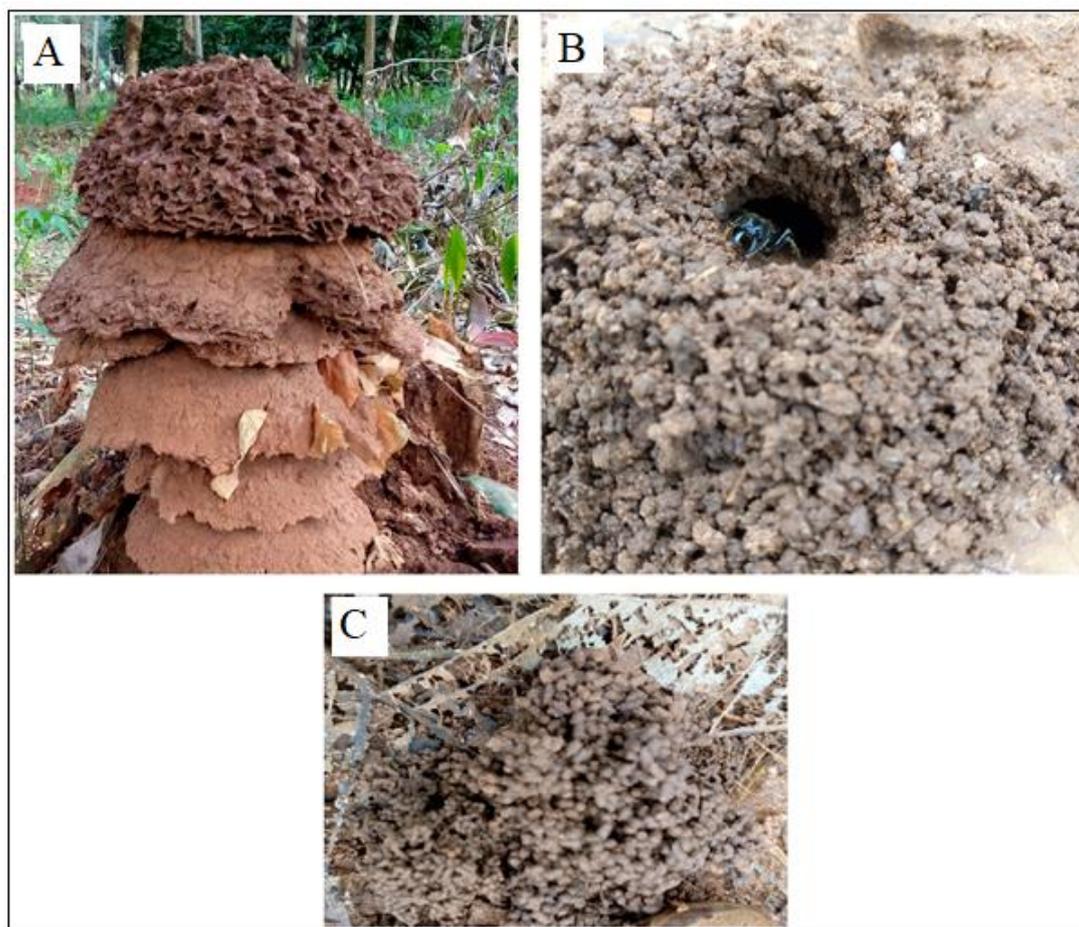


Figure 7 : Quelques structures biogéniques de la macrofaune du sol des sites d'études.

A-Termitière ; B-Fourmière ; C-Turricules de vers de terre.

Au plan hydrographique, le département est arrosé par le fleuve Sassandra et par son affluent la Lobo dont les ramifications le Dé et le Goré inondent le département, donnant lieu à de nombreux bas-fonds cultivables (Ligban *et al.*, 2009).

#### I.3.2.4. Géologie

Les formations qui constituent le substratum de la région ont subi une altération et latérisation caractérisant les régions à climat chaud et humide. Du point de vue lithologique, le socle est constitué par des granitoïdes de composition minéralogique constante. Il s'agit de

---

granites alcalins à subalcalins contenus dans les formations métamorphiques (gneiss et migmatites) de composition très voisine. Ces formations sont très rarement visibles à l'affleurement car masquées par une épaisse couverture d'altération argilo-sableuse (Dabin *et al.*, 1960).

#### I.3.2.5. Couverture pédologique

Les études pédologiques réalisées dans le département de Daloa révèlent que les sols du département de Daloa sont majoritairement ferrallitiques (typiques) d'origine granitique moyennement à faiblement dénaturés ou désaturés et des sols hydromorphes. Les sols ferrallitiques occupent environ 90 pc de la superficie du département et le reste occupé par des sols hydromorphes. Ces derniers s'observent le long des cours d'eaux et dans les bas-fonds (Dabin *et al.*, 1960).

#### I.3.3. Populations et activités économiques

Selon le Recensement Général des Populations et des Habitations (RGPH) de 2021 (INS, 2021), la population du département de Daloa était de 705 378 habitants. Elle regroupe les autochtones (Bété, Niamboua, Zombo et une partie de Niédéboua), des allochtones représentés par les populations des autres régions du pays (akans, malinkés, sénoufos, etc) et des allogènes (étrangers) syro-libanais et africains de la sous-région ouest-africaine (burkinabé, maliens, béninois, togolais, nigériens, nigérians, sénégalais, mauritaniens). Ces populations allogènes représentent 31 pc alors que les autochtones et allochtones constituent, respectivement 33,2 et 35,8 pc de la population régionale.

Les activités économiques menées par ces diverses populations sont assez diversifiées. Cependant, l'agriculture reste la principale activité génératrice de revenu. En effet, appartenant à la grande zone d'exploitation forestière ivoirienne, Daloa est aussi la deuxième zone de production du cacao et la première de café (Koukougnon, 2020). Par ailleurs, la région participe de façon massive à l'approvisionnement du reste du pays en produits vivriers (Koukougnon, 2020).

# DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

## II.1. MATÉRIELS

La présente étude a porté sur deux principaux types de matériels : un matériel édaphique et un matériel biologique. Pour la collecte de ces principaux matériels sur le terrain et leur traitement au laboratoire, divers outils ont été utilisés. La base de données constituée a été traitée à l'aide d'outils informatiques.

### II.1.1. Matériel édaphique

L'étude a porté sur 54 échantillons de sol prélevés dans 27 fosses pédologiques, à raison de deux échantillons de sol par fosse. Les fosses ont permis de décire certaines propriétés morphologiques des sols étudiés, les échantillons des sols ont permis de déterminer les propriétés physico-chimiques au laboratoire.

### II.1.2. Outils de collecte et de traitement des données

#### II.1.2.1. Cas des données de sol

Pour la collecte des données morpho-pédologiques sur le terrain, une machette a servi à ouvrir les voies d'accès aux différents sites et au nettoyage de ces sites, un GPS « Global Positioning System » (Figure 8E) de marque Garming CS x 60 a été utilisé pour déterminer les positions géographiques sur le terrain. Les prises de vue ont été possibles grâce à un appareil photographique (Figure 8F). Les délimitations des parcelles utiles ainsi que toutes les autres opérations de mesure des distances ont été effectuées à l'aide d'un ruban-mètre long de 100 mètres (Figure 8D). Les fosses pédologiques ont été creusées à l'aide de pioches et pelles. En ce qui concerne la description de ces fosses, une petite daba a servi à rafraîchir les faces des profils, quand un code Munsell (Figure 8C) servait à déterminer la couleur des horizons et le couteau de pédologue (Figure 8A) à prélever les sols et préciser les horizons identifiés par la couleur du sol. Par ailleurs, l'échantillonnage du sol en vue de mesurer la densité du sol a été effectué à l'aide d'un cylindre de diamètre 8,20 cm et de hauteur 9,25 cm (Figure 8B). Aussi, des fiches ont-t-elles permis de reporter toutes les informations recueillies sur le terrain. Les échantillons de sol composites ont été conservés en utilisant des sachets plastiques étiquetés.

Au laboratoire, ce sont essentiellement, une étuve, une balance de précision de type « Kern ew» et un tamis de 2 mm de maille qui ont été utilisés dans cet ordre, pour : le séchage des échantillons de sol, la mesure des masses et la détermination de fraction la fine du sol.



Figure 8 : Quelques matériels techniques utilisés

A-Couteau de pédologue ; B-Cylindre ; C-Code Mensell ; D-Ruban-mètre ; E-GPS ; F-Appareil photographique.

#### II.1.2.2. Matériel de collecte de la macrofaune du sol

Le matériel d'ensemble est constitué d'un matériel de capture et de conservation utilisé sur le terrain et d'un matériel d'identification employé au laboratoire. Le matériel de capture est constitué, pour les cas des organismes endogés, par un quadrat en bois de 50 cm de côté (Figure 9A) ayant servi à délimiter l'emplacement des monolithes de sol, lesquels sont réalisés à l'aide de pioche, houe et machette. Par ailleurs, des pots de Baber ont servi à confectionner des pièges fosses pour la capture des taxons épigés. De l'eau, du vinaigre à 6 °C, du sel et des détergents (sans parfum) sont aussi des éléments constitutifs de ces pièges. Des plateaux (Figure 9B), pincettes entomologiques (Figure 9C) et sceaux sont employés pour le tri des échantillons de sol prélevés sur les monolithes. Pour la conservation de la macrofaune collectée, ce sont des piluliers (Figure 9D) contenant du formol dilué à 4 pc et de l'alcool à 70 pc qui ont été utilisés.

Le matériel de laboratoire est composé principalement des outils d'identification des espèces biologiques collectées : loupe binoculaires de marque LEICA EZ4 et clés et guides d'identification (Bouillon & Mathot, 1968 ; Lavelle, 1978 ; Delvare & Aberlenc, 1989 ; Michel & Bournier, 1997 ; Poutouli *et al.*, 2011 ; Cszudi & Tondoh, 2007).

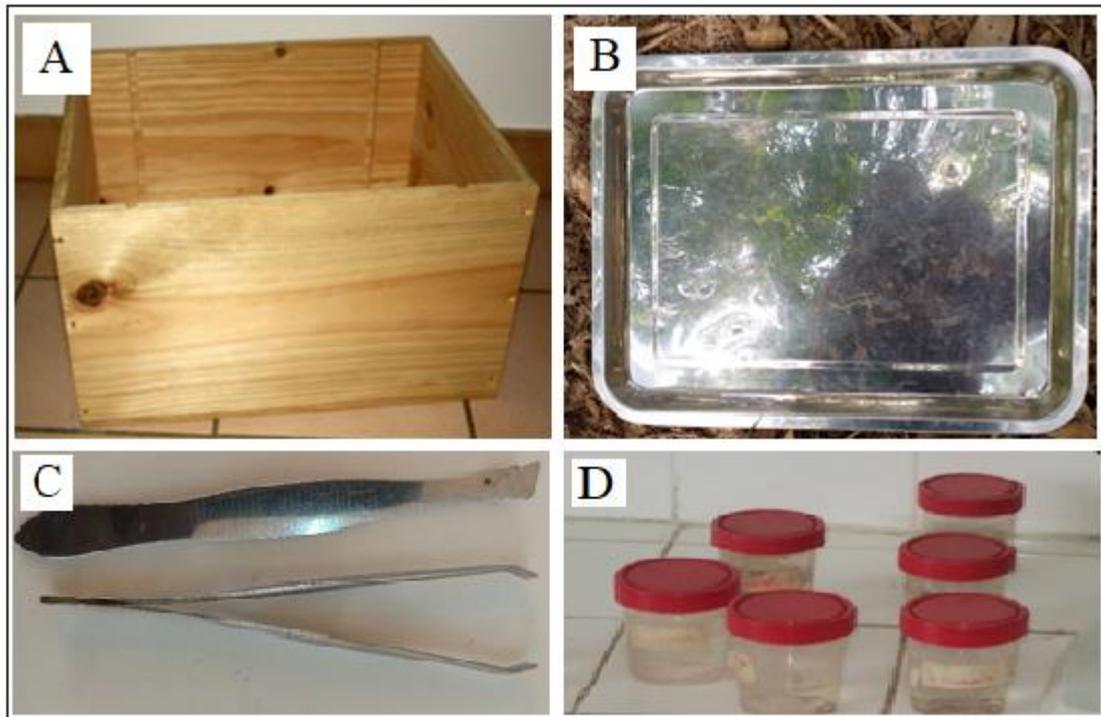


Figure 9 : Quelques matériels de capture et de conservation des macro-invertébrés.

A-Quadrate en bois ; B-Plateau de tri ; C-Pinces entomologiques ; D-Piluliers.

### II.1.3. Outils informatiques

Pour la saisie et l'analyse des données collectées sur les sites d'échantillonnages et au laboratoire, un ordinateur portable équipé de divers logiciels de traitements des textes (Word 2016 et Exel 2016 et traitements statistiques (R versions 4.2.1 et 3.6.3) a été utilisé.

## II.2. MÉTHODES

La démarche méthodologique employée pour réaliser cette étude comprend quatre étapes essentielles qui sont, dans l'ordre : i) étude pédologique ; ii) étude des peuplements des macro-invertébrés des sols ; iii) évaluation du stock de carbone organique des sols et iv) analyse statistique des données.

Pour ce faire, trois (03) villages ont été choisis en fonction de leur facilité d'accès et du fait que ceux-ci abritent à la fois des plantations de palmiers à huile, cacaoyers et hévéas avérées antérieurement comme les principales cultures pérennes du département.

Dans l'ensemble de ces plantations, le dispositif expérimental mis en place est un bloc de Fisher complet avec trois (03) traitements et trois (03) répétitions. Les villages constituent les blocs quand les plantations constituent les répétitions. Ce dispositif est illustré par la figure 10 :

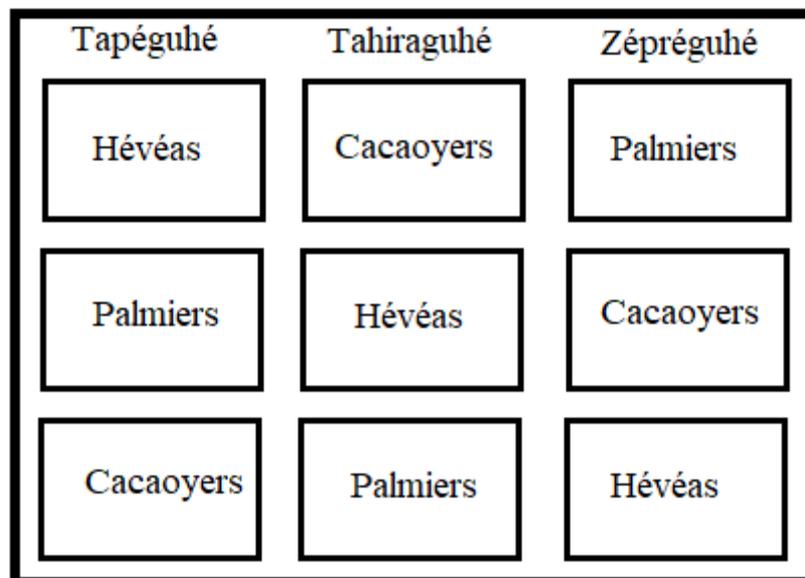


Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental utilisé.

### II.2.1. Etude pédologique

#### II.2.1.1. Détermination de la pente du terrain et implantation des fosses

L'étude pédologique est réalisée dans chaque plantation prospectée sur une parcelle utile de 100 x 100 m. La pente topographique est calculée sur la plantation selon la formule 1 en faisant le rapport entre la différence d'altitudes entre deux points extrêmes de la plantation, l'un (point A) situé au bas de pente et l'autre (point B) au sommet, et la distance horizontale " l " séparant ces deux points (Figure 11) :

$$\alpha \text{ (pc)} = \Delta h/l \text{ (1)}$$

Où :

- $\alpha$  est la pente,
- $\Delta h$  la différence d'altitudes entre les deux points extrêmes,
- $l$  la distance horizontale séparant les points extrêmes.

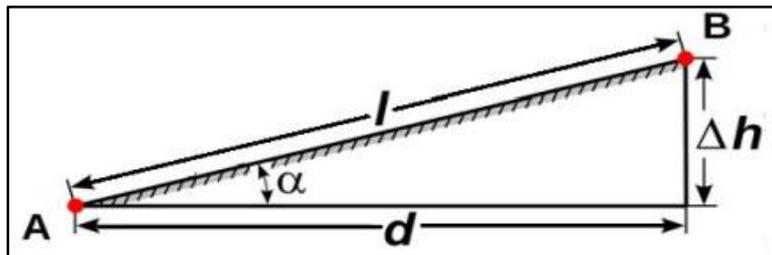


Figure 11 : Schéma de calcul de la pente du terrain.

Le mode d'implantation des fosses sur une parcelle utile donnée est déterminé par la valeur de la pente. En effet, lorsque la topographie de la plantation est quasi plane (pente  $\leq 8$  pc) et que l'histoire culturale de la plantation est identique partout, l'état de vigueur de la végétation (croissance, développement et état sanitaire, infestation en adventices ou en parasites) traduit mieux en général la nature du sol sous-jacent (Freschet *et al.*, 2018). Les fosses pédologiques trois (03) au total par site (F1, F2 et F3) sont alors implantées dans la parcelle utile suivant une séquence déterminée par la diversité constatée au niveau du couvert végétal (Figure 12). Cette méthode se prêtait aux parcelles de Tahiraguhé et Zépréguhé où les pentes étaient inférieures à 8 pc.

Par contre, si le site est caractérisé par une pente non négligeable (pente  $> 8$  pc), l'emplacement des fosses pédologiques sur la parcelle utile est guidé par la méthode des toposéquences fondée sur le principe qu'il existe une relation étroite entre le modelé d'une région (morphologie) et les différents types de sols décrits (pédologie) (Lévêque, 1972). L'étude morpho-pédologique est alors réalisée le long d'une ligne perpendiculaire aux courbes de niveau : les trois fosses (F1, F2 et F3) sont placées sur un transect le long de la toposéquence, une fosse étant positionnée en haut de versant, une autre à mi-versant et la dernière fosse au bas du versant. Cela a été le cas pour les trois parcelles du site de Tapéguhé où les pentes avoisinaient 11 pc.

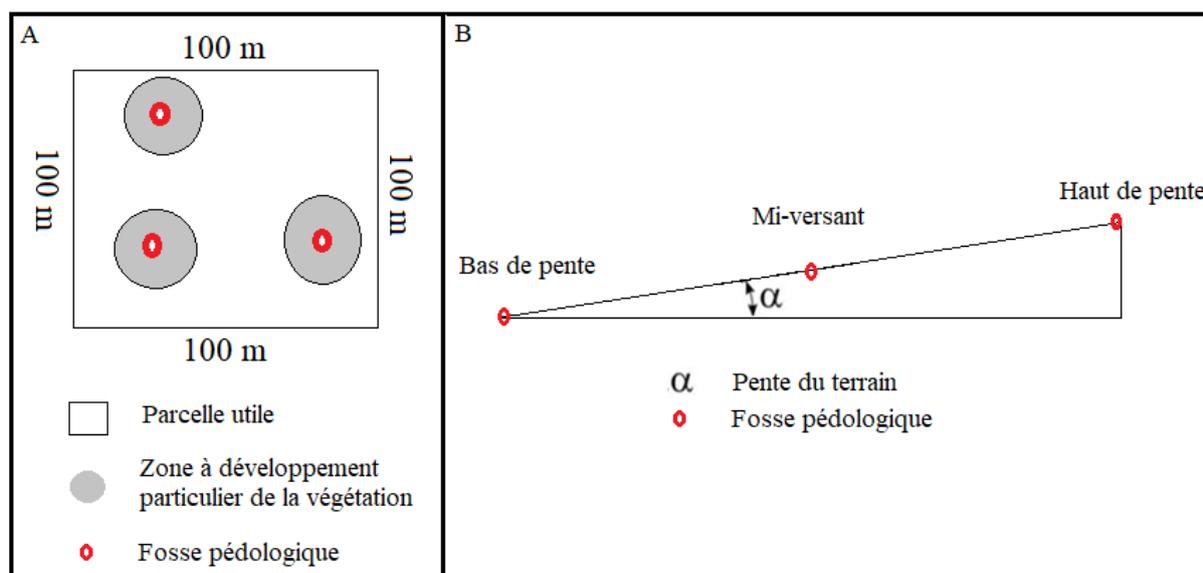


Figure 12 : Dispositifs d'emplacement des fosses pédologiques.

A : selon la séquence des couvertures végétales ; B : selon la toposéquence.

### II.2.1.2. Ouverture et description des fosses pédologiques *in situ*

Dans chaque plantation, trois fosses pédologiques ont été ouvertes à environ 1,5 m des pieds de la spéculiation dominante de la plantation. Ainsi, 27 fosses de 120 cm de profondeur, 1 m de longueur et 80 cm de largeur chacune ont été ouvertes manuellement.

La description des sols a été faite selon les paramètres morpho-pédologiques établis par Boyer (1982) pour évaluer les sols agricoles, à savoir : la profondeur utile et les caractéristiques associées (compacité, taux d'éléments grossiers et hydromorphie et drainage interne), la couleur, la texture, la structure. La base de dénomination utilisée est celle définie par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS) (Aubert, 1965).

#### II.2.1.2.1. Détermination de la profondeur utile du sol et des caractéristiques associées

##### ❖ Profondeur utile du sol et épaisseurs des horizons des sols

La profondeur utile du sol est la profondeur facilement exploitable par les racines pour son enracinement et sa nutrition. La profondeur utile et l'épaisseur des horizons des sols ont été évaluées à l'aide d'un mètre ruban. Elles peuvent être limitées par un certain nombre de caractéristiques qui ont été également déterminées : une compacité trop forte des horizons et une hydromorphie à faible profondeur.

#### ❖ Compacité des horizons des sols

La compacité du sol a été appréciée par le test de pénétration *in situ* (Ardouin, 2014), réalisé à l'aide d'un couteau de pédologue, directement sur la face verticale de l'horizon, à son état d'humidité instantané. Cinq appréciations ont été retenues : meuble pour matériau non cohérent (le couteau pénètre sans effort jusqu'à la garde) ; peu compact quand un léger effort est nécessaire pour enfoncer le couteau jusqu'à la garde ; moyennement compact lorsqu'un effort important est nécessaire pour enfoncer le couteau jusqu'à la garde ; compact quand le couteau ne pénètre pas complètement, même sous un effort important et très compact lorsque le couteau ne peut pénétrer que de quelques millimètres dans le sol.

#### ❖ Hydromorphie et drainage interne des horizons des sols

L'hydromorphie des horizons des sols a été déterminée par observation des marques (tâches) due à l'excès d'eau temporaire ou permanent dans les horizons des sols. De façon pratique, il s'est agi d'identifier et de quantifier sur la face des horizons d'un profil pédologique de sol, les taches d'oxydo-réduction correspondant à une juxtaposition de taches rouilles et grises verdâtres décolorées, dues à la stagnation temporaire ou permanente de l'eau, du fait de l'imperméabilisation du sol ou du mauvais drainage interne de l'eau.

#### II.2.1.2.2. Détermination de la couleur des horizons

Les couleurs ont été indiquées en référence au code Munsell (1988). La détermination de la couleur a consisté à prélever une motte humide de sol et à la faire correspondre aux différentes couleurs contenues dans le code Munsell. Les couleurs figurant dans ce code sont classées selon le système ITS (intensité, teinte, saturation), ou selon l'appellation anglosaxon IVC (Value, Hue, Chroma).

#### II.2.1.2.3. Détermination de l'humidité des horizons du sol

L'humidité du sol sur le terrain a été estimée à l'aide de sensations tactiles mais aussi d'autres perceptions tel que le comportement mécanique (un échantillon plastique et malléable paraît humide alors qu'un échantillon friable ou fragile semble seulement "frais" ou sec). Cinq (05) modalités sont reconnues par le glossaire STIPA (1982) : sec lorsqu'il n'y a pas d'humidité décelable ; frais et humide quand une motte de sol est malléable avec l'humidité voisine de la

capacité au champ et absence d'eau libre ; très humide lorsqu'on observe un début d'eau libre et noyé quand on découvre la présence d'eau libre saturant tout ou une partie de la porosité.

#### II.2.1.2.4. Détermination de la structure des horizons du sol

La structure du sol, clé de la fertilité du sol, est déterminée en général par observation à l'œil nu des arrangements des éléments constitutifs du sol les uns par rapport aux autres (Roger-Estrade *et al.*, 2004). Lorsque les particules du sol sont liées en agrégats par les colloïdes argilo-humiques pour former des grumeaux, la structure est qualifiée de bonne. Par contre, si les particules sont non liées ou compactées, la structure est dite mauvaise et le sol qualifié d'impropre à l'activité agricole.

#### II.2.1.2.5. Estimation de la texture des horizons du sol

L'estimation de la texture des horizons a été faite à partir de la méthode empirique, de façon tactile telle que décrite par Delaunois *et al.* (2013). Dans chaque horizon une motte de sol a été prélevée et tamisée à travers les mailles de diamètre 2 mm. Le sol fin obtenu a été humidifié. La texture est sableuse à sable grossier (plus de 50 pc de sable) lorsqu'au toucher le sol fin apparaît rugueux avec des grains de sable visibles à l'œil nu et effritement rapide de l'échantillon entre les doigts ; dans le cas d'une texture sableuse à sable fin, le toucher est rugueux doux. Pour les limons, le toucher est doux et soyeux comme du talc. Les sols qui collent aux doigts avec impossibilité de faire un boudin ont 17 à 20 pc d'argile ; quand il est possible de former une pâte à modeler avec possibilité de faire un anneau avec le boudin, le sol est plus riche en argiles (plus de 30 pc d'argile). Un tel sol forme une plaquette, souvent brillante, à la surface de l'un des doigts sur lequel il colle.

#### II.2.1.2.6. Echantillonnage du sol

À la fin de la description d'une fosse donnée, il s'est agi de constituer deux échantillons composites de sol par fosse pédologique, le premier échantillon est prélevé sur toute l'épaisseur de l'horizon B plus profond et le second dans l'horizon A superficiel. En procédant ainsi, on évite les contaminations entre les différents échantillons. Au total, ce sont cinquante quatre (54) échantillons composites de sol qui ont été constitués et conservés dans des sachets plastiques étiquetés.

### II.2.1.2.7. Préparation des échantillons de sol en vue des analyses physico-chimiques au laboratoire

Les échantillons de sol prélevés ont été séchés à l'air libre et à l'ombre à l'abri du soleil et de la pluie durant une semaine sur du papier journal. Après le séchage, les échantillons ont été émottés à la main et tamisés avec un tamis à mailles de 2 mm (Figure 13), en vue d'obtenir la fraction fine du sol (tamisât) sur laquelle les analyses en laboratoire devront être réalisées. Le taux de la fraction grossière des horizons du sol (refus) a été déterminé à ce stade à l'aide de la formule de calcul ci-après :

$$EG = \left(\frac{PR}{PT}\right) * 100 \quad (2)$$

Où :

- EG est le taux d'éléments grossiers exprimé en pourcentages ;
- PR est la masse en gramme du refus ;
- PT la masse totale de l'échantillon de sol sec.

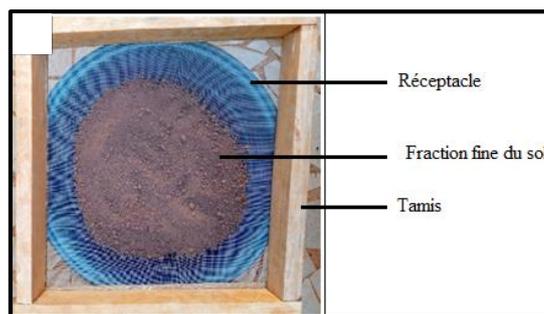


Figure 13 : Tamisage des échantillons de sol.

### II.2.1.2.8. Analyses physico-chimiques des échantillons de sol au laboratoire

Un aliquote de 0,5 kg de la fraction fine de chaque échantillon de sol a été emballé dans un sachet plastique et envoyé au Laboratoire d'Analyse des Sols et des Végétaux (LAVESO) de l'École Supérieure d'Agronomie (ESA) sis à l'Institut National polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro. Les analyses effectuées ainsi que les méthodes employées sont listées dans le tableau II.

Tableau II : Méthodes d'analyses des propriétés physico-chimiques

| Types de variables       | Variables mesurées              | Méthodes  |
|--------------------------|---------------------------------|---|
| Chimiques                | pH (1 : 2,5: Sol : Eau)         | pH-mètre à électrode de verre (Diack & Loum, 2014)            |
|                          | Carbone organique (C)           | Walkley & Black (Walkley & Black, 1934)                       |
|                          | Matière organique               | MO = 1,724 x C  |
|                          | Azote total (Nt)                | Kjeldahl modifiée (Diack & Loum, 2014)                        |
|                          | Phosphore assimilable           | Olsen modifiée (Olsen & Sommers, 1982)                        |
|                          | Calcium (Ca <sup>2+</sup> )     | Spectromètre d'absorption atomique (Pansu & Gautheyrou, 2003) |
|                          | Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )   |   |
|                          | Potassium (K <sup>+</sup> )     |   |
|                          | Sodium (Na <sup>+</sup> )       |   |
|                          | Somme des bases (SBE)           |   |
|                          | Taux de saturation en bases (V) | V = SBE/CEC   |
|                          | CEC                             | Kjeldahl modifiée (Diack & Loum, 2014)                        |
|                          | Fer (Fe <sup>2+</sup> )         | Spectromètre de masse (Pauwels <i>et al.</i> , 1992)          |
|                          | Aluminium (Al <sup>3+</sup> )   |   |
| Zinc (Zn <sup>2+</sup> ) |                                 |   |
| Physiques                | Sable                           | Pipette de Robinson (Douzals, 2000)                           |
|                          | Limons                          |   |
|                          | Argile                          |   |
|                          | Densité apparente               | Cylindre (Boa, 1989)  |

Le pH<sub>eau</sub> a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre à électrode de verre (Diack & Loum, 2014). Pour ce faire, on réalise un potentiomètre où une demi-pile est constituée par une électrode de verre plongeant dans la suspension, tandis que l'autre électrode est une électrode au calomel ou électrode de référence.

Le carbone organique total a été dosé par la méthode de Walkley & Black ou méthode d'attaque sulfochromique à froid (Walkley & Black, 1934), alors que l'azote total a été dosé par la méthode de Kjeldahl (Diack & Loum, 2014). La méthode de détermination du carbone organique consiste à ajouter une solution de bichromate de potassium à un échantillon en présence d'acide sulfurique. Après la réaction, le dosage de la quantité de bichromate qui n'a pas réagi avec l'échantillon permet d'établir la concentration de carbone organique total. Quant à la mesure de l'azote total, une première étape ou digestion en milieu acide, transforme tous

les composés organiques azotés en azote ammoniacal ; dans la seconde étape, les ions ammonium sont dosés par un système automatisé, les ions ammonium réagissant avec du salicylate, du nitroferrocyanure et de l'hypochlorite de sodium pour former en milieu alcalin un complexe salicylate ammoniacal, dont l'absorbance à 660 nm est proportionnelle à la concentration d'azote ammoniacal.

La méthode d'Olsen modifiée (Olsen & Sommers, 1982) a permis de doser le phosphore assimilable. Le principe de cette méthode consiste à extraire le phosphore assimilable par la solution de fluorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) et d'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) selon la méthode Bray I. L'extraction du phosphore total a été faite par l'attaque perchlorique à chaud sur 1 gramme de sol broyé. Le dosage a été effectué par colorimétrie en présence de vanado-molybdate.

Les bases échangeables ont été extraites par la méthode de saturation à l'ammonium à  $\text{pH}=7$ . Les teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  sont déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (Pansus & Gautheyrou, 2003). La CEC est mesurée sur les sols désaturés issus de l'extraction des bases échangeables. La saturation subséquente du complexe avec des ions  $\text{Na}^+$  apportés par une solution à 10 pc de chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) libère les ions  $\text{NH}_4^+$  du complexe et permet de distiller le  $\text{NH}_4^+$  recueilli par la méthode Kjeldahl.

Pour doser les oligoéléments (fer, aluminium et zinc), on a procédé par spectrométrie de masse qui est une technique analytique basée sur la détermination du rapport entre masse et charge des ions. Le principe réside dans la séparation en phase gazeuse de molécules chargées (ions) en fonction de leur rapport masse/charge ( $m/z$ ) (Pauwels *et al.*, 1992).

Une analyse granulométrique du sol a, par ailleurs, été réalisée à l'aide de la pipette de Robinson-Köhn (Douzals, 2000) pour le prélèvement des limons et de l'argile, après quoi, les fractions sableuses ont été isolées par tamisage à sec. À la fin de ce processus, les taux de sables, de limons et d'argiles obtenus ont été projetés sur le triangle textural du sol de l'USDA (Annexe 2) pour déterminer de façon précise les textures des sols.

La densité apparente du sol est un indicateur du tassement et de la porosité totale du sol. Elle a été déterminée par la méthode du cylindre (8,2 cm de diamètre et 9,25 cm de hauteur) (Baize, 2000) en trois pseudo-réplicats par fosse pédologique (WRB, 2014). En pratique, l'on rase la végétation à la surface du sol sur la zone de prélèvement et on enfonce verticalement et entièrement le cylindre dans le sol à l'aide d'un bout de bois et d'un marteau. Le cylindre est retiré ensuite avec tout son volume de sol. Pour ce faire, on creuse le sol sur tout le pourtour du cylindre jusqu'à sa profondeur afin de l'isoler (Figure 19B). La motte de sol contenu dans le

cylindre est retirée et emballée dans du papier aluminium portant une étiquette (Figure 19C). L'échantillon de sol frais est pesé au laboratoire puis séché à l'étuve à 105°C pendant 48 heures et pesé à nouveau pour déterminer le poids sec du sol. L'humidité pondérale (Hp), la densité apparente (Da), la porosité totale (Pt) et le stock d'eau (Seau) du sol sont calculés ensuite dans cet ordre par les formules 3 (Baize, 2000), 4 (Boa, 1989), 5 (Lowery *et al.*, 1996) et 6 (Affholder *et al.*, 2006) :

$$Hp = \left( \frac{PF - PS}{PS} \right) * 100 \quad (3)$$

Où : Hp est l'humidité pondérale du sol exprimée en pc, PF le poids frais et PS le poids sec du sol exprimé en g.

$$Da = \frac{PS}{V} \quad (4)$$

Où : Da est la densité apparente du sol exprimée en g.cm<sup>-3</sup>, PS est le poids sec exprimé en g et V le volume du cylindre exprimé en cm<sup>3</sup>.

$$Pt = \left( \frac{Dr - Da}{Dr} \right) * 100 \quad (5)$$

Où : Pt est la porosité totale du sol exprimée en pc, Dr est la densité réelle et Da la densité apparente du sol en g.cm<sup>-3</sup>. La densité réelle du sol correspond à celle de ses éléments constitutants ; elle varie très peu au point qu'elle est considérée comme une constante qui vaut 2,654 (Baize, 2000).

$$Seau = \frac{Hp \times h \times Da}{10} \quad (6)$$

Où : Seau est le stock en eau du sol exprimé en mm, Hp l'humidité pondérale en pc et Da la densité apparente de l'horizon en g.cm<sup>-3</sup> et h l'épaisseur de l'horizon en cm.

## II.2.2. Étude des macro-invertébrés des sols

### II.2.2.1 Stratégie d'échantillonnage

Pour l'échantillonnage en vue de la caractérisation des peuplements des macro-invertébrés des sols, deux (02) dispositifs standardisés ont été installés dans chaque plantation

sur la même parcelle utile de 100x100 m que celle de l'étude pédologique. Ces dispositifs diffèrent selon que la macrofaune recherchée est endogée ou épigée. L'échantillonnage a été fait à la fin de la grande saison des pluies, qui correspond à la période de grande activité des organismes du sol (Bakayoko, 2020).

#### ❖ Méthode des monolithes TSBF

La collecte des vers de terre et termites était basée sur la réalisation et le tri de monolithes de sol (Tondoh & Lavelle, 2005 ; Guéi *et al.*, 2019) pour en extraire les organismes. Dans chaque plantation, la collecte a été faite le long de dix (10) transects longs de 20 m chacun et perpendiculaires à la plus grande pente, en trois (03) points ou monolithes de 50 x 50 x 30 cm (Figure 14A). Le premier monolithe était situé à 10 m de l'origine du transect. Cependant, tous étaient éloignés les uns des autres de 5 m (Figure 14B). Entre deux transects, une distance de 30 m a été observée pour éviter l'autocorrélation (Rossi, 2003).

Après son isolement, le monolithe a été divisé en trois couches successives de 10 cm d'épaisseur. Chaque couche est triée sur un plateau pour en extraire les organismes du sol. Ces organismes, notamment les vers de terre sont conservés dans des piluliers contenant du formaldéhyde dilué à 4 pc, quand les termites sont conservés dans de l'alcool dilué à 70 pc. Lors de cette opération destinée à la collecte des vers de terre et termites, d'autres organismes du sol non endogés ont été capturés et conservés dans de l'alcool dilué à 70 pc.

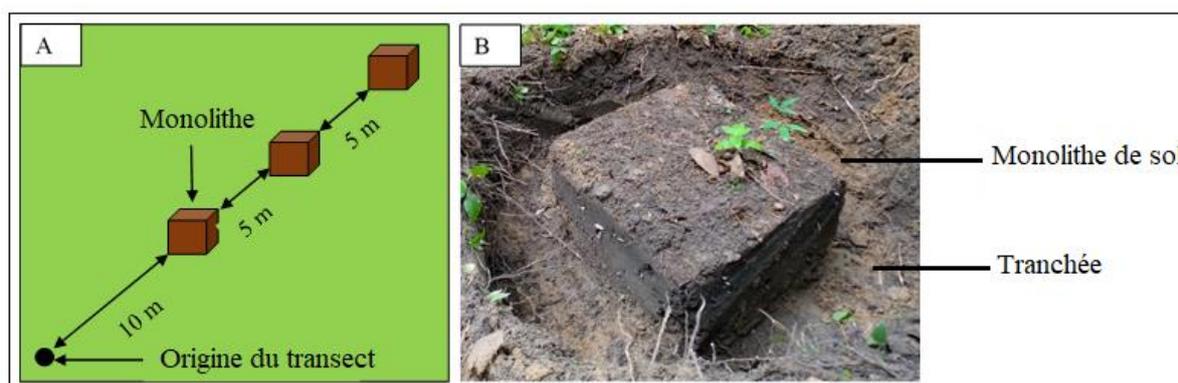


Figure 14 : Protocole d'échantillonnage des peuplements de vers de terre et termites.

A- schéma de la méthode d'échantillonnage et B- un monolithe de sol.

### ❖ Collecte de la macrofaune épigée

Dix (10) transects longs de 100 m chacun et équidistants de 10 m ont été tracés à l'intérieur de chaque plantation sur une parcelle utile de 100x100 m, à l'effet de positionner des points de collecte. Ces points sont des pièges appelés "pièges fosse" (Hamaidi, 1992 ; Clere & Bretagnolle, 2001) constitués de pots cylindriques de polyéthylène (diamètre = 7,5 cm, hauteur = 11,50 mm, base = 5,3 cm et volume = 0,385 l) contenant un mélange d'eau, de vinaigre à 6 °C, de sel et de détergent (sans parfum). Ainsi, 10 pièges fosse ont été installés chaque dix mètres le long d'un transect, faisant au total 100 pièges par hectare (Figure 15).

À l'aide d'une barre à creuser, des trous ont été creusés pour enterrer les pots pièges verticalement de la sorte que leurs bords soient au niveau de la surface du sol pour éviter tout contournement du pot par les macro-invertébrés. Pour retrouver facilement le pot piège, un piquet avec un morceau d'une bande de sécurité est piqué juste à côté du pot piège. Pour faciliter le relevé des pièges, deux pots ont été placés l'un dans l'autre : le piège du bas a été troué pour permettre à l'eau de s'évacuer, celui du dessus a été rempli au tiers de leur hauteur d'un liquide conservateur et mortel (0,257 l). Chaque trois jours durant deux semaines, le contenu des pièges est recueilli, rincé et filtré, puis mis séparément dans un pilulier étiqueté contenant de l'alcool à 70 pc.

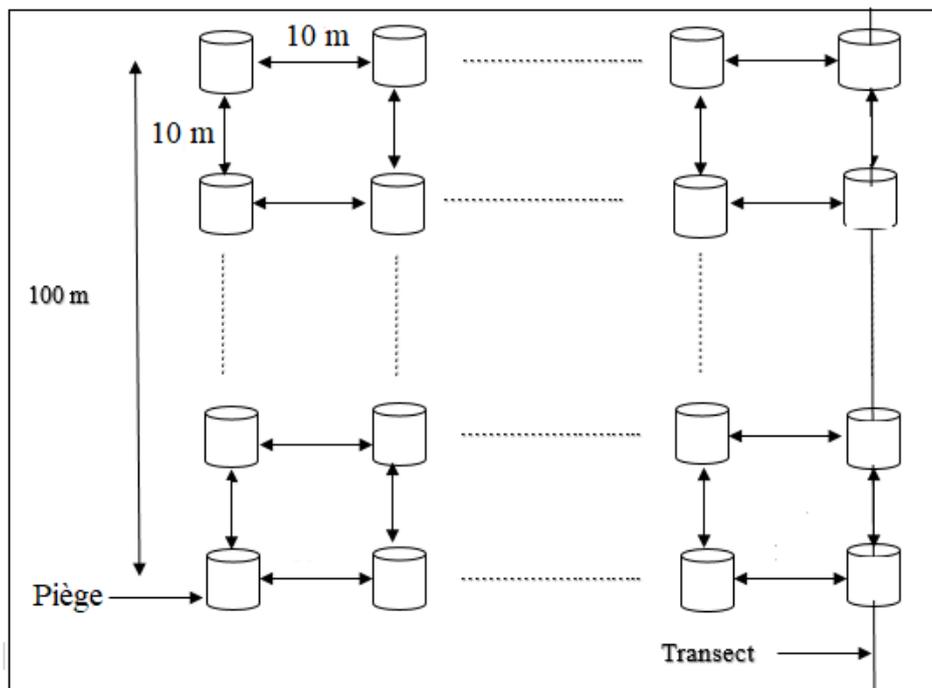


Figure 15 : Dispositif d'échantillonnage des macro-invertébrés épigés.

### II.2.2.2. Identification des macro-invertébrés du sol récoltés

Au laboratoire, avant de procéder à l'identification des macro-invertébrés récoltés, tous les échantillons ont été rincés à l'eau distillée en vue d'éliminer le formol et l'alcool utilisés pour les conserver. Un tri est réalisé pour séparer les différents groupes taxonomiques, puis leur identification à l'aide de la loupe binoculaire au grossissement 40 x. Il s'est agi, pour les individus d'un même groupe taxonomique, de comparer les caractères morphologiques externes des organismes à celles décrites dans les clés et les ouvrages d'identification utilisés. Les organismes ont été identifiés jusqu'au genre ou à l'espèce selon la faisabilité permise par les documents utilisés comme références. Ainsi :

- les vers de terre ont été identifiés jusqu'à l'espèce à l'aide des clés de Cszudi & Tondoh (2007) ;
- les termites ont été identifiés en général jusqu'au genre à l'aide des clés de Bouillon & Mathot (1965), Grassé (1986) et Sands (1992 et 1998) ;
- l'identification des autres taxons a été réalisée en se basant sur les ouvrages de George (2005) ; Poutouli *et al.* (2011) et Dubuc (2012).

Après l'étape de l'identification, les individus ont été comptés et les moyennes ont été calculées sur chaque transect. Par ailleurs, une analyse de similitude entre les milieux basés sur les nombres d'espèces rencontrées a été effectuée avant que l'analyse de la composition et de la structure des communautés recensées ne soit réalisée.

### II.2.2.3. Analyse de la similitude entre les milieux

La similitude entre les milieux a été estimée en utilisant le diagramme de Venn (Borcard *et al.*, 1992). Ce diagramme permet d'apprécier le niveau de similitude entre plusieurs milieux en faisant le rapport entre les espèces communes aux milieux et celles propres à chaque milieu. Dans l'exemple des milieux 1 et 2 présenté à la figure 16 :

- la partie A représente la part de la variation expliquée exclusivement par le milieu 1 ;
- la partie C ensuite représente la part de la variation expliquée uniquement par le milieu 2 ;
- la partie B enfin représente l'intersection entre les deux milieux, soit la portion de la variation expliquée conjointement par ces deux milieux.

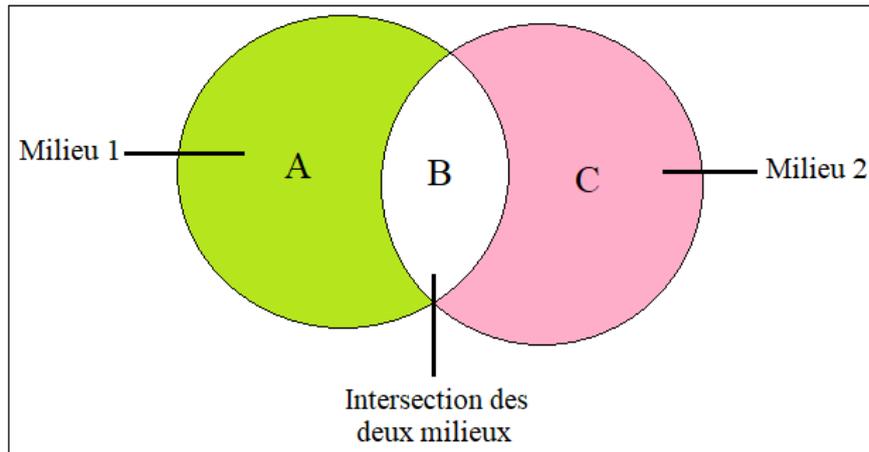


Figure 16 : Exemple de Diagramme de Venn.

#### II.2.2.4. Analyse de la composition et de la structure des peuplements des macro-invertébrés du sol

L'abondance des peuplements des macro-invertébrés a été estimée par la densité des individus d'un taxon, c'est-à-dire, le nombre des individus du taxon récolté par unité de surface (Ramade, 2003). La richesse spécifique ou taxonomique ( $S$ ) représente quant à elle le nombre total d'espèces rencontrées dans un écosystème donné (Ramade, 2003). Cet indice a été estimé par le nombre moyen d'espèces par milieu.

L'indice de Shannon ( $H'$ ) permet de mesurer la composition spécifique d'un peuplement à partir du nombre d'espèces et de l'abondance de cette espèce dans un écosystème donné (Shannon & Weaver, 1963 ; Legendre & Legendre, 1984). Son équation de calcul est donnée par la formule 7 :

$$H' = - \sum_i^n P_i \cdot \log_2 P_i \quad \text{avec} \quad P_i = \frac{n_i}{N} \quad (7)$$

Où :

- $P_i$  est la proportion d'une espèce  $i$  par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu d'étude,
- $n_i$  correspond au nombre d'individus de l'espèce  $i$  ;
- $N$  est l'effectif total des individus de toutes les espèces.

L'indice d'équitabilité permet d'estimer la répartition des espèces au sein des relevés en évaluant la proportion des espèces dominantes (Ramade, 1984). Il se calcule par la formule de l'équation 8 :

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}}, \text{ avec } H'_{\max} = \text{Log}_2(S) \quad (8)$$

Où :

- E est l'indice d'équitabilité qui varie de 0 à 1 ;
- S est la richesse totale.

### II.2.3. Évaluation du stock de carbone organique des sols

Le stock de carbone organique du sol a été calculé dans chaque plantation au niveau des trois fosses pédologiques réalisées, précisément dans les horizons A et B. La somme du stock de ces deux couches constitue le stock du profil. Pour un horizon donné, le stock de carbone a été calculé par la formule de l'équation 9 (Henry *et al.*, 2020) :

$$\text{SCOS} = C \times E \times \text{Da} \times (1 - \text{EG}) \quad (9)$$

Où :

- SCOS est le stock de carbone organique de l'horizon en  $\text{g.m}^{-2}$ ,
- C est le taux de carbone organique du sol exprimé en  $\text{g.kg}^{-1}$ ,
- E est l'épaisseur de l'horizon du sol en cm,
- Da représente la densité apparente de l'horizon du sol en  $\text{g.cm}^{-3}$ ,
- EG est le pourcentage d'éléments grossiers de l'horizon.

L'approche de calcul du SCOS adoptée s'apparente à l'approche synchronique dont le principe consiste à comparer, à un instant donné, le stock de C d'une parcelle correspondant à la pratique stockante menée depuis plusieurs années à celui d'une parcelle de référence (Olson *et al.*, 2014a ; Olson *et al.*, 2014b).

Pour rappel, les paramètres de calcul du SCOS constitués par le taux de carbone organique, l'épaisseur des horizons, la densité apparente et le taux d'éléments grossiers du sol, ont été déterminés aux cours de l'étude pédologique décrite au paragraphe II.2.1.

### II.2.4. Analyse statistique des données

#### II.2.4.1. Analyses de variance des propriétés des sols

Les moyennes des données de sol et de faune ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur pour comparer les sites prospectés ; quand il y a une différence

significative entre les moyennes ( $P < 0,05$ ), le test post ANOVA LSD (Least Significant Difference) de Fischer au seuil de 5 pc est utilisé pour déterminer les groupes homogènes.

Lorsque les variances n'étaient pas homogènes (égales) malgré la tentative de transformation appliquée, les moyennes sont comparées par le biais le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ; en cas de différence significative entre les moyennes ( $P < 0,05$ ), le test de Dunnette est utilisé pour déterminer les groupes homogènes. Ces analyses statistiques univariées ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.2.1 avec le package et l'interface graphique *Rcmdr* (R Commandeur).

#### II.2.4.2. Corrélations entre les propriétés des sols et le stock de carbone des sols

Les relations analysées dans cette partie du travail sont celles existant principalement entre :

- les propriétés physico-chimiques et le stock de carbone des sols ;
- les propriétés biologiques et le stock de carbone des sols ;
- les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols.

Les trois premières relations ont été déterminées par le calcul du coefficient de Bravais Pearson au seuil de 5 pc. Les valeurs de ce coefficient sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs positives indiquent une corrélation positive entre les variables étudiées alors que les valeurs négatives indiquent une corrélation négative entre les variables étudiées. En revanche, si la valeur du coefficient est nul ( $r = 0$ ), il n'y a pas de relation linéaire entre les variables. Pour les valeurs positives de  $r$ , les liens établis sont significatifs au seuil de  $r = 0,7$  ; lorsque  $r > 0,7$ , la corrélation est forte et faible quand  $r < 0,7$ . Pour les valeurs négatives de  $r$ , les liens établis sont significatifs au seuil de  $r = -0,7$  ; lorsque  $r < -0,7$ , la corrélation est forte et faible quand  $r > -0,7$ . Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel R version 4.2.1 avec le package *Corrplot*.

# TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

### III.1. RÉSULTATS

#### III.1.1. Caractéristiques morpho-pédologiques des sols étudiés

##### III.1.1.1. Sols sous palmeraies

Les sols sous palmeraies sont en général très différenciés (cinq horizons en moyenne) et très profonds (100 cm à Tapéguhé ; 120 cm à Tahiraguhé et Zépréguhé) (Figure 17). Les éléments grossiers occupent un volume très faible de ces sols ( $< 1$  pc). Leurs deux premiers horizons (horizons  $A_{11}$  et  $A_{12}$ ) ont une texture sablo-limoneuse et une structure polyédrique à tendance grumeleuse ; ces horizons sont frais, poreux, bien drainés et colorés noirâtre (respectivement 2,5YR 2,5/1 et 10YR 2/1) car très humifères. Leur épaisseur cumulée moyenne est de 34 cm. L'horizon sous-jacent ( $A_3$ ) est peu humifère (couleur grise : 10YR 7/2), frais, poreux, bien drainé et sablo-argileux avec une structure polyédrique ; son épaisseur est estimée à environ 18 cm. La quatrième couche ou horizon  $B_1$  est sableuse avec toutefois une structure stabilisée par un peu d'argile ; elle est épaisse de 27 cm environ, humide, colorée gris clair (5YR 7/2) et très perméable. L'horizon de profondeur ( $B_{2g}$ ) est instable (structure particulière) à Tapéguhé du fait d'une texture sableuse et stable (structure polyédrique) à Tahiraguhé et Zépréguhé où la texture est argilo-sableuse. Son épaisseur varie de 21 cm à Tapéguhé à 41 cm à Tahiraguhé et Zépréguhé.

##### III.1.1.2. Sols sous cacaoyères

Les sols observés sous cacaoyers sont aussi très profonds et bien différenciés en horizons. En effet, à Tapeguhé (Figure 18A) comme à Zépréguhé (Figure 18B), ces sols présentent six horizons, le premier (horizons  $A_{11}$ ) ayant une épaisseur de 12 cm en moyenne et une texture limono-sableuse ; sa structure est grumeleuse. Il s'agit d'un horizon frais, très poreux, bien drainés et peu humifère à Tapéguhé et Zépréguhé (colorés respectivement brun rougeâtre (2,5 YR 4/4) à Tapéguhé et brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) à Zépréguhé), mais très humifère à Tahiraguhé (couleur noirâtre : 10YR 2/1).

Les horizons sous-jacents de  $A_{11}$  à Tapéguhé diffèrent les uns des autres par leurs couleurs qui deviennent de plus en plus rouges (2,5 YR 4/6 à 2,5 YR 4/8) et leurs épaisseurs qui s'accroissent (18 à 37 cm) avec la profondeur, tout comme la proportion de leur volume occupé par les éléments grossiers (4 à 6 pc). Cette même tendance est observée avec les horizons sous-jacents du sol de Zépréguhé, principalement, au niveau de la couleur et du volume occupé par les éléments grossiers (15 à 35 pc).

Pour le sol de Tahiraguhé (Figure 18C), les éléments grossiers sont rares dans le profil. La distinction entre les horizons selon la profondeur est marquée par une épaisseur (23,33 à 46,33 cm) et surtout une compacité croissante.

### III.1.1.3. Sols sous hévéas

De Zépréguhé à Tapéguhé en passant par Tahiraguhé, les couleurs d'ensemble des sols varient d'un ton rouge (2,5 YR 4/6) à brun rouge (2,5 YR 4/4), puis brun sombre (10 YR 2/2). Ces sols sont très profonds (120 cm au moins) et bien différenciés en horizons (cinq en moyenne), l'horizon superficiel humifère étant fin (10 cm en moyenne) alors que les horizons de profondeur sont de moins en moins humifères (2,5 YR 3/6 à 10 R 3/4) et plus en plus épais (60 à 62 cm).

A Zépréguhé et Tahiraguhé (Figures 19A et 19C), un faible volume (environ 2 pc) de gravillons apparait au fond de la fosse contrairement au sol de Tapéguhé (Figure 19B) où ce volume peut atteindre 40 pc et commence vers 28 cm de profondeur. Quel que soit le site, la texture du sol est sablo-limoneuse en surface et argilo-sableuse ou limono-sableuse en profondeur. Parallèlement, la structure est grumeleuse en surface et polyédrique en profondeur. Les horizons des sols sont en général frais, poreux et bien drainés. Le sol de Tahiraguhé qui présente au fond de la fosse des taches rouilles d'oxydation du fer dues à la stagnation temporaire de l'eau, n'est toutefois pas ainsi bien drainé dans cette partie du profil.

De façon générale, les sols explorés peuvent être distingués en deux groupes selon leur morphologie. Le premier groupe assemble les sols sous cacaoyers et sous hévéas. Il s'agit de sols de plateaux très évolués (très profonds, très différenciés en horizons et caractérisés par une absence totale de minéraux primaires) et bien drainés. La couche humifère de couleur sombre et superficielle de ces sols est très mince (10 à 12 cm) alors que les couches organo-minérales ou minérales sous-jacentes sont plus épaisses et plus colorées (rouges) selon que leur profondeur d'apparition est grande. Au toucher, les couches profondes semblent plus fournies en argiles que les couches supérieures. Les premières ont une structure polyédrique quand les dernières ont une structure plutôt grumeleuse. Quel que soit le niveau d'apparition des couches, leurs taux en éléments grossiers demeurent très faibles. Le second groupe est constitué par les sols de bas-fonds utilisés pour la culture des palmiers à huile. Ces sols sont également très évolués. Le facteur principal de leur genèse est l'hydromorphie caractérisée par endroits par une apparition de la nappe perchée à 100 cm ou des taches d'oxydoréduction à partir de cette profondeur. Leurs couches

humifères superficielles, de couleur noirâtre, sont plus épaisses que dans le cas précédent. Par contre leurs teneurs en éléments grossiers sont plus faibles, sinon nulles. Ici, les couches sous-jacentes ont une couleur d'ensemble grise.

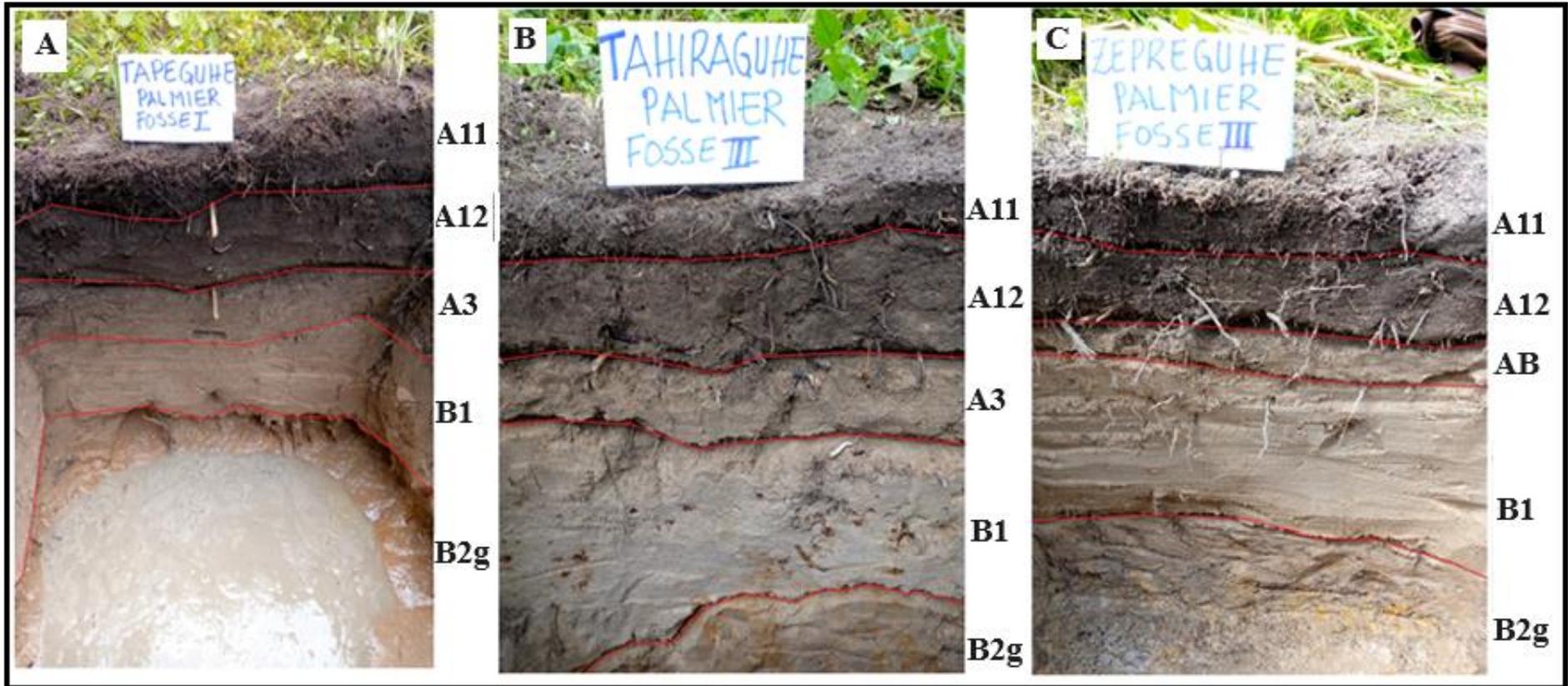


Figure 17 : Profils des sols sous les palmeraies  
 A-Tapéguhé, B-Tahiraguhé et C-Zépréguhé.

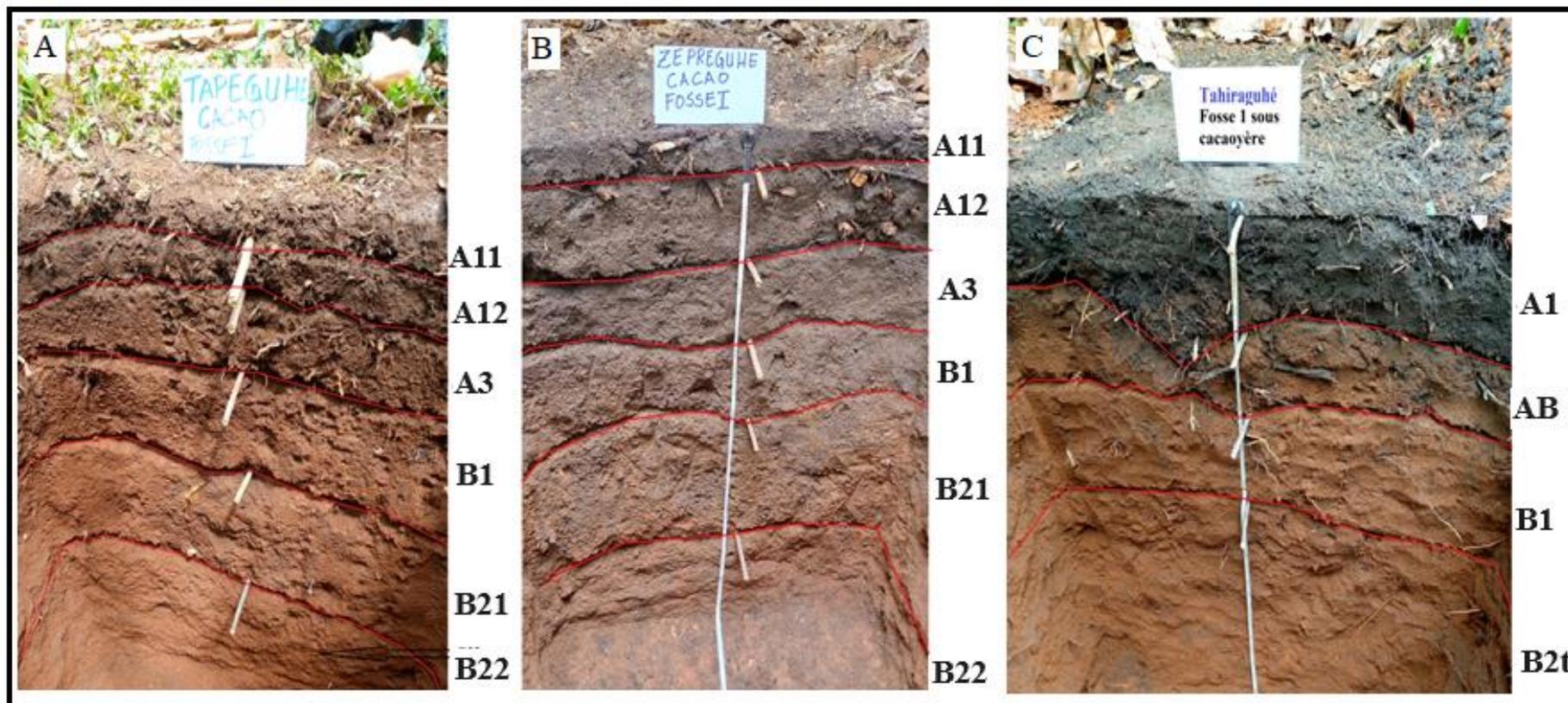


Figure 18 : Profils des sols sous cacaoyères.

A-Tapéguhé, B-Zépréguhé et C-Tahiraguhé.

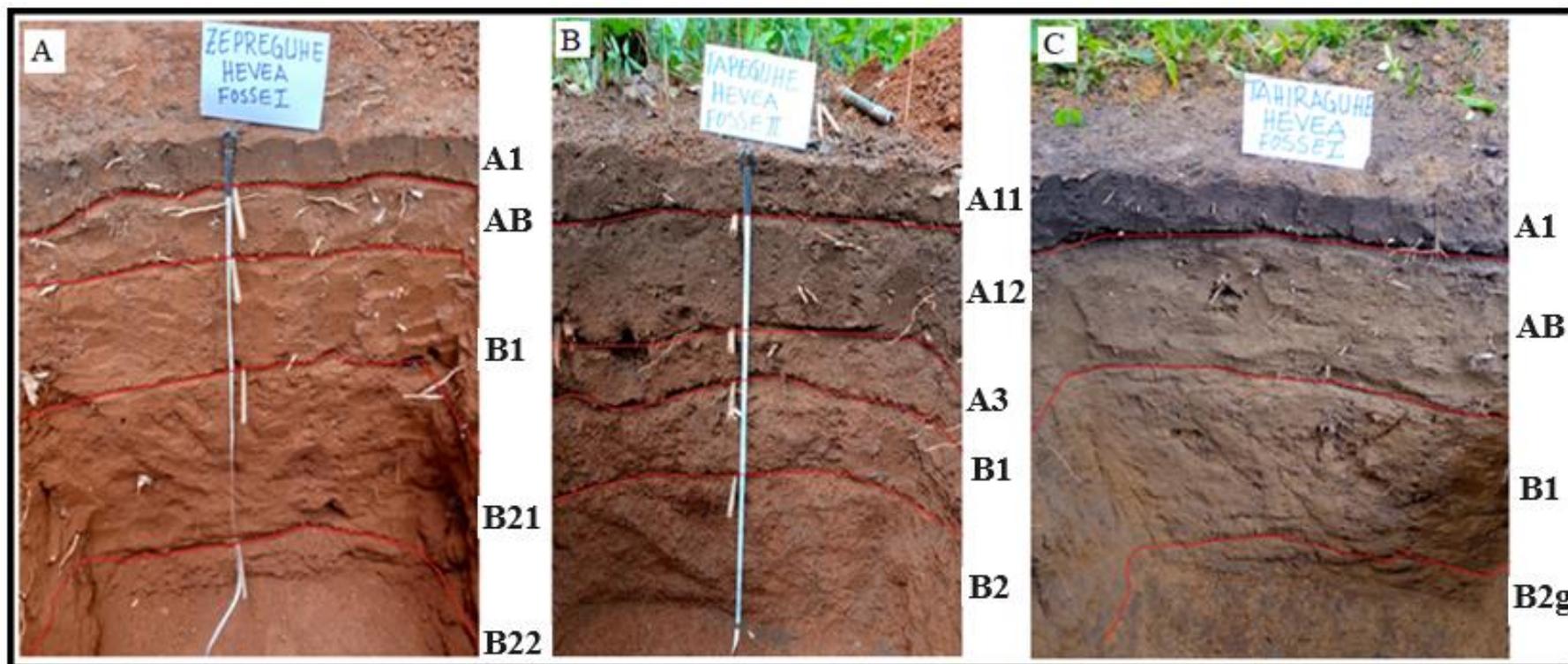


Figure 19 : Profils des sols sous les plantations d'hévéa.

A-Zepréguhé, B-Tapéguhé et C-Tahiraguhé.

### III.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites étudiés

#### III.1.2.1. Caractéristiques physiques

Les résultats portant sur la caractérisation physique au laboratoire des sols étudiés des sites sont reportés dans le tableau III. Les caractéristiques déterminées sont : la granulométrie (taux d'argile, de limon et de sable), le taux d'éléments grossiers (EG), la densité apparente (Da), la porosité totale (Pt) et le stock d'eau (Seau) mesurés dans les horizons A et B.

##### ➤ Site de Tapéguhé

Les textures des horizons A sont différentes selon les usages des sols. En effet, sous la palmeraie, elle est sablo-limoneuse et limono-argilo-sableuse sous la cacaoyère et les hévéas. En ce qui concerne les horizons B, la texture est sablo-limoneuse sous la palmeraie et argilo-sableuse dans la cacaoyère, puis limono-sableuse sous les hévéas.

De façon générale, l'ensemble de ces horizons s'avèrent très peu fourni en éléments grossiers (EG) : les taux sont inférieurs à 8 pc sous les cacaoyers et hévéas et nul sous les palmeraies dans les horizons A ; pour les horizons B, les taux sont également faibles sauf sous les hévéas où le taux de  $28,70 \pm 29$  pc enregistré peut être qualifié de faible. Toutefois, aucune différence statistique (*Anova*,  $p > 0,05$ ) n'a été observée entre ces taux. Il en est de même pour la densité apparente des horizons (Da) qui ne diffère pas significativement (*Anova*,  $p > 0,05$ ). Il a été mesuré précisément pour cette caractéristique :  $1,46 \pm 0,0$  g.cm<sup>-3</sup> sous palmeraie,  $1,42 \pm 0,05$  g.cm<sup>-3</sup> sous cacaoyers et  $1,52 \pm 0,05$  g.cm<sup>-3</sup> sous les hévéas dans les horizons A, puis pour les horizons B avec respectivement des Da de  $1,76 \pm 0,02$  ;  $1,63 \pm 0,03$  et  $1,72 \pm 0,06$  g.cm<sup>-3</sup>.

Les porosités totales (Pt) des horizons A sont du même ordre de grandeur (*Anova*,  $p > 0,05$ )  $45,04 \pm 0,11$  pc sous palmeraies,  $46,62 \pm 1,71$  pc sous cacaoyers et  $40,92 \pm 1,77$  pc sous hévéas, légèrement plus élevé que les valeurs ressorties des horizons B, elles-mêmes similaires (*Anova*,  $p > 0,05$ )  $33,76 \pm 0,90$  pc sous palmeraies,  $38,50 \pm 1,17$  pc sous cacaoyers et  $35,09 \pm 2,54$  pc sous hévéas. En ce qui concerne les stocks d'eau (Seau), les horizons B ont des stocks d'eau plus élevés que les horizons A ( $54,61 \pm 0,80$  mm sous palmiers,  $55,85 \pm 0,71$  sous cacaoyers et  $55,21 \pm 0,50$  mm sous hévéas dans les horizons A contre  $57,24 \pm 0,39$  mm sous palmiers,  $58,99 \pm 0,82$  mm sous cacaoyers et  $58,66 \pm 0,90$  mm sous les hévéas dans les horizons B). Entre les mêmes types d'horizon des sols, aucune différence significative n'a été constatée (*Anova*,  $p > 0,05$ ).

➤ Site Zépréguhé

Les deux horizons A et B des sols sous palmiers ont une texture sablo-limoneuse à l'image du site de Tapeguhé. Dans la cacaoyère, l'horizon A est limono-sableux quand B est limono-argilo-sableux. Sous les hévéas, les textures sont respectivement limono-argilo-sableuse et argileuse dans les horizons A et B.

Les sols sous palmiers du site de Zépréguhé sont quasiment dépourvus d'éléments grossiers, contrairement aux autres sols qui en contiennent, mais faiblement :  $17,76 \pm 4,50$  et  $41,21 \pm 4,29$  pc dans les horizons A et B des sols sous cacaoyers, puis  $5,88 \pm 0,98$  et  $18,40 \pm 4,75$  pc dans les mêmes types d'horizons sous hévéas. Seule la différence marquée entre les horizons B est significative (*Kruskall-Wallis*,  $p > 0,05$ ) (Tableau III).

Les densités apparentes ( $D_a$ ) moyennes des horizons sont estimées respectivement à  $1,34 \pm 0,04$  sous la palmeraie,  $1,38 \pm 0,07$  sous la cacaoyère et  $1,50 \pm 0,02$  g.cm<sup>-3</sup> sous les hévéas. Pour les horizons B, les valeurs sont, dans le même ordre,  $1,68 \pm 0,07$  ;  $1,65 \pm 0,02$  et  $1,62 \pm 0,05$  g.cm<sup>-3</sup>. Aucune différence significative n'a été constatée entre les mêmes types d'horizon des sols (*Anova*,  $p > 0,05$ ).

Comme dans le cas de la  $D_a$ , les différences constatées entre la Pt et le Seau des mêmes types d'horizon des sols ne sont pas significatives (*Anova*,  $p > 0,05$ ). Les moyennes de la Pt sont :  $49,45 \pm 1,67$ ,  $48,08 \pm 2,45$  et  $43,54 \pm 0,90$  pc sous palmeraies, cacaoyers et hévéas pour les horizons A, et dans le même l'ordre,  $36,59 \pm 2,53$  ;  $37,88 \pm 0,82$  et  $39,12 \pm 1,73$  pc dans les horizons B. Aussi, en moyenne  $53,79 \pm 0,24$  ;  $56,39 \pm 0,95$  et  $55,47 \pm 1,36$  mm d'eau ont-ils été mesurés respectivement sous palmiers, cacaoyers et hévéas dans les horizons A contre  $57,12 \pm 0,05$  ;  $59,34 \pm 1,0$  et  $60,42 \pm 1,80$  mm d'eau dans les B.

➤ Site de Tahiraguhé

Dans les sols de la palmeraie, la texture est sablo-limoneuse dans les deux horizons prospectés. Dans la cacaoyère, ces deux horizons sont limono-argilo-sableux, tandis que dans la plantation d'hévéas, l'horizon A est sablo-limoneux et B limono-sableux. Par ailleurs, tous les horizons A des sols sont presque dépourvus d'éléments grossiers quel que soit le type de cultures ainsi que les horizons B sous cacaoyers. Pour les horizons B des sols sous palmiers et hévéas, de faibles taux ont été mesurés, à savoir :  $1,52 \pm 0,40$  et  $6,90 \pm 0,70$  pc. Ces taux permettent de distinguer de manière significative les horizons B des sols (*Anova*,  $p < 0,001$ ).

Relativement à la Da, les horizons A qui ont affiché des moyennes de  $1,20 \pm 0,01$  ;  $1,36 \pm 0,03$  et  $1,58 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$  respectivement sous cacaoyers, palmiers et hévéas, sont différents (*Anova*,  $p < 0,05$ ). Il en est de même pour les horizons B où les moyennes sont dans le même ordre :  $1,49 \pm 0,01$  ;  $1,72 \pm 0,03$  et  $1,76 \pm 0,02 \text{ g.cm}^{-3}$ . Le même constat se dégage de la comparaison des moyennes de la Pt. Ces moyennes sont :  $54,92 \pm 0,26$  mesurée sous la cacaoyère ;  $48,73 \pm 0,99$  mesurée sous la palmeraie et  $40,58 \pm 0,45$  mesurée sous hévéas pour le cas des horizons A, contre, dans le même ordre,  $43,86 \pm 0,33$  ;  $35,21 \pm 1,11$  et  $33,73 \pm 0,72$  pc pour les horizons B.

En ressortant des S-eau moyens de  $53,38 \pm 0,23$  mm sous palmiers,  $54,28 \pm 0,55$  mm sous cacaoyers, puis  $55,70 \pm 0,76$  sous hévéas, les horizons A des sols étudiés sont apparus identiques (*Anova*,  $p > 0,05$ ) contrairement aux horizons (*Anova*,  $p < 0,05$ ) B dont les stocks sont :  $61,68 \pm 0,63$  mm sous cacaoyers,  $59,58 \pm 0,96$  sous hévéas et  $56,83 \pm 0,21$  sous hévéas.

➤ À l'échelle du paysage

Au total, cette partie des résultats précise les textures des sols évaluées sur le terrain. On retient donc que dans les palmeraies et cacaoyères, les horizons A et B des sols sont sablo-limoneux dans les palmeraies et limono-argilo-sableux dans les cacaoyères. Dans les plantations d'hévéas, les horizons A sont limono-sableux et les B limono-argilo-sableux. Sur la base des taux d'éléments grossiers, les horizons A sous palmiers qui ont des taux nuls, sont avérés différents (*Kruskall-Wallis*,  $p < 0,05$ ) des mêmes types d'horizons sous hévéas ( $4,33 \pm 4,41$  pc) et sous cacaoyers ( $7,77 \pm 5,21$ ) qui sont fournis en ces éléments. La variation des taux moyens d'éléments grossiers dans les horizons B est aussi significative à l'échelle du paysage (*Kruskall-Wallis*,  $p < 0,05$ ) : respectivement,  $1,04 \pm 0,80$ ,  $16,93 \pm 11,04$  et  $18,00 \pm 11,07$  pc sous palmiers, cacaoyers et hévéas.

Relativement à la Da, la Pt, et le Seau, les moyennes dans les mêmes types d'horizons diffèrent significativement (*Anova*,  $p < 0,05$ ) entre eux sur l'ensemble des parcelles. Dans le premier cas, les valeurs mesurées sont estimées à :  $1,39 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$  sous palmeraies,  $1,38 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$  sous cacaoyers et  $1,55 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$  sous hévéas pour les horizons A et, dans le même ordre,  $1,72 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$ ,  $1,59 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$  et  $1,70 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$  dans les horizons B. Pour le second cas, les moyennes obtenues dans les horizons A sont :  $47,74 \pm 1,5$  ;  $49,87 \pm 2,68$  et  $41,68 \pm 1,30$  pc mesurées sous palmiers, cacaoyers et hévéas. Les Pt moyennes correspondantes pour les horizons B sont :  $57,07 \pm 0,24$  ;  $60,0 \pm 1,03$  et  $69,55 \pm 1,20$  pc. Quant

au cas du Seau, les horizons A affichent comme moyennes  $55,51 \pm 0,85$  mm sous les cacaoyers,  $55,46 \pm 0,83$  mm sous les hévéas et  $53,93 \pm 0,54$  mm sous les palmiers. Au niveau des horizons B, les moyennes décroissent des hévéas ( $69,55 \pm 1,20$  mm) aux palmiers ( $57,07 \pm 0,24$  mm) en passant par les cacaoyers ( $60,0 \pm 1,03$  mm).

Tableau III : Paramètres physiques des sols étudiés

| Sites | Type d'usage       | Hz | Granulométrie (pc) |                           |                  | EG (pc)                   | Da (g.cm <sup>-3</sup> )   | Pt (pc)                    | S-eau (mm)                |
|-------|--------------------|----|--------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|       |                    |    | Argile             | Limon                     | Sable            |                           |                            |                            |                           |
| Tap   | Palmeraie          | A  | 6,33 ± 2,96a       | 16,33 ± 2,67a             | 77,34 ± 5,24b    | 0,0 ± 0,0a                | 1,46 ± 0,0a                | 45,04 ± 0,11a              | 54,61 ± 0,80a             |
|       | Cacaoyère          |    | 25,67 ± 1,67b      | 22,33 ± 1,20a             | 52,00 ± 0,58a    | 5,55 ± 2,40a              | 1,42 ± 0,05a               | 46,62 ± 1,71a              | 55,85 ± 0,71a             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 23,67 ± 3,53b      | 19,67 ± 1,20a             | 56,67 ± 2,60a    | 7,09 ± 5,36a              | 1,52 ± 0,05a               | 40,92 ± 1,77a              | 55,21 ± 0,50a             |
|       | <i>Valeur p</i>    |    | <i>0,00537**</i>   | <i>0,145<sup>ns</sup></i> | <i>0,00408**</i> | <i>0,361<sup>ns</sup></i> | <i>0,0703<sup>ns</sup></i> | <i>0,0703<sup>ns</sup></i> | <i>0,488<sup>ns</sup></i> |
|       | Palmerais          | B  | 1,33 ± 0,33a       | 14,67 ± 0,67a             | 84,00 ± 0,67c    | 1,67 ± 1,27a              | 1,76 ± 0,02a               | 33,76 ± 0,90a              | 57,24 ± 0,39a             |
|       | Cacaoyère          |    | 38,00 ± 2,08c      | 16,00 ± 1,00ab            | 46,33 ± 1,45a    | 9,58 ± 2,12a              | 1,63 ± 0,03a               | 38,50 ± 1,17a              | 58,99 ± 0,82a             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 18,33 ± 6,17b      | 19,00 ± 1,00b             | 62,67 ± 6,03b    | 28,70 ± 2,36a             | 1,72 ± 0,07a               | 35,09 ± 2,54a              | 58,66 ± 0,90a             |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00141</i>     | <i>0,0365</i>             | <i>0,00105</i>   | <i>0,091</i>              | <i>0,207</i>               | <i>0,209</i>               | <i>0,28</i>               |
| Zép   | Palmerais          | A  | 2,33 ± 0,33a       | 12,33 ± 1,20a             | 85,34 ± 0,88b    | 0,0 ± 0,0a                | 1,34 ± 0,04a               | 49,45 ± 1,67a              | 53,79 ± 0,24a             |
|       | Cacaoyère          |    | 13,0 ± 2,65ab      | 19,33 ± 2,19a             | 67,67 ± 4,70ab   | 17,76 ± 4,50a             | 1,38 ± 0,07a               | 48,08 ± 2,45a              | 56,39 ± 0,95a             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 21,33 ± 5,17b      | 20,0 ± 2,08a              | 58,67 ± 6,89a    | 5,88 ± 0,98a              | 1,50 ± 0,02a               | 43,54 ± 0,90a              | 55,47 ± 1,36a             |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0201</i>      | <i>0,0503</i>             | <i>0,0211</i>    | <i>0,064</i>              | <i>0,126</i>               | <i>0,122</i>               | <i>0,234</i>              |
|       | Palmerais          | B  | 2,0 ± 0,0a         | 13,0 ± 0,0a               | 85,00 ± 0,0c     | 0,0 ± 0,0a                | 1,68 ± 0,07a               | 36,59 ± 2,53a              | 57,12 ± 0,05a             |
|       | Cacaoyère          |    | 26,33 ± 2,33b      | 22,00 ± 1,0c              | 51,67 ± 1,76b    | 41,21 ± 4,29b             | 1,65 ± 0,02a               | 37,88 ± 0,82a              | 59,34 ± 1,0a              |
|       | Champ d'hévéa      |    | 42,0 ± 3,06c       | 17,67 ± 0,88b             | 40,33 ± 3,18a    | 18,40 ± 4,75ab            | 1,62 ± 0,05a               | 39,12 ± 1,73a              | 60,42 ± 1,80a             |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0000432</i>   | <i>0,000525</i>           | <i>0,0000137</i> | <i>0,045</i>              | <i>0,642</i>               | <i>0,640</i>               | <i>0,216</i>              |
| Tah   | Palmerais          | A  | 5,0 ± 1,0a         | 11,67 ± 0,67a             | 80,33 ± 1,45b    | 0,0 ± 0,0                 | 1,36 ± 0,03b               | 48,73 ± 0,99b              | 53,38 ± 0,23a             |
|       | Cacaoyère          |    | 22,33 ± 2,33b      | 22,67 ± 2,33b             | 55,00 ± 1,45a    | 0,0 ± 0,0                 | 1,20 ± 0,01a               | 54,92 ± 0,26c              | 54,28 ± 0,55a             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 5,67 ± 0,88a       | 18,0 ± 0,58ab             | 76,33 ± 0,88b    | 0,0 ± 0,0                 | 1,58 ± 0,01c               | 40,58 ± 0,45a              | 55,70 ± 0,76a             |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,000338</i>    | <i>0,0215</i>             | <i>0,0000196</i> | <i>nd</i>                 | <i>0,0000132</i>           | <i>0,0000132</i>           | <i>0,066</i>              |
|       | Palmerais          | B  | 1,67 ± 0,33a       | 12,67 ± 0,33a             | 85,66 ± 0,67b    | 1,52 ± 0,40a              | 1,72 ± 0,03b               | 35,21 ± 1,11a              | 56,83 ± 0,21a             |
|       | Cacaoyère          |    | 29,33 ± 5,78b      | 17,67 ± 2,03ab            | 53,0a ± 7,81a    | 0,0 ± 0a                  | 1,49 ± 0,01a               | 43,86 ± 0,33b              | 61,68 ± 0,63b             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 11,67 ± 1,20a      | 21,67 ± 1,76b             | 66,66 ± 3,0ab    | 6,90 ± 0,70b              | 1,76 ± 0,02b               | 33,73 ± 0,72a              | 59,58 ± 0,96ab            |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00347</i>     | <i>0,0186</i>             | <i>0,00897</i>   | <i>0,000104</i>           | <i>0,0002</i>              | <i>0,0002</i>              | <i>0,00662</i>            |

Tableau III : Paramètre physique des sols étudiés (Suite et fin)

| Sites              | Type d'usage       | Hz               | Granulométrie (pc) |                 |                  | EG (pc)        | Da (g.cm <sup>-3</sup> ) | Pt (pc)          | S-eau (mm)     |
|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------------|------------------|----------------|
|                    |                    |                  | Argile             | Limon           | Sable            |                |                          |                  |                |
| Pay                | Palmeraie          | A                | 4,56 ± 1,87a       | 14,44 ± 1,81a   | 81,0 ± 3,42b     | 00 ± 00a       | 1,39 ± 0,04a             | 47,74 ± 1,53b    | 53,93 ± 0,54a  |
|                    | Cacaoyère          |                  | 20,33 ± 3,22b      | 21,44 ± 1,94b   | 58,23 ± 4,81a    | 7,77 ± 5,21b   | 1,33 ± 0,07a             | 49,87 ± 2,68b    | 55,51 ± 0,85b  |
|                    | Champ d'hévéa      |                  | 16,89 ± 5,83b      | 19,22 ± 1,35b   | 63,89 ± 6,56a    | 4,33 ± 4,41ab  | 1,55 ± 0,03b             | 41,68 ± 1,30a    | 55,46 ± 0,83b  |
|                    | <i>Valeur de p</i> |                  | <i>0,000257</i>    | <i>0,000147</i> | <i>0,0000363</i> | <i>0,0307</i>  | <i>0,0000735</i>         | <i>0,0000730</i> | <i>0,0256</i>  |
|                    | Palmerais          | B                | 1,67 ± 0,29a       | 13,44 ± 0,65a   | 84,89 ± 0,76b    | 1,04 ± 0,80a   | 1,72b ± 0,04b            | 35,19 ± 1,62a    | 57,07a ± 0,24a |
|                    | Cacaoyère          |                  | 31,22 ± 4,47b      | 18,56 ± 1,98b   | 50,22 ± 4,43a    | 16,93 ± 11,04b | 1,59 ± 0,05a             | 40,08 ± 1,80b    | 60,00 ± 1,03b  |
|                    | Champ d'hévéa      |                  | 24,0 ± 8,70b       | 19,44 ± 1,50b   | 56,56 ± 8,10a    | 18,0 ± 11,07b  | 1,70 ± 0,06b             | 35,98 ± 2,11a    | 69,55 ± 1,20b  |
| <i>Valeur de p</i> | <i>0,00000336</i>  | <i>0,0000824</i> | <i>0,000000782</i> | <i>0,015</i>    | <i>0,00764</i>   | <i>0,00764</i> | <i>0,00094</i>           |                  |                |

Tap : tapeguhé ; Zép : Zepreguhé ; Tah : Tahiraguhé, Pay : A l'échelle du paysage ; Hz : Horions ; EG : Eléments Grossiers ; Da : densité apparente du sol ; Pt : porosité totale du sol ; S-eau : Stock en eau. *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$  ; nd : non déterminé.

### III.1.2.2 Caractéristiques chimiques des sols étudiés

#### III.1.2.2.1. Acidité, statut organique et phosphore assimilable

Le pHeau, les taux de matière organique (MO), de carbone organique (C), d'azote total (Nt) et de phosphore assimilable (Pass.) mesurés dans les sols sont consignés dans le tableau IV. Il en est de même pour le rapport C/Nt.

##### ➤ Cas du site de Tapéguhé

Dans le sol de Tapéguhé, le pHeau, la MO et le CO du sol ne varient pas significativement (*Anova*,  $p < 0,05$ ) dans les deux types d'horizons selon les modes d'usages des sols (Tableau IV). Cependant, une baisse de ces variables (pHeau, MO et le CO) est constatée avec la profondeur. En effet, dans les horizons A, le pHeau vaut  $6,3 \pm 0,36$  ;  $6,37 \pm 0,22$  et  $6,63 \pm 0,24$ , respectivement sous palmiers, sous cacaoyers et sous hévéas. Dans le même ordre, des pHeau de  $5,47 \pm 0,07$  ;  $6,13 \pm 0,09$  et  $5,73 \pm 0,29$  ont été mesurés dans les horizons B. Concernant la MO et le CO du sol, les teneurs obtenues dans les horizons A sont :  $17,77 \pm 5,65$  et  $10,33 \pm 3,28$  g.kg<sup>-1</sup> ;  $21,21 \pm 3,19$  et  $12,33 \pm 1,86$  g.kg<sup>-1</sup> et  $16,63 \pm 1,52$  et  $9,67 \pm 0,88$  g.kg<sup>-1</sup> mesurées sous palmiers, cacaoyers et hévéas. Les taux dans les horizons B sont dans le même ordre, :  $1,72 \pm 0,0$  et  $1,0 \pm 0,0$  g.kg<sup>-1</sup> ;  $9,17 \pm 0,57$  et  $5,33 \pm 0,33$  g.kg<sup>-1</sup> et  $14,33 \pm 5,73$  et  $8,33 \pm 3,33$  g.kg<sup>-1</sup>.

Quel que soit les types d'usage des sols, aucune différence significative (*Anova*,  $p > 0,05$ ) n'est observée entre les différentes teneurs en azote total (Nt) dans les horizons A. Il en est de même pour les ratios C/Nt ressortis de ces horizons. Dans le premier cas, les valeurs mesurées sont :  $1,0 \pm 0,0$  g.kg<sup>-1</sup> sous la palmeraie,  $1,33 \pm 0,33$  g.kg<sup>-1</sup> sous la cacaoyère et  $1,0 \pm 0,0$  g.kg<sup>-1</sup> sous la plantation d'hévéas pour les horizons A. Pour le second cas, les moyennes, dans le même ordre, sont :  $14,67 \pm 1,2$  ;  $13,0 \pm 1,0$  et  $14,0 \pm 0,0$ . Par contre, les moyennes de ces deux variables diffèrent (*Anova*,  $p < 0,05$ ) entre les horizons B :  $1,0 \pm 0,0$  et  $0,79 \pm 0,21$  g.kg<sup>-1</sup> pour les sols sous cacaoyers et sous hévéas, puis  $0,13 \pm 0,0$  g.kg<sup>-1</sup> observée sous les palmiers. Les ratios C/Nt correspondants sont, dans l'ordre croissant :  $8,0 \pm 0,0$  sous les palmiers,  $12,33 \pm 0,67$  sous la cacaoyère et  $15,0 \pm 1,0$  sous les hévéas.

Les moyennes de Pass. varient aussi significativement entre les mêmes types d'horizons pour les différents usages des sols (*Anova*,  $p < 0,001$ ) (Tableau IV). La cacaoyère et la palmeraie ont leurs horizons A plus fournis (respectivement :  $26,33 \pm 1,19$  g.kg<sup>-1</sup> et  $24,03 \pm 0,83$  g.kg<sup>-1</sup>) que celui de la plantation d'hévéas ( $7,8 \pm 0,65$  g.kg<sup>-1</sup>), qui a plutôt son horizon B

plus riche ( $24,57 \pm 3,76 \text{ g.kg}^{-1}$ ) que ceux des sols sous palmiers ( $15,67 \pm 1,58 \text{ g.kg}^{-1}$ ) et sols sous cacaoyers ( $1,03 \pm 0,03 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

➤ Cas du site de Zépréguhé

Le pHeau et Nt du sol de Zépréguhé baissent avec la profondeur comme à Tapéguhé, avec des valeurs du même ordre de grandeur dans les horizons A (pHeau et Nt proches respectivement de 6,4 et  $1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ ) et horizons B (pHeau légèrement inférieur à 6, quand Nt avoisine  $0,11 \text{ g.kg}^{-1}$ ). La MOS ou le COS, le Nt et le ratio C/Nt ne varient pas significativement (*Anova*,  $p > 0,05$ ) dans les horizons A des sols, ce qui est contraire (*Anova*,  $p < 0,05$ ) aux constats faits pour les horizons B. En effet, les horizons A sont marqués par des taux de MOS et COS de  $20,64 \pm 4,55$  et  $12,0 \pm 2,65 \text{ g.kg}^{-1}$  dans la cacaoyère,  $20,64 \pm 0,99$  et  $12,0 \pm 0,58 \text{ g.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $14,91 \pm 2,07$  et  $8,67 \pm 1,20 \text{ g.kg}^{-1}$  sous les palmiers. Ces taux dans les horizons B se présentent dans le même ordre comme suit :  $7,45 \pm 0,57$  et  $4,33 \pm 0,33 \text{ g.kg}^{-1}$  ;  $13,19 \pm 1,52$  et  $7,67 \pm 0,88 \text{ g.kg}^{-1}$  et  $1,72 \pm 0,0$  et  $1,0 \pm 0,0 \text{ g.kg}^{-1}$ .

Le Ratio C/Nt qui oscille entre 13 et 16 dans les horizons A ne permet pas ainsi de distinguer significativement (*Anova*,  $p > 0,05$ ) ces horizons A. Dans les horizons B, il a été observé graduellement des valeurs de  $11,67 \pm 0,33$  sous les hévéas,  $11,33 \pm 0,33$  dans la cacaoyère et  $9 \pm 0,0$  dans la palmeraie. Ces moyennes sont différentes de manière significative (*Anova*,  $p < 0,001$ ). Les horizons A comme les B sont différents (*Anova*,  $p < 0,001$ ) entre eux relativement à leurs taux de Pass. Les premiers ont des taux de  $40,87 \pm 1,74 \text{ g.kg}^{-1}$  dans les sols de palmiers contre  $21,57 \pm 2,95 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $3,87 \pm 1,01 \text{ g.kg}^{-1}$  dans la cacaoyère et les hévéas. Les seconds renferment  $27,07 \pm 0,9$  ;  $13,97 \pm 1,49$  et  $3,15 \pm 0,9 \text{ g.kg}^{-1}$  dans les cacaoyères, hévéas et palmiers.

➤ Cas du site de Tahiraguhé

Les différences observées entre les sols relativement au pH de leurs horizons A, à savoir,  $7,20 \pm 0,30$  dans la cacaoyère,  $6,17 \pm 0,12$  dans les hévéas et  $5,53 \pm 0,03$  dans la palmeraie sont ainsi très significatives (*Anova*,  $p < 0,05$ ). Dans les horizons B, les différences sont non significatives (*Anova*,  $p > 0,05$ ) :  $6,10 \pm 0,40$  sous les cacaoyers,  $5,57 \pm 0,13$  sous les palmiers et  $5,37 \pm 0,28$  sous les hévéas.

Dans les horizons A des sols des différents usages, les taux de MOS et de COS sont décroissants dans l'ordre qui suit :  $30,39 \pm 1,52$  et  $17,67 \pm 0,88 \text{ g.kg}^{-1}$  sous cacaoyers,  $18,92 \pm$

4,33 et  $11,0 \pm 2,52$  g.kg<sup>-1</sup> sous palmiers et  $15,48 \pm 2,98$  et  $9,0 \pm 1,73$  g.kg<sup>-1</sup> sous hévéas. Dans les Horizons B, les concentrations de MOS et de COS sous cacaoyers sont encore plus élevées ( $6,88 \pm 0,99$  et  $4,00 \pm 0,58$  g.kg<sup>-1</sup>), loin devant la concentration ressortie de la palmeraie ( $2,29 \pm 0,57$  et  $1,33 \pm 0,33$  g.kg<sup>-1</sup>), mais proche de celle de l'hévéa ( $5,16 \pm 0,02$  et  $3,00 \pm 0,00$  g.kg<sup>-1</sup>). Les taux de MOS et de COS diffèrent (*Anova*,  $p > 0,05$ ) à l'intérieur des horizons A et B.

Relativement à l'azote total, les teneurs ne varient pas significativement (*Anova*,  $p > 0,05$ ) entre les horizons A en fonction des types d'usage des sols. Le cas des horizons B est au contraire significatif (*Anova*,  $p < 0,05$ ). Dans les horizons A, ce sont en moyenne  $1,67 \pm 0,33$  et  $1,0 \pm 0,0$  g.kg<sup>-1</sup> qui ont été obtenues sous les cacaoyers et sous les palmiers et hévéas, contre  $0,12 \pm 0,1$  ;  $1,0 \pm 0,0$  et  $0,74 \pm 0,26$  g.kg<sup>-1</sup> dans la palmeraie, cacaoyère et plantation hévéas dans les horizons B.

Pour les mêmes types d'horizons, les Ratio C/Nt sont similaires (*Anova*,  $p > 0,05$ ) ( $15,33 \pm 0,88$  à  $12,67 \pm 0,67$  pour les horizons A et  $13,67 \pm 0,88$  à  $10,67 \pm 1,67$  pour les horizons B) tandis que les taux de Pass sont très distincts (*Anova*,  $p < 0,001$ ) tant avec la profondeur, que spatialement. En effet, dans les horizons A, les taux sont estimés à  $87,93 \pm 66,04$  g.kg<sup>-1</sup> dans la palmeraie,  $44,17 \pm 1,91$  g.kg<sup>-1</sup> dans la plantation d'hévéas et  $37,9 \pm 9,83$  g.kg<sup>-1</sup> dans la cacaoyère. Par contre, dans les horizons B, les taux sont  $6,0 \pm 0,06$  g.kg<sup>-1</sup> dans la palmeraie,  $5,83 \pm 1,36$  g.kg<sup>-1</sup>, dans la plantation d'hévéas et  $14,93 \pm 0,52$  g.kg<sup>-1</sup> dans la cacaoyère.

#### ➤ A l'échelle du paysage

A l'échelle du paysage, pour les mêmes types d'horizons A et B, les moyennes du pHeau et des concentrations de MOS et de COS, ainsi que celle de Nt sont significatives (*Anova*,  $p < 0,05$ ). L'acidité est plus élevée dans l'horizon B. Les cacaoyères affichent les moyennes de pHeau les moins acides ( $6,71 \pm 0,17$  dans les horizons A et  $6,06 \pm 0,14$  dans les horizons B). Les plus faibles valeurs caractérisent les palmeraies ( $5,94 \pm 0,16$  dans les horizons A et  $5,51 \pm 0,05$  dans les horizons B). Dans les mêmes fosses, les taux de MOS et de COS dans les horizons A sont croissants dans l'ordre suivant :  $24,08 \pm 2,29$  et  $14,0 \pm 1,33$  g.kg<sup>-1</sup> sous cacaoyers,  $17,58 \pm 1,27$  et  $10,22 \pm 0,74$  g.kg<sup>-1</sup> sous hévéas et  $17,20 \pm 2,22$  et  $10,0 \pm 1,23$  g.kg<sup>-1</sup> sous palmiers. Dans les Horizons B, la MOS et le COS sont plus concentrés sous hévéas ( $10,89 \pm 2,24$  et  $6,33 \pm 1,30$  g.kg<sup>-1</sup>) et cacaoyers ( $7,84 \pm 0,51$  et  $4,56 \pm 0,29$  g.kg<sup>-1</sup>), et plus faible sous palmiers ( $1,91 \pm 0,19$  et  $1,11 \pm 0,11$  g.kg<sup>-1</sup>).

---

Les Ratios C/Nt dans les horizons A sont estimées respectivement à  $15,22 \pm 0,62$  sous la palmeraie,  $14,11 \pm 0,45$  sous les plantations d'hévéas et  $12,89 \pm 0,39$  sous la cacaoyère dans les horizons A. Pour les horizons B, les valeurs sont, dans l'ordre décroissant,  $13,44 \pm 0,63$  sous les hévéas ;  $11,89 \pm 0,42$  sous les cacaoyers et  $9,22 \pm 0,62$  sous les palmiers. Les valeurs moyennes des Ratios C/Nt dans les horizons A et B expriment une différence significative (*Anova*,  $p < 0,05$ ) entre les mêmes types d'horizon des sols. A propos du phosphore assimilable, les taux varient significativement (*Anova*,  $p < 0,05$ ) aussi bien entre les horizons A, qu'entre les horizons B, les concentrations les plus importantes ayant été observées sous les palmeraies ( $50,94 \pm 21,33$  et  $28,94 \pm 3,9$  g.kg<sup>-1</sup> dans les horizons A et B) et les plus faibles sous les plantations d'hévéas ( $18,61 \pm 6,45$  et  $14,79 \pm 2,98$  g.kg<sup>-1</sup> dans les horizons A et B).

Tableau IV : Acidité, statut organique et phosphore assimilable des sols étudiés

| Sites | Types d'usage      | Hz | pHeau          | MO (g.kg <sup>-1</sup> ) | CO (g.kg <sup>-1</sup> ) | Nt (g.kg <sup>-1</sup> ) | Ratio C/N       | Pass (g.kg <sup>-1</sup> ) |
|-------|--------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|----------------------------|
| Tap   | Palmeraie          | A  | 6,3 ± 0,36a    | 17,77a ± 5,65a           | 10,33a ± 3,28a           | 1,0a ± 0,0a              | 14,67a ± 1,2a   | 24,03b ± 0,83b             |
|       | Cacaoyère          |    | 6,37 ± 0,22a   | 21,21a ± 3,19a           | 12,33a ± 1,86a           | 1,33a ± 0,33a            | 13,0a ± 1,0a    | 26,33b ± 1,19b             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 6,63 ± 0,24a   | 16,63a ± 1,52a           | 9,67a ± 0,88a            | 1,0 a ± 0,0a             | 14,00a ± 0,0a   | 7,80a ± 0,65a              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,689</i>   | <i>0,696</i>             | <i>0,696</i>             | <i>0,442</i>             | <i>0,468</i>    | <i>0,0000139</i>           |
|       | Palmeraie          | B  | 5,47 ± 0,07a   | 1,72 ± 0,0a              | 1,0 ± 0,0a               | 0,13 ± 0,0a              | 8,0 ± 0,0a      | 1,03 ± 0,03a               |
|       | Cacaoyère          |    | 6,13 ± 0,09a   | 9,17 ± 0,57a             | 5,33 ± 0,33a             | 1,0 ± 0,0a               | 12,33 ± 0,67b   | 15,67 ± 1,58b              |
|       | Champ d'hévéa      |    | 5,73 ± 0,29a   | 14,33 ± 5,73a            | 8,33 ± 3,33a             | 0,79 ± 0,21b             | 15,00 ± 1,00b   | 24,57 ± 3,76c              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0823</i>  | <i>0,0925</i>            | <i>0,0925</i>            | <i>0,00591</i>           | <i>0,00112</i>  | <i>0,00118</i>             |
| Zép   | Palmeraie          | A  | 6,00 ± 0,12a   | 14,91a ± 2,07a           | 8,67a ± 1,20a            | 1,00a ± 0,0a             | 16,33b ± 0,88a  | 40,87c ± 1,74c             |
|       | Cacaoyère          |    | 6,57 ± 0,07b   | 20,64a ± 4,55a           | 12,00a ± 2,65a           | 1,33a ± 0,33a            | 13,00a ± 0,58a  | 21,57b ± 2,95b             |
|       | Champ d'hévéa      |    | 6,17 ± 0,07a   | 20,64a ± 0,99a           | 12,00a ± 0,58a           | 1,00a ± 0,0a             | 13,0a ± 0,58a   | 3,87a ± 1,01a              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00895</i> | <i>0,348</i>             | <i>0,348</i>             | <i>0,422</i>             | <i>0,0221</i>   | <i>0,0000465</i>           |
|       | Palmeraie          | B  | 5,50 ± 0,0a    | 1,72 ± 0,0a              | 1,0 ± 0,0a               | 0,11 ± 0,0a              | 9,0a ± 0,0      | 0,0 ± 0,0a                 |
|       | Cacaoyère          |    | 5,93 ± 0,22a   | 7,45 ± 0,57b             | 4,33 ± 0,33b             | 1,00 ± 0,0b              | 11,33b ± 0,33   | 27,07 ± 0,9b               |
|       | Champ d'hévéa      |    | 5,83 ± 0,18a   | 13,19 ± 1,52c            | 7,67 ± 0,88c             | 0,83 ± 0,0b              | 11,67b ± 0,33   | 13,97 ± 1,49c              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,222</i>   | <i>0,000406</i>          | <i>0,000406</i>          | <i>0,00135</i>           | <i>0,000864</i> | <i>0,0000043</i>           |
| Tah   | Palmeraie          | A  | 5,53 ± 0,03a   | 18,92 ± 4,33ab           | 11,0ab ± 2,52ab          | 1,0a ± 0,0a              | 14,67a ± 1,20a  | 87,93 ± 66,04c             |
|       | Cacaoyère          |    | 7,20 ± 0,30b   | 30,39 ± 1,52b            | 17,67b ± 0,88b           | 1,67a ± 0,33a            | 12,67a ± 0,67a  | 37,9 ± 9,83a               |
|       | Champ d'hévéa      |    | 6,17 ± 0,12a   | 15,48 ± 2,98a            | 9,0a ± 1,73a             | 1,0a ± 0,0a              | 15,33a ± 0,88a  | 44,17 ± 1,91b              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00219</i> | <i>0,0357</i>            | <i>0,0357</i>            | <i>0,0787</i>            | <i>0,196</i>    | <i>0,000063</i>            |
|       | Palmeraie          | B  | 5,57 ± 0,13a   | 2,29 ± 0,57ab            | 1,33 ± 0,33a             | 0,12 ± 0,1a              | 10,67 ± 1,67a   | 6,0 ± 0,06a                |
|       | Cacaoyère          |    | 6,10 ± 0,40a   | 6,88 ± 0,99              | 4,00 ± 0,58b             | 1,0 ± 0,0b               | 12,00 ± 1,15a   | 14,93 ± 0,52b              |
|       | Champ d'hévéa      |    | 5,37 ± 0,28a   | 5,16 ± 0,0ab             | 3,00 ± 0,0ab             | 0,74 ± 0,26ab            | 13,67 ± 0,88a   | 5,83 ± 1,36a               |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,266</i>   | <i>0,00761</i>           | <i>0,00761</i>           | <i>0,0161</i>            | <i>0,32</i>     | <i>0,000388</i>            |

Tableau IV : Acidité, statut organique et phosphore assimilable des sols étudiés (Suite et fin)

| Sites | Types d'usage      | Hz | pHeau          | MO (g.kg <sup>-1</sup> ) | CO (g.kg <sup>-1</sup> ) | Nt (g.kg <sup>-1</sup> )    | Ratio C/N        | Pass (g.kg <sup>-1</sup> ) |
|-------|--------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|
|       | Palmeraie          | A  | 5,94 ± 0,16a   | 17,20 ± 2,22a            | 10,0 ± 1,29a             | 1,0 ± 0,0a                  | 15,22 ± 0,62b    | 50,94 ± 21,33c             |
|       | Cacaoyère          |    | 6,71 ± 0,17b   | 24,08 ± 2,29b            | 14,0 ± 1,33b             | 1,44 ± 0,18b                | 12,89 ± 0,39a    | 28,6 ± 3,84b               |
|       | Champ d'hévéa      |    | 6,32 ± 0,11ab  | 17,58 ± 1,27a            | 10,22 ± 0,74a            | 1,0 ± 0,0a                  | 14,11 ± 0,45ab   | 18,61 ± 6,45a              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00448</i> | <i>0,037</i>             | <i>0,037</i>             | <i>0,00592</i>              | <i>0,0107</i>    | <i>0,0000221</i>           |
| Pay   | Palmeraie          | B  | 5,51 ± 0,05a   | 1,91 ± 0,19a             | 1,11 ± 0,11a             | 0,12 ± 0,0a                 | 9,22 ± 0,62a     | 28,94 ± 3,9c               |
|       | Cacaoyère          |    | 6,06 ± 0,14b   | 7,84 ± 0,51b             | 4,56 ± 0,29b             | 1,0 ± 0,0b                  | 11,89 ± 0,42b    | 19,22 ± 2,04b              |
|       | Champ d'hévéa      |    | 5,64 ± 0,14ab  | 10,89 ± 2,24b            | 6,33 ± 1,30b             | 0,93 ± 0,07b                | 13,44 ± 0,63b    | 14,79 ± 2,98a              |
|       | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00875</i> | <i>0,000271</i>          | <i>0,000271</i>          | <i>5,71 e<sup>-14</sup></i> | <i>0,0000789</i> | <i>0,000110</i>            |

Tap : tapeguhé ; Zép : Zepreguhé ; Tah : Tahiraguhé, Pay : A l'échelle du paysage ; Hz : Horions ; MOS : Matière organique du sol ; COS : Carbone organique du sol ; Nt : Azote total ; Ratio C/N : Rapport Carbone sur Azote total ; Pass : Phosphore assimilable. *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

### III.1.2.2.2. Complexe adsorbant

Les moyennes des variables du complexe adsorbant, à savoir, le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), la capacité d'échange cationique (CEC), la somme des bases d'échangeable (SBE) et le taux de saturation des bases échangeables (V) sont reportées dans le tableau V.

#### ➤ Cas du site du Tapéguhé

Les teneurs en calcium ( $3,43 \pm 0,97$  à  $4,15 \pm 1,65 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), en magnésium ( $0,73 \text{ cmol.kg}^{-1}$  environ sous les trois types de culture) et en sodium ( $0,02 \pm 0,02$  à  $0,04 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) sont similaires (*Anova*,  $p > 0,05$ ) dans les horizons A des sols étudiés (Tableau V). Ces couches ont également leurs CEC ( $12,47 \pm 1,27$  à  $15,4 \pm 1,91 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), SBE ( $4,29 \pm 1,14$  à  $5,13 \pm 1,8 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) et V ( $31,61 \pm 6,94$  à  $33,54 \pm 5,69 \text{ pc}$ ) similaires (*Anova*,  $p > 0,05$ ). Par contre, les teneurs en potassium ( $0,09 \pm 0,03 \text{ cmol.kg}^{-1}$  dans le sol de la palmeraie,  $0,22 \pm 0,04 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous la cacaoyère et  $0,20 \pm 0,01 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les hévéas) permettent de distinguer significativement les sols (*Anova*,  $p < 0,05$ ).

Dans les horizons B, toutes ces variables sont très différentes (*Anova*,  $p < 0,05$ ) d'un site à un autre (Tableau V). En effet, les teneurs en calcium y sont estimées à  $2,7 \pm 1,39$  ;  $1,9 \pm 1,07$  et  $0,28 \pm 0,1 \text{ cmol.kg}^{-1}$  dans les sols de cacaoyers, hévéas et palmiers quand celles de magnésium valent, dans le même ordre :  $0,96 \pm 0,18$  ;  $0,57 \pm 0,15$  et  $0,14 \pm 0,03 \text{ cmol.kg}^{-1}$ . Les sols de cacaoyers et d'hévéas, avec les teneurs de sodium respectives de  $0,01 \pm 0,01$  et  $0,03 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$ , ont deux à six fois la concentration du sol de palmiers ( $0,005 \pm 0,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), qui semble dépourvu en cet élément. Relativement à la CEC, respectivement  $14,03 \pm 1,19$  ;  $11,67 \pm 0,33$  et  $10,0 \pm 0,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sont ressortis des sols de cacaoyers, hévéas et palmiers. Les valeurs de SBE obtenues dans les horizons B traduisent des écarts plus importants (*Anova*,  $p < 0,05$ ) entre les sols :  $2,64 \pm 1,17 \text{ cmol.kg}^{-1}$  pour le sol d'hévéas contre  $0,1 \pm 0,0$  et  $0,9 \pm 0,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$  pour les sols de palmiers et de cacaoyers. C'est le cas aussi avec les valeurs de V mesurées dans les horizons B, qui sont, dans le même ordre :  $22,16 \pm 9,21$  ;  $1,0 \pm 0,0$  et  $6,5 \pm 0,51 \text{ pc}$ . Dans les horizons A, les valeurs moyennes des SBE ( $4,29 \pm 1,14$  sous palmeraie ;  $5,13 \pm 1,80$  sous la plantation d'hévéas ;  $5,13 \pm 1,80$  sous la cacaoyère) et le V ( $33,54 \pm 5,69$  sous palmeraie ;  $31,86 \pm 4,68$  sous la plantation d'hévéas ;  $31,61 \pm 6,94$  sous la cacaoyère) ne présentent pas de différence significative (*Anova*,  $p > 0,05$ ).

➤ Cas du site du Zépréguhé

Les teneurs de calcium varient significativement (*Anova*,  $p < 0,05$ ) (Tableau V) dans les horizons A et B des sols. Pour le cas des horizons A, les teneurs sont décroissantes de la cacaoyère ( $5,49 \pm 0,9$  cmol.kg<sup>-1</sup>) à la palmeraie ( $1,65 \pm 0,5$  cmol.kg<sup>-1</sup>) via la plantation d'hévéas ( $2,56 \pm 0,42$  cmol.kg<sup>-1</sup>). Dans les horizons B, les plus fortes concentrations sont celles des sols sous hévéas ( $2,4 \pm 0,47$  cmol.kg<sup>-1</sup>) et cacaoyers ( $2,2 \pm 0,83$  cmol.kg<sup>-1</sup>) et la plus faible, celle du sol sous palmiers ( $0,01 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup>).

Les valeurs moyennes de la SBE et du V varient significativement (*Anova*,  $p < 0,05$ ) dans les horizons A et B des sols étudiés : dans les horizons A, la SBE est plus élevée dans le sol sous cacaoyers ( $6,48 \pm 1,07$  cmol.kg<sup>-1</sup>), suivi du sol sous hévéas ( $4,48 \pm 0,53$  cmol.kg<sup>-1</sup>) et plus faible sous palmiers ( $2,26 \pm 0,56$  cmol.kg<sup>-1</sup>). Dans les horizons B les cacaoyers ( $3,29 \pm 0,87$  cmol.kg<sup>-1</sup>) et les hévéas ( $3,3 \pm 0,22$  cmol.kg<sup>-1</sup>) affichent des valeurs similaires, très supérieures à celle de la palmeraie ( $0,18 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup>). La plantation d'hévéas, la cacaoyère et la palmeraie sont classées dans cet ordre comme étant de moins en moins saturées en bases, tant dans l'horizon A avec respectivement  $42,8 \pm 3,37$  ;  $34,98 \pm 3,21$  ;  $19,0 \pm 3,99$  cmol.kg<sup>-1</sup> que dans l'horizon B marqué par des valeurs de  $23,67 \pm 5,3$  ;  $22,64 \pm 2,04$  ;  $1,65 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup>.

Par ailleurs, les concentrations en potassium et la CEC ont une variation importante (*Anova*,  $p < 0,05$ ), mais limitée à l'horizon B, où pour le potassium, une teneur quasi nulle a été observée dans le sol de la palmeraie ( $0,0 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup>) contre  $0,28 \pm 0,04$  et  $0,24 \pm 0,04$  cmol.kg<sup>-1</sup> dans les sols de la cacaoyère et la plantation d'hévéas. Les concentrations ressorties des horizons A sont comprises entre  $0,06 \pm 0,01$  mesuré sous les palmiers et  $0,20 \pm 0,06$  cmol.kg<sup>-1</sup> mesuré sous les hévéas. Au niveau de la CEC, les horizons B affichent  $14,7 \pm 1,21$  cmol.kg<sup>-1</sup> sous les hévéas,  $13,53 \pm 0,87$  cmol.kg<sup>-1</sup> sous les cacaoyers et  $10,9 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup> sous les palmiers. Pour les horizons A, les valeurs s'élèvent de  $11,7 \pm 0,46$  cmol.kg<sup>-1</sup> sous les palmiers à  $14,97 \pm 1,33$  cmol.kg<sup>-1</sup> sous les cacaoyers.

S'agissant des teneurs en magnésium et en sodium, on observe aucune différence significative (*Anova*,  $p > 0,05$ ) entre les moyennes des teneurs dans les horizons A et B. Pour le premier cas, les fluctuations observées dans les horizons A se situent entre  $0,54 \pm 0,9$  cmol.kg<sup>-1</sup> dans la palmeraie et  $0,78 \pm 0,15$  cmol.kg<sup>-1</sup> dans la cacaoyère. Dans l'horizon B, le sol de la palmeraie a le plus faible taux ( $0,17 \pm 0,0$  cmol.kg<sup>-1</sup>) contre le sol de la cacaoyère, le plus fourni ( $0,8 \pm 0,27$  cmol.kg<sup>-1</sup>). Les teneurs des horizons A en sodium sont plus élevées sous les palmiers ( $0,10 \pm 0,1$  cmol.kg<sup>-1</sup>) et plus faibles sous les hévéas ( $0,08 \pm 0,03$  cmol.kg<sup>-1</sup>). Dans les horizons

B, la teneur est quasi nulle sous la palmeraie ( $0,0 \pm 0,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) et estimée à  $0,08 \pm 0,04 \text{ cmol.kg}^{-1}$ , la plus grande valeur sous les hévéas.

➤ Cas du site de Tahiraguhé

Sur le site de Tahiraguhé, les teneurs en calcium, en potassium et en magnésium, les taux de saturation en bases et la somme des bases échangeables distinguent (*Anova*,  $p < 0,05$ ) les horizons A ou B des sols de manière plus ou moins significative (Tableau V).

Plus précisément, on note que la concentration de calcium dans l'horizon A du sol sous les cacaoyers ( $10,57 \pm 1,76 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) est environ quatre fois plus relevée que celle du sol sous les hévéas ( $2,67 \pm 0,75 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), elle-même avoisinant le double de la valeur relevée dans le sol sous les palmiers ( $1,5 \pm 0,48 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ). Les écarts entre les valeurs ressorties des horizons B sont moindres :  $3,33 \pm 0,9 \text{ cmol.kg}^{-1}$  mesuré sous les cacaoyers,  $1,76 \pm 0,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $0,22 \pm 0,19 \text{ cmol.kg}^{-1}$  mesuré sous les palmiers.

Quant aux teneurs en potassium, les horizons A des sols sous hévéas renferment les plus grandes concentrations ( $0,68 \pm 0,01 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), devant les sols sous cacaoyers ( $0,37 \pm 0,1 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) et les sols sous palmiers ( $0,40 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ). Au niveau des horizons B, la concentration est plus élevée dans la cacaoyère ( $0,69 \pm 0,01 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) que dans les plantations d'hévéas ( $0,18 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) et de palmiers ( $0,13 \pm 0,04 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ).

Par ailleurs, les teneurs en magnésium ne sont apparues distinctes que dans les horizons B, où elles sont estimées à  $0,69 \pm 0,01 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous la cacaoyère,  $0,18 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous la plantation d'hévéas et  $0,13 \pm 0,04 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous la palmeraie. Le taux de saturation en bases atteint  $90,22 \pm 23,76 \text{ pc}$  dans l'horizon A du sol de la cacaoyère contre  $25,84 \pm 3,95$  et  $17,13 \pm 4,64 \text{ pc}$  dans les sols de la plantation d'hévéas et de la palmeraie. Les sommes des bases correspondantes à ces taux sont respectivement :  $12,14 \pm 2,17 \text{ cmol.kg}^{-1}$  ;  $3,31 \pm 0,83 \text{ cmol.kg}^{-1}$  et  $2,03 \pm 0,58 \text{ cmol.kg}^{-1}$ . Dans les horizons B, les taux décroissent dans le même sens, à savoir,  $29,8 \pm 6,37 \text{ pc}$  dans la cacaoyère,  $16,56 \pm 3,21 \text{ pc}$  dans la palmeraie et  $3,52 \pm 2,29 \text{ pc}$  dans la plantation d'hévéas, pour des sommes en bases de  $4,3 \pm 0,83 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers,  $2,07 \pm 0,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $0,37 \pm 0,24 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les palmiers.

Les teneurs en sodium, à l'opposé des variables précédemment décrites, ne distinguent guère de manière significative les horizons A ( $0 \text{ cmol.kg}^{-1}$  à  $0,02 \pm 0,01 \text{ cmol.kg}^{-1}$  issues de la cacaoyère et hévéaculture et de la palmeraie) ou B ( $0 \text{ cmol.kg}^{-1}$  à  $0,04 \pm 0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$  issues de la palmeraie et hévéaculture et de la cacaoyère) des sols. Les valeurs moyennes des taux de

magnésium qui varient entre  $0,47 \pm 0,0$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  obtenu sous la palmeraie et  $0,58 \pm 0,27$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  observé sous la cacaoyère, ces taux ne sont pas distincts de manière significative.

Comme dans le cas du magnésium, les différences constatées entre les moyennes de la CEC des horizons A ( $11,7 \pm 0,75$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous palmiers à  $14,5 \pm 2,06$  sous cacaoyers) des sols ne sont pas significatives (*Anova*,  $p > 0,05$ ) ; en revanche ces moyennes varient de manière significative (*Anova*,  $p < 0,001$ ) dans les horizons B :  $14,53 \pm 0,37$  ;  $12,5 \pm 0,0$  et  $10,5 \pm 0,0$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  mesurées dans la cacaoyère, sous les hévéas et dans la palmeraie.

➤ À l'échelle du paysage

Les caractéristiques des sols évaluées, notamment, les teneurs de calcium, potassium et sodium, la capacité d'échange cationique, la somme des bases d'échangeables et le taux de saturation en bases sont avérés très différents dans les sols pour les mêmes types d'horizons (*Anova*,  $p < 0,05$ ).

Les concentrations en sodium des sols étudiés varient de  $0,02 \pm 0,01$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les palmeraies et les cacaoyères à  $0,04 \pm 0,02$  sous les plantations d'hévéas dans les horizons A. ces teneurs ont varié de 0  $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les palmiers à  $0,03 \pm 0,02$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers et les hévéas dans les horizons B. Les valeurs moyennes des concentrations en sodium ne relèvent pas de différence significative entre les horizons A et B. Les taux en magnésium sous les palmeraies ( $0,56 \pm 0,07$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ), cacaoyères ( $0,90 \pm 0,16$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) et plantations d'hévéas ( $0,65 \pm 0,06$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) sont identiques (*Anova*,  $p > 0,05$ ) dans les horizons A. Par contre, les teneurs en magnésium des horizons B sont distingués (*Anova*,  $p < 0,05$ ) par les teneurs :  $0,15 \pm 0,002$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les palmiers,  $0,44 \pm 0,15$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $0,82 \pm 0,10$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers.

Concernant le taux en calcium, les horizons A sous les cacaoyers ( $6,73 \pm 1,23$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) étaient plus fournis que les hévéas ( $3,34 \pm 0,41$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) et les palmiers ( $2,19 \pm 0,46$   $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Dans les horizons B, le même constat a été fait :  $2,74 \pm 0,41$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  ;  $2,02 \pm 0,37$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  et  $0,17 \pm 0,07$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  mesurés dans les cacaoyères, hévéas et palmeraies.

Les concentrations en potassium les plus élevées s'observaient sous cacaoyers ( $0,26 \pm 0,04$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans l'horizon A et  $0,23 \pm 0,02$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans l'horizon B) et sous les hévéas ( $0,16 \pm 0,03$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans l'horizon A et  $0,17 \pm 0,03$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans l'horizon B), tandis que les plus faibles ont été observées sous les palmiers ( $0,09 \pm 0,01$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans l'horizon A et  $0,01 \pm 0,0$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  dans le B).

Les valeurs moyennes de la capacité d'échange cationique dans les horizons A est le suivant :  $11,96 \pm 0,47 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les palmeraies,  $12,96 \pm 0,58 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyères et  $14,03 \pm 0,46 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les plantations d'hévéas. Cet ordre reste inchangé pour les horizons B :  $10,47 \pm 0,13 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les palmeraies,  $12,96 \pm 0,58 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyères et  $14,03 \pm 0,46 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les plantations d'hévéas. La CEC est donc plus relevée dans les sols d'hévéas que les sols de cacaoyers et de palmiers à huile.

La somme des bases d'échangeables est quant à elle plus importante dans les sols de cacaoyers, suivis par les sols d'hévéas et de palmiers. En effet, dans les horizons A, les sols sous cacaoyers affichent  $7,92 \pm 1,38 \text{ cmol.kg}^{-1}$  contre  $4,18 \pm 0,44 \text{ cmol.kg}^{-1}$  et  $2,86 \pm 0,54 \text{ cmol.kg}^{-1}$  pour les sols sous hévéas et sous palmiers à huile. Cet ordre est le même pour les horizons B, où il est ressorti  $2,83 \pm 0,62 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les cacaoyères,  $2,67 \pm 0,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $0,22 \pm 0,08 \text{ cmol.kg}^{-1}$  sous les palmiers.

Le taux de saturation en bases, estimé à  $54,58 \pm 11,52$  et  $19,99 \pm 4,23$  pc dans les horizons A et B sous les cacaoyers, fait de ces sols les plus saturés. Les mêmes tendances sont observées en hévéaculture et dans les palmeraies avec respectivement  $30,89 \pm 2,39$  et  $20,46 \pm 3,04$  pc et  $23,23 \pm 3,54$  et  $2,06 \pm 0,76$  pc dans les couches A et B.

Tableau V : Complexe adsorbant des sols étudiés

| Site | Types d'usage      | Hz | Ca <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | Mg <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | K <sup>+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | Na <sup>+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | SBE (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | V (pc)         |
|------|--------------------|----|---|---|---|--|------------------------------|------------------------------|----------------|
| Tap  | Palmeraie          | A  | 3,43 ± 0,97a                              | 0,73 ± 0,14a                              | 0,09 ± 0,03a                            | 0,04 ± 0,02a                             | 12,47 ± 1,27a                | 4,29 ± 1,14a                 | 33,54 ± 5,69a  |
|      | Cacaoyère          |    | 4,15 ± 1,65a                              | 0,73 ± 0,09a                              | 0,22 ± 0,04b                            | 0,04 ± 0,04a                             | 15,4 ± 1,91a                 | 5,13 ± 1,8a                  | 31,61 ± 6,94a  |
|      | Champ d'hévéa      |    | 3,78 ± 0,98a                              | 0,73 ± 0,11a                              | 0,20 ± 0,01b                            | 0,02 ± 0,02a                             | 14,73 ± 0,79a                | 4,74 ± 0,89a                 | 31,86 ± 4,68a  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,92</i>                               | <i>0,999</i>                              | <i>0,0426</i>                           | <i>0,924</i>                             | <i>0,364</i>                 | <i>0,907</i>                 | <i>0,968</i>   |
|      | Palmeraie          | B  | 0,28 ± 0,1a                               | 0,14 ± 0,03a                              | 0,01 ± 0,0a                             | 0,0 ± 0,0a                               | 10,0 ± 0,0a                  | 0,1 ± 0,0a                   | 1,0 ± 0,0a     |
|      | Cacaoyère          |    | 2,7 ± 1,39c                               | 0,96 ± 0,18c                              | 0,17 ± 0,01b                            | 0,03 ± 0,02a                             | 14,03 ± 1,19b                | 0,9 ± 0,0a                   | 6,5 ± 0,51b    |
|      | Champ d'hévéa      |    | 1,9 ± 1,07b                               | 0,57 ± 0,15b                              | 0,16 ± 0,06b                            | 0,01 ± 0,01a                             | 11,67 ± 0,33ab               | 2,64 ± 1,17b                 | 22,16 ± 9,21c  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00163</i>                            | <i>0,00167</i>                            | <i>0,01744</i>                          | <i>0,174</i>                             | <i>0,0196</i>                | <i>0,003</i>                 | <i>0,00308</i> |
| Zép  | Palmeraie          | A  | 1,65 ± 0,5a                               | 0,54 ± 0,9a                               | 0,06 ± 0,01a                            | 0,01 ± 0,01a                             | 11,7 ± 0,46a                 | 2,26 ± 0,56a                 | 19,0 ± 3,99a   |
|      | Cacaoyère          |    | 5,49 ± 0,9b                               | 0,78 ± 0,15a                              | 0,19 ± 0,03a                            | 0,03 ± 0,03a                             | 14,97 ± 1,33a                | 6,48 ± 1,07b                 | 42,8 ± 3,37b   |
|      | Champ d'hévéa      |    | 2,56 ± 0,42ab                             | 0,64 ± 0,15a                              | 0,20 ± 0,06a                            | 0,08 ± 0,03a                             | 12,73 ± 0,44a                | 4,48 ± 0,53ab                | 34,98 ± 3,12b  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0159</i>                             | <i>0,477</i>                              | <i>0,109</i>                            | <i>0,217</i>                             | <i>0,0844</i>                | <i>0,0221</i>                | <i>0,00812</i> |
|      | Palmeraie          | B  | 0,01 ± 0,0a                               | 0,47 ± 0,0a                               | 0,0 ± 0,0a                              | 0,0 ± 0,0a                               | 10,9 ± 0,0a                  | 0,18 ± 0,0a                  | 1,65 ± 0,0a    |
|      | Cacaoyère          |    | 2,2 ± 0,83b                               | 0,8 ± 0,27a                               | 0,28 ± 0,04b                            | 0,01 ± 0,01a                             | 13,53 ± 0,87ab               | 3,29 ± 0,87b                 | 23,67 ± 5,3b   |
|      | Champ d'hévéa      |    | 2,4 ± 0,47b                               | 0,58 ± 0,46a                              | 0,24 ± 0,04b                            | 0,08 ± 0,04a                             | 14,7 ± 1,21b                 | 3,30 ± 0,22b                 | 22,64 ± 2,04b  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0398</i>                             | <i>0,398</i>                              | <i>0,00322</i>                          | <i>0,115</i>                             | <i>0,0498</i>                | <i>0,00818</i>               | <i>0,00514</i> |
| Tah  | Palmeraie          | A  | 1,5 ± 0,48a                               | 0,41 ± 0,11a                              | 0,4 ± 0,02a                             | 0,02 ± 0,01a                             | 11,7 ± 0,75a                 | 2,03 ± 0,58a                 | 17,13 ± 4,64a  |
|      | Cacaoyère          |    | 10,57 ± 1,76b                             | 1,2 ± 0,46a                               | 0,37 ± 0,1a                             | 0,0 ± 0,0a                               | 14,5 ± 2,06a                 | 12,14 ± 2,17b                | 90,22 ± 23,76c |
|      | Champ d'hévéa      |    | 2,67 ± 0,75a                              | 0,58 ± 0,1a                               | 0,68 ± 0,01b                            | 0,0 ± 0,0a                               | 12,47 ± 1,33a                | 3,31 ± 0,83a                 | 25,84 ± 3,95b  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00262</i>                            | <i>0,193</i>                              | <i>0,0177</i>                           | <i>0,171</i>                             | <i>0,436</i>                 | <i>0,00401</i>               | <i>0,0206</i>  |
|      | Palmeraie          | B  | 0,22 ± 0,19a                              | 0,13 ± 0,04a                              | 0,02 ± 0,01a                            | 0,0 ± 0,0a                               | 10,5 ± 0,0a                  | 0,37 ± 0,24a                 | 3,52 ± 2,29a   |
|      | Cacaoyère          |    | 3,33 ± 0,9b                               | 0,69 ± 0,01b                              | 0,25 ± 0,04b                            | 0,04 ± 0,02a                             | 14,53 ± 0,37c                | 4,3 ± 0,83c                  | 29,8 ± 6,37c   |
|      | Champ d'hévéa      |    | 1,76 ± 0,4ab                              | 0,18 ± 0,02a                              | 0,12 ± 0,04ab                           | 0,0 ± 0,0a                               | 12,5 ± 0,0b                  | 2,07 ± 0,4b                  | 16,56 ± 3,21b  |
|      | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,026</i>                              | <i>0,0000139</i>                          | <i>0,00638</i>                          | <i>0,13</i>                              | <i>0,0000328</i>             | <i>0,00829</i>               | <i>0,0148</i>  |

Tableau V : Complexe adsorbant des sols étudiés (Suite et fin)

| Site               | Types d'usage      | Hz              | Ca <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | Mg <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | K <sup>+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | Na <sup>+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | SBE (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | V (pc)         |
|--------------------|--------------------|-----------------|---|---|---|--|------------------------------|------------------------------|----------------|
| Pay                | Palmeraie          | A               | 2,19 ± 0,46a                              | 0,56 ± 0,07a                              | 0,09 ± 0,01a                            | 0,02 ± 0,01a                             | 11,96 ± 0,47a                | 2,86 ± 0,54a                 | 23,23 ± 3,54a  |
|                    | Cacaoyère          |                 | 6,73 ± 1,23b                              | 0,90 ± 0,16a                              | 0,26 ± 0,04b                            | 0,02 ± 0,01a                             | 14,96 ± 0,91b                | 7,92 ± 1,38b                 | 54,58 ± 11,52b |
|                    | Champ d'hévéa      |                 | 3,34 ± 0,41a                              | 0,65 ± 0,06a                              | 0,16 ± 0,03ab                           | 0,04 ± 0,02a                             | 13,31 ± 0,56ab               | 4,18 ± 0,44a                 | 30,89 ± 2,39ab |
|                    | <i>Valeur de p</i> |                 | <i>0,00133</i>                            | <i>0,0929</i>                             | <i>0,00198</i>                          | <i>0,74</i>                              | <i>0,016</i>                 | <i>0,00151</i>               | <i>0,0114</i>  |
|                    | Palmeraie          | B               | 0,17 ± 0,07a                              | 0,15 ± 0,02a                              | 0,01 ± 0,0a                             | 0,0 ± 0,0a                               | 10,47 ± 0,13a                | 0,22 ± 0,08a                 | 2,06 ± 0,76a   |
|                    | Cacaoyère          |                 | 2,74 ± 0,41b                              | 0,82 ± 0,10b                              | 0,23 ± 0,02b                            | 0,03 ± 0,02a                             | 14,03 ± 0,46b                | 2,83 ± 0,62b                 | 19,99 ± 4,23b  |
|                    | Champ d'hévéa      |                 | 2,02 ± 0,37b                              | 0,44 ± 0,15ab                             | 0,17 ± 0,03b                            | 0,03 ± 0,02a                             | 12,96 ± 0,58b                | 2,67 ± 0,40b                 | 20,46 ± 3,04b  |
| <i>Valeur de p</i> | <i>0,0000222</i>   | <i>0,000762</i> | <i>0,000000404</i>                        | <i>0,11</i>                               | <i>0,0000181</i>                        | <i>0,000289</i>                          | <i>0,000255</i>              |                              |                |

Tap : tapeguhé ; Zép : Zepreguhé ; Tah : Tahiraguhé, Pay : A l'échelle du paysage ; Hz : Horizon ; Ca<sup>2+</sup> : Calcium ; Mg<sup>2+</sup> : Magnésium ; K<sup>+</sup> : Potassium ; Na<sup>+</sup> : Sodium ; CEC : Capacité d'Echange Cationique et SBE : Somme des Bases Echangeable, *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

### III.1.2.2.3. Oligo-éléments

Les oligo-éléments dosés dans les sols étudiés sont : le bore (B), le fer (Fe), le zinc (Zn) et l'aluminium (Al). Les teneurs obtenues figurent dans le tableau VI.

#### ➤ Cas de Tapéguhé

Les concentrations en Bore dans les horizons A sont estimées à  $0,19 \pm 0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les palmiers ;  $0,11 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers et  $0,07 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas. Les horizons B des sols sous les palmiers et cacaoyers semblent dépourvus de cet élément contrairement aux horizons B rencontrés sous les hévéas, où il a été dosé  $0,1 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Les différences décrites ainsi par rapport au Bore entre les horizons de même type sont significatives (*Anova*,  $p < 0,05$ ) (Tableau VI). Pareillement, les taux en Zinc se distinguent (*Anova*,  $p < 0,05$ ) sensiblement dans les horizons A et B. Dans les horizons A, ces taux se présentent dans l'ordre décroissant suivant :  $18,63 \pm 0,43 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas,  $16,27 \pm 0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers et  $11,97 \pm 0,74 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les palmiers. Le même ordre est de mise pour les horizons B :  $18,87 \pm 0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas,  $16,27 \pm 0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers et  $4,47 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les palmiers.

Les teneurs dans l'horizon A en fer d'une part ( $91,97 \pm 13,49$  sous hévéas et à  $137,25 \pm 15,03$  sous cacaoyers) et d'aluminium d'autre part  $845,0 \pm 79,08$  dans la palmeraie à  $962,0 \pm 11,33 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans la cacaoyère sont proche (*Anova*,  $p > 0,05$ ) contrairement aux teneurs de ces éléments dans l'horizon B (*Anova*,  $p < 0,05$ ). A ce niveau, le sol de la plantation d'hévéas est bien pourvu ( $244,17 \pm 18,57 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), loin devant les sols de la cacaoyère ( $66,95 \pm 0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et de la palmeraie ( $6,87 \pm 0,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Le sol sous hévéas, avec  $2743,0 \pm 13,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  d'aluminium, renferme plus cet élément chimique que les autres sols :  $2063 \pm 33,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le sol de la cacaoyère et  $793,0 \pm 143,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le sol sous palmiers.

#### ➤ Cas de Zépréguhé

Parmi les oligo-éléments dosés, seul le zinc a montré des concentrations non variables (*Anova*,  $p > 0,05$ ) dans le sol pour les mêmes types d'horizons des différents mode d'utilistaion des sols. Les taux les plus élevés (respectivement  $18,3 \pm 4,45$  et  $15,10 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans A et B) et plus faibles (respectivement,  $12,47 \pm 1,83$  et  $4,56 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans A et B) ont été observés dans les sols de la palmeraie et de la cacaoyère.

Les différences induites entre les mêmes types d'horizons des sols par les teneurs de Bore, Fer et Aluminium sont quant à elles significatives (*Anova*,  $p < 0,05$ ) (Tableau VI). En effet, une des remarques est que les plus fortes teneurs en Bore dans les horizons A ont été observées sous la cacaoyère ( $0,05 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et sous la plantation d'hévéas ( $0,13 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). La plus faible valeur ( $0,16 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a été mesurée sous la palmeraie, où par ailleurs, le Bore n'a pas été détecté dans l'horizon B, à l'image de l'horizon B sous les hévéas. L'horizon B sous les cacaoyers renfermait par contre  $0,03 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Bore.

Les taux de Fer mesurés dans les horizons A sont plus élevés dans les sols de la plantation d'hévéas ( $150,43 \pm 14,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et de la palmeraie ( $143,60 \pm 5,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et relativement faible sous la cacaoyère ( $40,7 \pm 6,47 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). La teneur dans l'horizon B du sol de la cacaoyère est, au contraire, beaucoup plus importante ( $146,17 \pm 8,74 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) que les autres teneurs dans l'horizon B des sols ; ces teneurs sont estimées à  $69,5 \pm 3,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $0,20 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous palmiers.

Les taux d'aluminium obtenus dans les horizons A évoluent approximativement du simple au double entre les sols de cacaoyers ( $130,0 \pm 56,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et hévéas ( $273,0 \pm 22,52 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), et similairement entre les sols d'hévéas et de palmiers ( $611,0 \pm 93,74 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Les horizons B des sols sous hévéas et cacaoyers ont des taux similaires d'aluminium ( $1121,0 \pm 206,82$  et  $1053,0 \pm 136,96 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) ; le taux d'aluminium du sol sous palmier est plus bas ( $819,0 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

#### ➤ Cas de Tahiraguhé

Dans les horizons A, les plus grandes quantités de Bore caractérisent les sols sous hévéas ( $0,29 \pm 0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et sous cacaoyers ( $0,27 \pm 0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) ; la teneur en bore ressortie du sol de la palmeraie est relativement très faible ( $0,07 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) par rapport aux deux (02) premières. Le contenu des horizons B révèle des teneurs de  $0,10 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les cacaoyers ;  $0,04 \pm 0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les palmiers et  $0,01 \pm 0,00 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas. Cette variation des quantités de Bore entre les trois (03) parcelles de cultures pérennes est significative (*Anova*,  $p < 0,05$ ) pour les mêmes types d'horizons. C'est le cas aussi pour la variation des taux de Fer et d'Aluminium dans les horizons A et B.

Pour le Fer, les sols de la palmeraie ( $252,13 \pm 22,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), de la plantation d'hévéas ( $126,37 \pm 11,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et de la cacaoyère ( $47,80 \pm 10,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) déterminent le sens du gradient décroissant des concentrations dans les horizons A. Au niveau des horizons B, les concentrations régressent dans le sens : sols de cacaoyers ( $168,6 \pm 15,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), sols de la

palmeraie ( $84,23 \pm 2,37 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et sols d'hévéas ( $39,6 \pm 8,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Concernant l'Aluminium, l'ordre de grandeur des taux mesurés dans les horizons A est l'inverse de celui des horizons B, c'est-à-dire :  $1118,0 \pm 219,85 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous la palmeraie,  $624,0 \pm 136,96 \text{ mg.kg}^{-1}$  sous les hévéas et  $195,0 \pm 22,52 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans la cacaoyère pour les horizons A, contre  $7748,0 \pm 5877,55 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans la cacaoyère,  $2236,0 \pm 329,65 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans les hévéas et  $793,0 \pm 208,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans la palmeraie pour le cas des horizons B.

Les quantités du Zinc mesurées se distinguent significativement (*Anova*,  $p < 0,001$ ) dans sols qu'au niveau des horizons B, où les teneurs diminuent progressivement de la cacaoyère ( $15,8 \pm 0,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) au champ d'hévéas ( $13,0 \pm 0,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), puis à la palmeraie ( $7,0 \pm 0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Pour les horizons A, les concentrations sont dans l'intervalle de  $11,4 \pm 1,79 \text{ mg.kg}^{-1}$  obtenus sous les palmiers à  $18,8 \pm 4,56 \text{ mg.kg}^{-1}$  issus des sols sous cacaoyers (Tableau VI).

➤ À l'échelle du paysage

De par leurs teneurs en Bore, les horizons A des sols sont proches (*Anova*,  $p > 0,05$ ) entre eux, ainsi que les horizons B. L'écart maximal entre les concentrations est de l'ordre de  $0,08 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour les couches A et  $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour les couches B. Les concentrations de Zinc se distinguent uniquement les horizons B des sols, les sols sous cacaoyers sont plus fournis ( $17,66 \pm 1,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et les sols sous palmiers sont les moins fournis ( $5,52 \pm 0,42 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). L'écart maximal entre les concentrations dans les couches A est d'environ  $3 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Pour chacune des situations présentées, les cacaoyères ont la plus grande concentration et les palmeraies, la plus faible (Tableau VI).

Les teneurs en Fer et en Aluminium affichent des écarts significatifs (*Anova*,  $p < 0,05$ ) entre les horizons A d'une part et les horizons B d'autre part. Les horizons A dans les palmeraies s'avèrent être les plus concentrés en ces deux éléments ( $166,42 \pm 22,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le Fer et  $858,0 \pm 118,79 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour l'aluminium) contrairement aux cacaoyères qui renferment les quantités les plus faibles ( $75,24 \pm 16,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le Fer et  $429,0 \pm 138,65 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour les cacaoyères). Dans les horizons B, la tendance observée est le contraire de celle des horizons A. En effet, les sols sous palmiers apparaissent comme étant les moins chargés ( $30,43 \pm 13,52 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le Fer et  $801,67 \pm 72,99 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour l'Aluminium) pendant que les plus grandes concentrations sont observées en général dans les sols sous cacaoyers ( $127,32 \pm 6,23 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le Fer et  $2933,67 \pm 2086 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour l'Aluminium).

Tableau VI : Oligo-éléments des sols étudiés

| Sites      | Types d'usage      | Hz | B (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Fe (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Zn (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Al (mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|------------|--------------------|----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tapeguhé   | Palmeraie          | A  | 0,19 ± 0,04b             | 112,53 ± 1,19a            | 11,97 ± 0,74a             | 845,0 ± 79,08a            |
|            | Cacaoyère          |    | 0,11 ± 0,03ab            | 137,25 ± 15,03a           | 16,27 ± 0,09b             | 962,0 ± 111,33a           |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,07 ± 0,01a             | 91,97 ± 13,49a            | 18,63 ± 0,43c             | 949,0a ± 56,67a           |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0364</i>            | <i>0,0872</i>             | <i>0,000225</i>           | <i>0,602</i>              |
|            | Palmerais          | B  | 0,0 ± 0,0a               | 6,87 ± 0,33a              | 4,47 ± 0,03a              | 793,0 ± 143a              |
|            | Cacaoyère          |    | 0,0 ± 0,0a               | 66,95 ± 0,55b             | 18,87 ± 0,59b             | 2063 ± 33,0b              |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,1 ± 0,01b              | 244,17 ± 18,57c           | 18,33 ± 3,13b             | 2743 ± 13,0c              |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0000971</i>         | <i>0,0000109</i>          | <i>0,0023</i>             | <i>0,00107</i>            |
| Zépréguhé  | Palmerais          | A  | 0,05 ± 0,0a              | 134,6 ± 5,95b             | 12,47 ± 1,83a             | 611 ± 93,74b              |
|            | Cacaoyère          |    | 0,16 ± 0,02b             | 40,7 ± 6,47a              | 11,07 ± 1,49a             | 130 ± 56,67a              |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,13 ± 0,01b             | 150,43 ± 14,45b           | 11,70 ± 0,96a             | 273 ± 22,52a              |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00358</i>           | <i>0,000425</i>           | <i>0,803</i>              | <i>0,00492</i>            |
|            | Palmeraie          | B  | 0,0 ± 0,0a               | 0,20 ± 0,0a               | 15,10 ± 0,0a              | 819,0 ± 0,0a              |
|            | Cacaoyère          |    | 0,03 ± 0,01b             | 146,17 ± 8,74c            | 18,30 ± 4,45a             | 1053 ± 136,96b            |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,0 ± 0,0a               | 69,5 ± 3,5b               | 14,0 ± 3,26a              | 1211 ± 206,82b            |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,00365</i>           | <i>0,00000422</i>         | <i>0,0646</i>             | <i>0,00193</i>            |
| Tahiraguhé | Palmerais          | A  | 0,07 ± 0,01a             | 252,13 ± 22,71c           | 11,4 ± 1,79a              | 1118 ± 219,85b            |
|            | Cacaoyère          |    | 0,27 ± 0,05b             | 47,80 ± 10,21a            | 18,8 ± 4,56a              | 195 ± 22,52a              |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,29 ± 0,04b             | 126,37 ± 11,98b           | 12,0 ± 2,1a               | 624 ± 136,96ab            |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,0155</i>            | <i>0,000301</i>           | <i>0,246</i>              | <i>0,0388</i>             |
|            | Palmeraie          | B  | 0,04 ± 0,0b              | 84,23 ± 2,37b             | 7,0 ± 0,6a                | 793 ± 208,0a              |
|            | Cacaoyère          |    | 0,10 ± 0,01c             | 168,6 ± 15,25c            | 15,8 ± 0,38c              | 7748 ± 5877,55c           |
|            | Champ d'hévéa      |    | 0,01 ± 0,0a              | 39,6 ± 8,05a              | 13,0 ± 0,72b              | 2236 ± 329,65b            |
|            | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,000107</i>          | <i>0,0003</i>             | <i>0,000112</i>           | <i>0,000145</i>           |

Tableau VI : Oligo-éléments des sols étudiés (Suite et fin)

| Sites                  | Type d'usage       | Hz | B (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Fe (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Zn (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Al (mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|--------------------|----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| A l'échelle du paysage | Palmerais          | A  | 0,1 ± 0,03a              | 166,42 ± 22,0b            | 11,94 ± 0,78a             | 858,0 ± 118,79c           |
|                        | Cacaoyère          |    | 0,18 ± 0,03a             | 75,24 ± 16,5a             | 15,38 ± 1,79a             | 429,0 ± 138,65a           |
|                        | Champ d'hévéa      |    | 0,16 ± 0,04a             | 122,92 ± 10,79ab          | 14,11 ± 1,32a             | 615,33 ± 106,76b          |
|                        | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,193</i>             | <i>0,00429</i>            | <i>0,218</i>              | <i>0,000195</i>           |
|                        | Palmeraie          | B  | 0,02 ± 0,01a             | 30,43 ± 13,52a            | 5,52 ± 0,42a              | 801,67 ± 72,99a           |
|                        | Cacaoyère          |    | 0,04 ± 0,02a             | 127,32 ± 6,23b            | 17,66 ± 1,38b             | 2933,67 ± 2086,16c        |
|                        | Champ d'hévéa      |    | 0,04 ± 0,02a             | 117,76 ± 32,44b           | 15,11 ± 1,55b             | 1659,67 ± 431,95b         |
|                        | <i>Valeur de p</i> |    | <i>0,249</i>             | <i>0,000943</i>           | <i>0,0000658</i>          | <i>0,000112</i>           |

Hz : Horions ; B : Bore ; Fe : Fer ; Zn : Zinc ; Al : Aluminium. *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

### III.1.3. Caractéristiques des peuplements des macro-invertébrés des sols des sites d'études

#### III.1.3.1. Composition des communautés des peuplements des macro-invertébrés des sols

Au total, 66 espèces ont été récoltées sur l'ensemble des sites d'échantillonnage. Elles se répartissent entre 39 familles, 16 ordres et 7 classes. Les classes rencontrées sont les clitellata, insectes, arachnida, diplopedes, chilopodes, malacostraca et les gastropodes (Tableau VII).

##### ➤ Site de Tapéguhé

À Tapeguhé, respectivement 38, 34 et 31 espèces de macro-invertébrés ont été récoltées dans la palmeraie, la cacaoyère et le champs d'hévéas. Ces espèces sont réparties en 24 familles dans la palmeraie et la cacaoyère et 23 familles dans le champ d'hévéas. Les espèces *Stuhlmannia palustris*, *Gordiodrilus paski*, *Gryllus megacephalus*, *Zonocerus variegatus*, *Schistocerca gregaria*, *Tetrix Subulata*, *Scolia* sp, *Pachycondyla analis*, *Dichotomius buqueti*, *Scarabaeus* sp, *Chrysolina* sp, *Laccotrephes bambesai*, *Pseudacanthotermes millitaris*, *Trinervitermes* sp, *Migrathena* sp sont restreintes à la palmeraie. Pour la cacaoyère, les espèces spécifiques sont : *Phloleogryllus geertsi*, *Calliphora vomitaria*, *Calliphora vicina*, *Eutrichota nigrifemur*, *Dysdercus voelkeri*, *Blatella* sp, *Pericapritermes* sp, *Odontotermes* sp, *Spirostreptidae* sp, *Tachypodoiulus niger*. En revanche, les espèces *Millsonia lamtoiana*, *Parcoblatta pensylvanica*, *Microtermes* sp, *Ancistrotermes crucifer*, *Grammostola* sp n'ont été rencontrées que dans le champ d'hévéas. On note quinze (15) espèces pour la palmeraie, huit (08) espèces pour la cacaoyère et cinq (5) espèces pour le champ d'hévéas. La cacaoyère et la palmeraie ont 5 espèces en commun, contre trois espèces pour la palmeraie et le champ d'hévéas et 7 espèces pour la cacaoyère et le champ d'hévéas. L'ensemble des trois (03) agrosystèmes ont en commun 16 espèces (Figure 20).

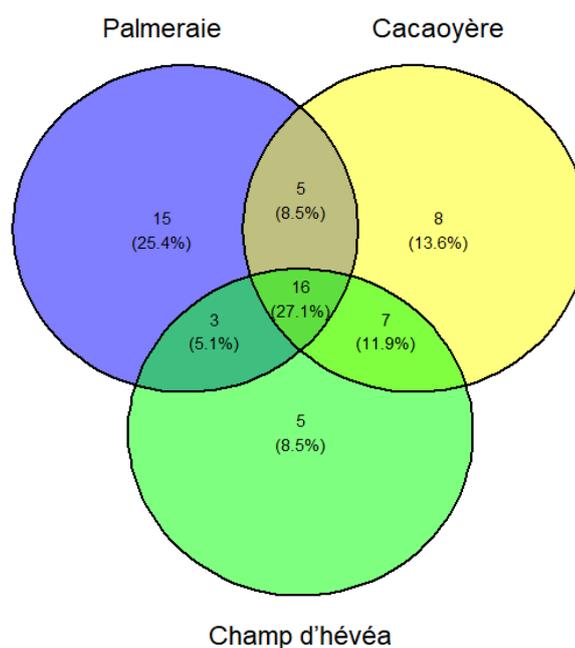


Figure 20 : Distribution des espèces selon les modes d'utilisation des sols à Tapeguhé

➤ Site de Zepreguhé

Les peuplements des macro-invertébrés récoltés à Zepreguhé dans la palmeraie, la cacaoyère et le champs d'hévéa sont constitués respectivement de 25, 41 et 20 espèces. Les espèces sont réparties en 18 familles pour la palmeraie, 29 dans la cacaoyère et 16 dans le champ d'hévéa. Les espèces *S. zielae*, *G. paski*, *G. megacephalus*, *P. millitaris*, *Amitermes evuncife*, *Lissachatina fulica*, *Bulimulus tenuissimus* sont restreintes à la palmeraie alors que *Millsonia omodeoi*, *Dichogaster erhrhardti*, *P. geertsi*, *Tettigonia viridissima*, *C. vomitaria*, *C. vicina*, *E. nigrifemur*, *Sarcophaga carnaria*, *Pheropsophus* sp, *D. voelkeri*, *Blatella* sp, *Pericapritermes* sp, *Ancistrotermes guineensis*, *Odontotermes* sp, *Macrotermes bellicosus*, *Heteropoda* sp, *Bithobius forficatus*, *Porcelio scaber*, *Lamellaxis clavulinus* ne se rencontrent que dans la cacaoyère. Par contre, aucune restriction d'espèces au champ d'hévéas n'a été constatée. On retient donc que : sept (07) espèces sont propres à la palmeraie, quand 19 et 0 espèces se présentent ainsi, dans cet ordre, pour la cacaoyère et le champ d'hévéas. Hormis ces 26 espèces, la cacaoyère et la palmeraie partagent trois (03) espèces, contre un (01) espèce pour la palmeraie et le champ d'hévéas et cinq (05) espèces pour la cacaoyère et le champ d'hévéas. L'ensemble des trois (03) agrosystèmes ont en commun quatorze (14) espèces (Figure 21).

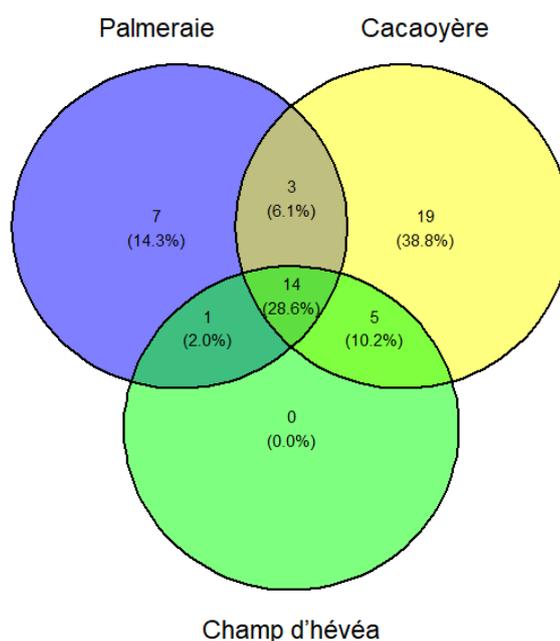


Figure 21 : Distribution des espèces selon les modes d'utilisation des sols à Zepreguhé

➤ Site de Tahiraguhé

Les peuplements des macro-invertébrés récoltés à Tahiraguhé dans la palmeraie, la cacaoyère et le champs d'hévéa sont constitués respectivement de 38, 34 et 31 espèces. Les espèces sont réparties en 24 familles dans la palmeraie et la cacaoyère et 23 familles dans le champ d'hévéa. Les espèces *G. paski*, *T. Subulata*, *Pheropsophus sp*, soit 4 espèces, sont propres à la palmeraie. Pour la cacaoyère, ce sont *M. omodeoi*, *Dichogaster baeri*, *Rhynocoris sp*, *Spirostreptidae sp*, *T. niger*, soit 5 espèces spécifiques qui ont été dénombrées. Les espèces restreintes au champ d'hévéas sont au nombre de 6, à savoir : *M. lamtoiana*, *D. papillosa*, *T. viridissima*, *P. pennsylvanica*, *P. scaber*, *L. clavulinus*. A l'exception de ces 15 espèces, respectivement 4, 3 et 7 espèces étaient communes, dans cet ordre à, la cacaoyère et la palmeraie, la palmeraie et le champ d'hévéas, puis la cacaoyère et le champ d'hévéas. L'ensemble des trois (03) agrosystèmes ont en commun 11 espèces (Figure 22).

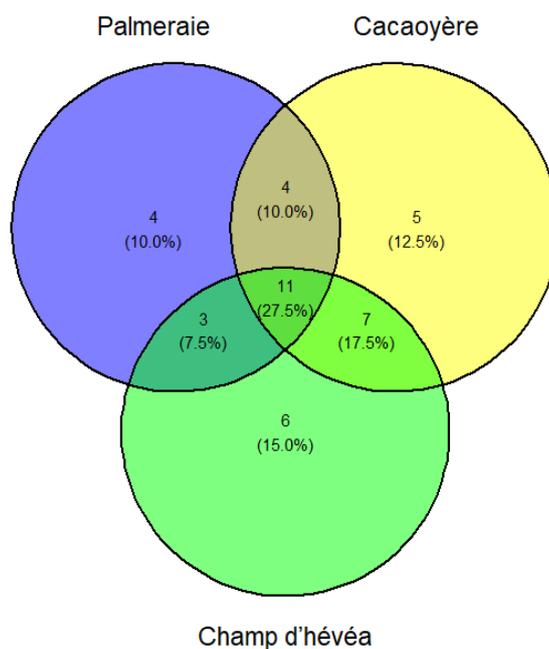


Figure 22 : Distribution des espèces selon les modes d'utilisation des sols à Tahiraguhé

➤ À l'échelle du paysage

Les peuplements des macro-invertébrés récoltés dans les palmeraies, cacaoyères et les champs d'hévéas sont constitués respectivement de 49, 45 et 39 espèces. Les espèces sont réparties en 49 familles dans les palmeraies, 45 dans les cacaoyères et 39 familles dans les champs d'hévéas (Tableau VII). Quinze espèces, à savoir, *S. palustris*, *G. paski*, *G. megacephalus*, *Z. variegatus*, *T. Subulata*, *Scolia* sp, *P. analis*, *D. buqueti*, *Scarabaeus* sp, *Chrysolina* sp, *L. bambesai*, *P. millitaris*, *Trinervitermes* sp, *A. evuncife*, *Migrathena* sp, *B. tenuissimus* n'ont été rencontrées que dans les palmeraies. D'autres espèces étaient aussi limitées aux deux agrosystèmes étudiés. Il s'agit de *D. baeri*, *C. vomitaria*, *C. vicina*, *E. nigrifemur*, *D. voelkeri*, *Pericapritermes* sp, *Odontotermes* sp, soit 6 espèces pour les cacaoyères, et de *M. lamtoiana*, *Microtermes* sp, soit trois espèces pour les champs d'hévéas. Il y a donc globalement 24 espèces limitées à l'un ou l'autre des agrosystèmes étudiés. Les espèces communes à au moins deux agrosystèmes sont réparties comme suit : 6 entre les cacaoyères et les palmeraies, 3 entre les palmeraies et les champs d'hévéas, puis 9 entre les cacaoyères et les champs d'hévéas. L'ensemble des trois agrosystèmes ont en commun 24 espèces (Figure 23).

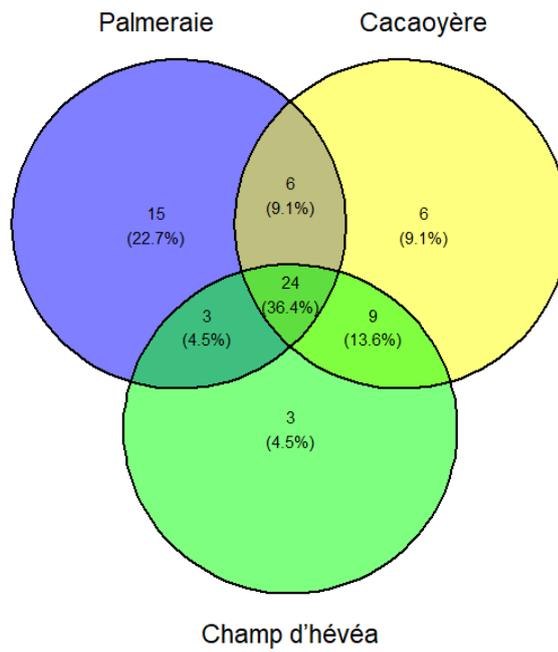


Figure 23 : Distribution des espèces selon les modes d'utilisation des sols à l'échelle du paysage

Tableau VII : Composition et occurrence des macro-invertébrés des sols étudiés (+ : présence, - : absence)

| Ordres  | Familles                                       | Espèces  | Sites et cultures |     |     |           |     |     |            |     |     | A l'échelle du paysage |     |     |
|---|--|--|-------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|   |  |  | Tapeguhé          |     |     | Zepreguhé |     |     | Tahiraguhé |     |     | Pal                    | Cac | Hev |
|   |  |  | Pal               | Cac | Hev | Pal       | Cac | Hev | Pal        | Cac | Hev |                        |     |     |
| Opisthopora                                   | Acanthodrilidae                                | <i>Millsonia lamtoiana</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967) | -                 | -   | +   | -         | -   | -   | -          | -   | +   | -                      | -   | +   |
|   |  | <i>M. omodeoi</i> (Sims, 1986)                       | +                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | +   | -   | +                      | +   | +   |
|   |  | <i>Dichogaster baeri</i> (Sciacchitano, 1952)        | -                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | +   | -   | -                      | +   | -   |
|   |  | <i>D. terraenigrae</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967)     | +                 | +   | +   | -         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|   |  | <i>D. saliens</i> (Beddard, 1893)                    | +                 | +   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | +   | -   |
|   |  | <i>D. erhrhardti</i> (Michaelsen, 1898)              | +                 | -   | +   | -         | +   | -   | +          | -   | +   | +                      | +   | +   |
|   |  | <i>D. papillosa</i> (Omodeo, 1958)                   | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | -          | -   | +   | +                      | +   | +   |
|   |  | <i>D. eburnea</i> (Csuzdi & Tondoh, 2007)            | -                 | -   | -   | -         | -   | -   | +          | +   | -   | +                      | +   | -   |
|   | <i>Dichogaster</i> sp.                         | +  | +                 | +   | +   | +         | -   | -   | +          | +   | +   | +                      | +   |     |
|   | Eudrilidae                                     | <i>Hyperiodrilus africanus</i> (Beddard, 1891)       | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
| <i>Stuhlmannia zielae</i> (Omodeo, 1963)      |  | +  | +                 | -   | +   | -         | -   | -   | -          | -   | +   | +                      | -   |     |
| <i>S. palustris</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967) |  | +  | -                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | +   | -                      | -   |     |
| Haplotaxida                                   | Ocnerodrilidae                                 | <i>Gordiodrilus paski</i> (Stephenson, 1928)         | +                 | -   | -   | +         | -   | -   | +          | -   | -   | +                      | -   | -   |
| Orthoptères                                   | Gryllidae                                      | <i>Gryllus Bimaculatus</i> (De Geer, 1773)           | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|   |  | <i>G. megacephalus</i> (Lefebvre, 1827)              | +                 | -   | -   | +         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|   | Rhaphidophoridae                               | <i>Phloleogryllus geertsi</i>                        | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | +          | +   | -   | +                      | +   | -   |
|   | Pyrgomorphidae                                 | <i>Zonocerus variegatus</i> (Linné, 1758)            | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|   | Acrididae                                      | <i>Schistocerca gregaria</i> (Forsskål, 1775)        | +                 | -   | -   | +         | +   | -   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|   | Tetrigidae                                     | <i>Tetrix Subulata</i> (Linnaeus, 1758)              | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | +          | -   | -   | +                      | -   | -   |
| Tettigoniidae                                 | <i>Tettigonia viridissima</i> (Linnaeus, 1758) | +  | +                 | -   | -   | +         | -   | -   | -          | +   | +   | +                      | +   |     |

Tableau VII : Composition et occurrence des macro-invertébrés des sols étudiés (+ : présence, - : absence) (Suite)

| Ordres       | Familles      | Espèces  | Sites et cultures |     |     |           |     |     |            |     |     | A l'échelle du paysage |     |     |
|--------------|---------------|--|-------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|              |               |  | Tapeguhé          |     |     | Zepreguhé |     |     | Tahiraguhé |     |     | Pal                    | Cac | Hev |
|              |               |  | Pal               | Cac | Hev | Pal       | Cac | Hev | Pal        | Cac | Hev |                        |     |     |
| Diptères     | Muscidae      | <i>Musca domestica</i> (Linnaeus, 1758)            | +                 | +   | +   | +         | +   | -   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|              | Calliforidae  | <i>Calliphora vomitaria</i> (Linnaeus, 1758)       | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | -   |
|              |               | <i>C. vicina</i> (Robineau-Desvoidy, 1830)         | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | +   | +   | -                      | +   | +   |
|              | Anthomyiidae  | <i>Eutrichota nigrifemur</i> (Kowarz, 1893)        | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | -   |
|              | Sarcophagidae | <i>Sarcophaga carnaria</i> (Linnaeus, 1758)        | -                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | +   |
| Hyménoptères | Scoliidae     | <i>Scolia sp</i>                                   | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|              | Formicidae    | <i>Dorylus sp</i>                                  | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|              |               | <i>Oecophylla sp</i>                               | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|              |               | <i>Pachycondyla analis</i> (Latreille, 1802)       | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
| Coléoptères  | Carabidae     | <i>Pheropsophus sp</i>                             | +                 | +   | +   | -         | +   | -   | +          | -   | -   | +                      | +   | +   |
|              | Scarabaeidae  | <i>Dichotomius sp</i>                              | +                 | -   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|              |               | <i>D. buqueti</i> (Lucas, 1857)                    | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|              |               | <i>Scarabaeus sp</i>                               | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|              |               | <i>Tenebrio obscurus</i> (Fabricius, 1792)         | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|              | Passalidae    | <i>Passalus sp</i>                                 | +                 | -   | +   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | +   |
|              | Chrysomelidae | <i>Chrysolina sp</i>                               | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|              | Dytiscidae    | <i>Hister furtivus</i> (LeConte, 1860)             | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
| Hémiptères   | Reduviidae    | <i>Rhynocoris sp.</i>                              | +                 | -   | +   | -         | +   | +   | -          | +   | -   | +                      | +   | +   |
|              | Nepidae       | <i>Laccotrephes bambesai</i> (Poisson, 1957)       | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|              | Pyrrhocoridae | <i>Dysdercus voelkeri</i> (Guérin-Méneville, 1831) | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | -   |
| Dictyoptères | Blatellidae   | <i>Blatella sp</i>                                 | -                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | +   |
|              | Ectobiidae    | <i>Parcoblatta pensylvanica</i> (De Geer, 1773)    | -                 | -   | +   | +         | -   | +   | -          | -   | +   | +                      | -   | +   |

Tableau VII : Composition et occurrence des macro-invertébrés des sols étudiés (+ : présence, - : absence) (Suite)

| Ordres         | Familles          | Espèces   | Sites et cultures |     |     |           |     |     |            |     |     | A l'échelle du paysage |     |     |
|----------------|-------------------|---|-------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|                |                   |   | Tapéguhé          |     |     | Zepréguhé |     |     | Tahiraguhé |     |     | Pal                    | Cac | Hev |
|                |                   |   | Pal               | Cac | Hev | Pal       | Cac | Hev | Pal        | Cac | Hev |                        |     |     |
| Blattoidea     | Termitidae        | <i>Pseudacanthotermes militaris</i> (Hagen, 1858) | +                 | -   | -   | +         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|                |                   | <i>Trinervitermes</i> sp                          | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|                |                   | <i>Pericapritermes</i> sp                         | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | -   |
|                |                   | <i>Microtermes</i> sp                             | -                 | -   | +   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | -                      | -   | +   |
|                |                   | <i>Ancistrotermes crucifer</i> (Sjöstedt 1897)    | -                 | -   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | -   | +                      | +   | +   |
|                |                   | <i>A. guineensis</i> (Silvestri 1912)             | -                 | -   | -   | -         | +   | -   | +          | +   | -   | +                      | +   | -   |
|                |                   | <i>Odontotermes</i> sp                            | -                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | -   |
|                |                   | <i>Amitermes evuncife</i> (Brulle, 1832)          | -                 | -   | -   | +         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|                |                   | <i>Macrotermes bellicosus</i> (Smeathman, 1781)   | -                 | -   | -   | -         | +   | -   | -          | +   | +   | -                      | +   | +   |
| Araneae        | Agelenidae        | <i>Agelenopsis</i> sp                             | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|                |                   | <i>Tegenaria</i> sp                               | +                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|                | Sparassidae       | <i>Heteropoda</i> sp                              | +                 | +   | -   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | +                      | +   | -   |
|                | Araneidae         | <i>Migrathena</i> sp                              | +                 | -   | -   | -         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
|                | Linyphiidae       | <i>Nerienne montana</i> (Clerck, 1757)            | -                 | +   | +   | +         | +   | +   | +          | -   | +   | +                      | +   | +   |
|                | Theraphosidae     | <i>Grammostola</i> sp.                            | -                 | -   | +   | +         | +   | +   | -          | +   | +   | +                      | +   | +   |
| Polydesmida    | Paradoxosomatidae | <i>Oxidus gracilis</i> (Koch, 1847)               | +                 | -   | +   | -         | +   | +   | -          | +   | +   | +                      | +   | +   |
| Spirostreptida | Spirostreptidae   | <i>Archispirostreptus gigas</i> (Peters, 1855)    | -                 | +   | +   | +         | +   | +   | -          | +   | +   | +                      | +   | +   |
|                |                   | <i>Spirostreptidae</i> sp                         | -                 | +   | -   | -         | +   | +   | -          | +   | -   | -                      | +   | +   |
| Julida         | Julidae           | <i>Tachypodoiulus niger</i> (Leach, 1815)         | -                 | +   | -   | -         | +   | +   | -          | +   | -   | -                      | +   | +   |
| Lithobiomorpha | Lithobiidae       | <i>Bithobius forficatus</i> (Linnaeus, 1758)      | -                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | -   | -   | -                      | +   | +   |
| Isopodes       | Porcellionidae    | <i>Porcelio scaber</i> (Latreille, 1804)          | -                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | -   | +   | -                      | +   | +   |

Tableau VII : Composition et occurrence des macro-invertébrés des sols étudiés (+ : présence, - : absence) (Suite et fin)

| Ordres          | Familles     | Espèces   | Sites et cultures |     |     |           |     |     |            |     |     | A l'échelle du paysage |     |     |
|-----------------|--------------|---|-------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|                 |              |   | Tapéguhé          |     |     | Zepréguhé |     |     | Tahiraguhé |     |     | Pal                    | Cac | Hev |
|                 |              |   | Pal               | Cac | Hev | Pal       | Cac | Hev | Pal        | Cac | Hev |                        |     |     |
| Stylommatophore | Achatinidae  | <i>Lamellaxis clavulinus</i> (Potiez & Michaud, 1838) | -                 | +   | +   | -         | +   | -   | -          | -   | +   | -                      | +   | +   |
|                 |              | <i>Lissachatina fulica</i> (Férussac, 1821)           | -                 | -   | -   | +         | -   | -   | +          | -   | +   | +                      | -   | +   |
|                 | Orthalicidae | <i>Bulimulus tenuissimus</i> (Orbigny, 1835)          | -                 | -   | -   | +         | -   | -   | -          | -   | -   | +                      | -   | -   |
| Total           | 39           | 66  | 38                | 34  | 31  | 25        | 41  | 20  | 22         | 27  | 27  | 49                     | 45  | 39  |

Pal : Palmeraie ; Cac : Cacaoyère et Hev : Champ d'hévéas

### III.1.3.2. Abondance des peuplements des macro-invertébrés des sols et richesse spécifique des milieux

Les valeurs moyennes de la densité (D) et de la richesse spécifique (S) des peuplements des macro-invertébrés sont enregistrées dans le tableau VIII. Au total, 12 groupes faunistiques ont été récoltés sur l'ensemble des sites d'échantillonnage. Les groupes rencontrés sont : les vers de terre, orthoptères, diptères, hyménoptères, coléoptères, hémiptères, dictyoptères, isoptères, araneae, myriapodes, isopodes et les gastropodes (Tableau IX).

#### ➤ Cas du site de Tapeguhé

Sur le site de Tapeguhé, la plus forte densité des macro-invertébrés a été observée dans la cacaoyère ( $D = 380,60 \pm 12,48 \text{ ind.m}^{-2}$ ). En terme de richesse spécifique, ce milieu est apparu le deuxième plus fourni ( $S = 32,10 \pm 0,62 \text{ espèces.m}^{-2}$ ). La palmeraie qui avait la plus faible densité ( $D = 251,60 \pm 4,58 \text{ ind.m}^{-2}$ ), abritait le plus grande nombre d'espèces des macro-invertébrés ( $S = 34,00 \pm 0,57 \text{ espèces.m}^{-2}$ ). En hévéaculture, la densité ( $D = 358,70 \pm 5,59 \text{ ind.m}^{-2}$ ) est intermédiaire aux deux premières, de même que la richesse spécifique ( $S = 30,40 \pm 0,21 \text{ espèces.m}^{-2}$ ). Les différences entre ces densités et richesses spécifiques sont significatives (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) (Tableau VIII).

Quatre groupes taxonomiques, en l'occurrence les coléoptères (28,26 pc), les vers de terre (21,26 pc), les hyménoptères (20,09 pc) et les blattoidae (10,54 pc) se partagent l'essentiel de la densité totale dans la palmeraie. Dans la cacaoyère par contre, la densité globale est tenue par deux groupes faunistiques : les hyménoptères (45,40 pc) et les blattoidae (20,05pc). Dans les hévéas, ce sont trois groupes taxonomiques, à savoir, les hyménoptères (48,50 pc), les blattoidae (24,06 pc) et les vers de terre (11,50 pc) qui dominent le milieu. Les groupes faunistiques tels que les dictyoptères, les isopodes et les gastéropodes sont absents dans la palmeraie sur le site de Tapeguhé (Tableau IX).

#### ➤ Cas du site de Zépréguhé

La densité globale des macro-invertébrés varie de manière significative (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) entre les 3 types d'usage des sols du site de Zepreguhé. On note également une différence significative entre les moyennes des richesses spécifiques dans les plantations selon les modes d'utilisation des sols. La cacaoyère était caractérisée à la fois par les plus grandes densités des macro-invertébrés ( $D = 953,10 \pm 22,80 \text{ ind.m}^{-2}$ ) et un nombre important d'espèces est indiquée ( $S = 40,70 \pm 0,14 \text{ espèces.m}^{-2}$ ). Dans la palmeraie, la densité ( $D = 192,50 \pm 6,72 \text{ ind.m}^{-2}$ ) était

la plus faible tandis que la richesse spécifique était la deuxième plus élevée ( $S = 24,00 \pm 0,28$  espèces.m<sup>-2</sup>). De la plantation d'hévéas, est ressortie la deuxième plus élevée des densités de macrofaunes ( $D = 326,40 \pm 1,48$  ind.m<sup>-2</sup>), ce qui correspondait à la plus faible richesse spécifique constatée ( $S = 19,90 \pm 0,09$  espèces.m<sup>-2</sup> espèces) (Tableau VIII).

Les groupes taxonomiques blattoïdes (34,85 pc), hyménoptères (16,32 pc), vers de terre (15,26 pc) et coléoptères (11,64pc) dominent les peuplements dans la palmeraie. Deux groupes taxonomiques dont les hyménoptères (58,90 pc) et les blattoïdes (19,41pc) se partagent l'essentiel de la densité sous la cacaoyère. Les hyménoptères (62,70pc), vers de terre (11,52 pc) et blattoïdes (9,95pc) dominent sous la culture d'hévéa. Les groupes faunistiques tels que les diptères, les dictyoptères et les isopodes n'ont pas été observés dans la plantation d'hévéa, tout comme les isopodes qui n'étaient pas présents dans la palmeraie sur le site de Zépréguhé (Tableau XI).

#### ➤ Cas du site de Tahiraguhé

La variation de la densité des macro-invertébrés entre les trois (03) parcelles de cultures pérennes de ce site s'est avérée significative (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) (Tableau VIII) : la cacaoyère ( $D = 542 \pm 10,16$  ind.m<sup>-2</sup>), la plantation d'hévéas ( $D = 469 \pm 3,25$  ind.m<sup>-2</sup>) et la palmeraie ( $D = 261,60 \pm 2,45$  ind.m<sup>-2</sup>) abritent, dans cet ordre, les densités décroissantes des macro-invertébrés. Les Hyménoptères (58,18 pc), les Isoptères (16,62 pc) et les Vers de terre (10,81pc) sont les trois groupes faunistiques majeurs de la palmeraie. Dans la cacaoyère, ce sont les Hyménoptères (69,31 pc) et les Isoptères (14,91pc) qui dominent. Les Hyménoptères (66,21 pc) et les Vers de terre (9,47 pc) dominent quant à eux dans la plantation d'hévéas.

La richesse spécifique des milieux sur le site de Tahiraguhé diffère aussi significativement (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) : la cacaoyère et la plantation d'hévéas hébergent les peuplements les plus diversifiés ( $24,50 \pm 0,57$  espèces.m<sup>-2</sup>). La richesse spécifique de la palmeraie est estimée à  $20,60 \pm 0,58$  espèces.m<sup>-2</sup>.

Les hyménoptères dominent les populations dans les trois parcelles de cultures pérennes. Les hémiptères, les dictyoptères, les myriapodes et les isopodes ne sont pas représentés dans la palmeraie à l'image des dictyoptères, isopodes et gastéropodes dans la cacaoyère et des hémiptères dans la plantation d'hévéas (Tableau IX).

➤ À l'échelle du paysage

Les cacaoyères ( $D = 625,33 \pm 45,75 \text{ ind.m}^{-2}$ ), plantations d'hévéas ( $D = 384 \pm 11,57 \text{ ind.m}^{-2}$ ) et les palmeraies ( $D = 235,23 \pm 6,38 \text{ ind.m}^{-2}$ ) sont apparues dans cet ordre, de moins en moins densément peuplées en macro-invertébrés à l'échelle du paysage. La faune abritée par les cacaoyères à la richesse spécifique la plus importante ( $S = 32,43 \pm 1,26 \text{ espèces.m}^{-2}$ ) quand celles abritées par les palmeraies ( $S = 26,20 \pm 1,08 \text{ espèces.m}^{-2}$ ) et les plantations d'hévéas ( $S = 24,97 \pm 0,81 \text{ espèces.m}^{-2}$ ) sont moins diversifiées. Les différences observées entre ces différents usages des sols sont significatives (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) (Tableau VIII).

Les principaux groupes taxonomiques dominants de ces milieux sont : les hyménoptères (32,91 pc), les blattoïdes (19,64 pc) et les vers de terre (15,91 pc) dans les palmeraies, les hyménoptères (59,12 pc) et les blattoïdes (18,87 pc) dans les cacaoyères, puis les hyménoptères (59,49 pc), les blattoïdes (13,91 pc) et les vers de terre (10,73 pc) dans les hévéas. A l'opposé, les liopodes (0 pc), les hémiptères (0,43 pc), dictyoptères (0,2 pc), myriapodes (0,66 pc) et les gastéropodes (0,54 pc) étaient absents ou rares dans les palmeraies. Les organismes avérés rares dans les cacaoyères sont constitués par les isopodes (0,3 pc), dictyoptères (0,2 pc) et les gastéropodes (0,3 pc). Pour le cas des plantations d'hévéas, ces organismes rares sont : les isopodes (0,39 pc), les hémiptères (0,39 pc), dictyoptères (0,83 pc), diptères (0,62 pc) et les gastéropodes (0,89 pc) (Tableau IX).

### III.1.3.3. Diversité des peuplements des macro-invertébrés des sols

Les résultats des indices de Shannon ( $H'$ ) et d'Équitabilité ( $E$ ) figurent dans le tableau X. Les moyennes varient de  $1,71 \pm 0,04$  à  $2,94 \pm 0,04$  pour les indices de Shannon et de  $0,52 \pm 0,0$  et  $0,85 \pm 0,0$  pour l'Équitabilité. Sur l'ensemble des sites de l'étude, l'indice de Shannon ( $H'$ ) et l'Équitabilité ( $E$ ) varient de manière hautement significative ( $P < 0,05$ ) entre les différents types d'usage des sols.

En effet, on note qu'à Tapéguhé les valeurs moyennes de l'indice de Shannon diffère d'une plantation à une autre, sous la palmeraie  $H' = 2,94 \pm 0,04$ , sous la cacaoyère  $H' = 2,45 \pm 0,02$  et sous la plantation d'hévéas  $H' = 2,30 \pm 0,02$ . La même tendance a été observée à Zépréguhé (palmeraie :  $H' = 2,71 \pm 0,01$  ; cacaoyère :  $H' = 2,32 \pm 0,01$  ; plantation d'hévéas :  $H' = 1,71 \pm 0,04$ ). À Tahiragué, la cacaoyère présente l'indice de Shannon le plus faible ( $H' = 1,65 \pm 0,0$ ), la palmeraie affiche la plus grande ( $H' = 1,78 \pm 0,44$ ), suivi de la plantation d'hévéas ( $H' = 1,71 \pm 0,02$ ). Par ailleurs, la tendance à la répartition équitable des effectifs entre

les espèces rencontrées dans ces différents milieux est, à Tapéguhé, plus élevée dans la palmeraie ( $E = 0,83 \pm 0,01$ ) que la cacaoyère ( $E = 0,71 \pm 0,01$ ) et la plantation d'hévéas ( $E = 0,67 \pm 0,0$ ). À Zépréguhé on observe la tendance de Tapéguhé (palmeraie :  $E = 0,85 \pm 0,0$  ; cacaoyère :  $E = 0,63 \pm 0,0$  ; plantation d'hévéas :  $E = 0,57 \pm 0,01$ ), mais un peu différent à Tahiragué où la plantation d'hévéas ( $E = 0,53 \pm 0,0$ ) et la cacaoyère ( $E = 0,52 \pm 0,0$ ) présentent la même Équitabilité moins élevée que celle de la palmeraie ( $E = 0,59 \pm 0,01$ ).

À l'échelle du paysage, les palmeraies ( $H' = 2,45 \pm 0,09$ ) sont significativement (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ) plus diversifiées que les cacaoyères ( $H' = 2,14 \pm 0,07$ ) et plantations d'hévéas ( $H' = 1,91 \pm 0,05$ ) (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,001$ ). Aussi, les espèces sont réparties de manière plus équitable dans la palmeraie ( $E = 0,76 \pm 0,02$ ) que les deux autres ( $E = 0,62 \pm 0,01$  sous les cacaoyères et  $0,59 \pm 0,01$  sous les hévéas) (*Kruskall-Wallis*,  $P < 0,05$ ).

Tableau VIII : Densité et richesse spécifique des macro-invertébrés des sols étudiés

| Sites d'études         | Type d'usage des sols | D (ind.m <sup>-2</sup> ) | S (ind.m <sup>-2</sup> ) |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tapéguhé               | Palmeraie             | 251,60 ± 4,58a           | 34,00 ± 0,57b            |
|                        | Cacaoyère             | 380,60 ± 12,48b          | 32,10 ± 0,62a            |
|                        | Champ d'hévéa         | 358,7 ± 5,59b            | 30,40 ± 0,21a            |
|                        | <i>Valeur de p</i>    | 0,0000525                | 0,000228                 |
| Zépréguhé              | Palmerais             | 192,50 ± 6,72a           | 24,00 ± 0,28b            |
|                        | Cacaoyère             | 953,10 ± 22,80c          | 40,70 ± 0,14c            |
|                        | Champ d'hévéa         | 326,40 ± 1,48b           | 19,9 ± 0,09a             |
|                        | <i>Valeur de p</i>    | 0,000002469              | 0,000001361              |
| Tahiragué              | Palmeraie             | 261,60 ± 2,45a           | 20,60 ± 0,25a            |
|                        | Cacaoyère             | 542,30 ± 10,16c          | 24,50 ± 0,57b            |
|                        | Champ d'hévéa         | 469,20 ± 3,25b           | 24,60 ± 0,29b            |
|                        | <i>Valeur de p</i>    | 0,000002483              | 0,000000151              |
| A l'échelle du paysage | Palmeraie             | 235,23 ± 6,38a           | 26,20 ± 1,08a            |
|                        | Cacaoyère             | 625,33 ± 45,75c          | 32,43 ± 1,26b            |
|                        | Champ d'hévéa         | 384,77 ± 11,57b          | 24,97 ± 0,81a            |
|                        | <i>Valeur de p</i>    | 1,244e <sup>-15</sup>    | 0,00004639               |

D : Densité ; S : Richesse spécifique ; *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

Tableau IX : Abondance relative des groupes taxonomiques des macro-invertébrés des sols étudiés

| Groupes<br>Taxonomiques (pc) | Sites d'études |       |       |           |       |       |            |       |       |                        |       |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------|-------|-------|------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                              | Tapéguhé       |       |       | Zepréguhé |       |       | Tahiraguhé |       |       | A l'échelle du paysage |       |       |
|                              | Pal            | Cac   | Hev   | Pal       | Cac   | Hev   | Pal        | Cac   | Hev   | Pal                    | Cac   | Hev   |
| Vers de terre                | 21,26          | 4,8   | 11,5  | 15,26     | 2,47  | 11,52 | 10,81      | 3,78  | 9,47  | 15,91                  | 3,39  | 10,73 |
| Orthoptères                  | 7,52           | 6,67  | 3,3   | 9,18      | 3,54  | 4,87  | 4,79       | 3,04  | 4,63  | 6,99                   | 3,9   | 4,34  |
| Diptères                     | 0,81           | 3,04  | 0,91  | 1,35      | 2,12  | 0     | 0,85       | 0,54  | 0,83  | 0,96                   | 1,86  | 0,62  |
| Hyménoptères                 | 20,09          | 45,4  | 48,5  | 16,32     | 58,9  | 62,7  | 58,18      | 69,31 | 66,24 | 32,91                  | 59,12 | 59,49 |
| Coléoptères                  | 28,26          | 8,8   | 4,03  | 11,64     | 5,67  | 1,6   | 3,44       | 3,16  | 2,28  | 14,41                  | 5,4   | 2,66  |
| Hémiptères                   | 1,18           | 4,1   | 0,3   | 0         | 2,33  | 0,78  | 0          | 0,19  | 0     | 0,43                   | 2,08  | 0,38  |
| Dictyoptères                 | 0              | 0,62  | 1,22  | 0,81      | 0,15  | 0,78  | 0          | 0     | 0,55  | 0,2                    | 0,2   | 0,83  |
| Isoptères                    | 10,54          | 20,05 | 24,06 | 34,85     | 19,41 | 9,95  | 16,62      | 14,91 | 9     | 19,64                  | 18,87 | 13,91 |
| Araneae                      | 9,82           | 3,1   | 3,56  | 7,66      | 2,54  | 4,6   | 4,79       | 2,53  | 4,2   | 7,35                   | 2,69  | 4,18  |
| Myriapodes                   | 0,52           | 2,6   | 1,34  | 1,64      | 2,24  | 3,2   | 0          | 2,54  | 0,57  | 0,66                   | 1,99  | 1,58  |
| Isopodes                     | 0              | 0,35  | 0,59  | 0         | 0,25  | 0     | 0          | 0     | 0,52  | 0                      | 0,2   | 0,39  |
| Gastéropodes                 | 0              | 0,47  | 0,69  | 1,29      | 0,38  | 0     | 0,52       | 0     | 1,71  | 0,54                   | 0,3   | 0,89  |

Pal : Palmeraie ; Cac : Cacaoyère ; Hev : Champ d'hévéas, pc : pourcentage

Tableau X : Indices de diversité des peuplements des macro-invertébrés des sols étudiés

| Sites d'études         | Type d'usage des sols | H'            | E            |
|------------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| Tapéguhé               | Palmeraie             | 2,94 ± 0,04c  | 0,83 ± 0,01c |
|                        | Cacaoyère             | 2,45 ± 0,02b  | 0,71 ± 0,01b |
|                        | Champ d'hévéa         | 2,30 ± 0,02a  | 0,67 ± 0,00a |
|                        | <i>P</i>              | 0,000004087   | 0,000007164  |
| Zepréguhé              | Palmerais             | 2,71 ± 0,01c  | 0,85 ± 0,00c |
|                        | Cacaoyère             | 2,32 ± 0,01b  | 0,63 ± 0,00b |
|                        | Champ d'hévéa         | 1,71 ± 0,04a  | 0,57 ± 0,01a |
|                        | <i>P</i>              | 0,00000249    | 0,000006436  |
| Tahiraguhé             | Palmeraie             | 1,78 ± 0,04b  | 0,59 ± 0,01b |
|                        | Cacaoyère             | 1,65 ± 0,02a  | 0,52 ± 0,00a |
|                        | Champ d'hévéa         | 1,71 ± 0,02ab | 0,53 ± 0,00a |
|                        | <i>P</i>              | 0,011         | 0,00009196   |
| A l'échelle du paysage | Palmeraie             | 2,48 ± 0,09b  | 0,76 ± 0,02b |
|                        | Cacaoyère             | 2,14 ± 0,07a  | 0,62 ± 0,01a |
|                        | Champ d'hévéa         | 1,91 ± 0,05a  | 0,59 ± 0,01a |
|                        | <i>P</i>              | 0,00000954    | 0,000005512  |

H' : Indice de Shannon-Weaver ; E : Equitabilité. *P* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

#### III.1.4. Stock de carbone organique

Les résultats portant sur le stock de carbone organique des sols (SCOS) selon les modes d'usages des sols sont enregistrés dans le tableau XI. Ces résultats comportent les mesures partielles obtenues à partir des deux horizons (A et B) prospectés, puis les stocks obtenus dans chaque profil de sol creusés dans les parcelles.

À Tapéguhé, les stocks moyens de carbone organique issus des horizons A sont différents avec un niveau plus élevé sous les palmiers à huile ( $9261,67 \pm 731 \text{ g.m}^{-2}$ ), suivi des sols sous cacaoyers ( $8060,39 \pm 1275,32 \text{ g.m}^{-2}$ ) et sols sous hévéas ( $6879,48 \pm 829,10 \text{ g.m}^{-2}$ ) (*Anova*,  $p > 0,05$ ). Dans les horizons B au contraire : les plus grands stocks ont été mesurés sous les cacaoyers ( $385,02 \pm 31,85 \text{ g.m}^{-2}$ ) et hévéas ( $297,38 \pm 47,19 \text{ g.m}^{-2}$ ) et le plus faible dans le sol sous palmiers à huile ( $84,44 \pm 1,29 \text{ g.m}^{-2}$ ), les différences sont significatives (*Anova*,  $p < 0,05$ ). Il en est découlé que les plus grands stocks au niveau des profils sont mesurés sous les palmiers à huile ( $9346,1 \pm 732,97 \text{ g.m}^{-2}$ ) puis sous les cacaoyers ( $8445,41 \pm 1259,26 \text{ g.m}^{-2}$ ) et enfin sous les hévéas ( $7176,86 \pm 874,63 \text{ g.m}^{-2}$ ), mais ne sont statistiquement pas différents (*Anova*,  $p > 0,05$ ).

Dans les horizons A des sols de Zépréguhé, les moyennes des stocks de carbone organique sont différentes comme précédemment, le stock de carbone organique le plus

élevé est observé sous hévéas ( $8039,72 \pm 730,16 \text{ g.m}^{-2}$ ), suivis par les cacaoyères ( $6628,13 \pm 1398,39 \text{ g.m}^{-2}$ ) et les palmiers à huile ( $5627,22 \pm 597 \text{ g.m}^{-2}$ ) (*Anova, p > 0,05*). Comme à Tapéguhé, les stocks des horizons B de Zépréguhé sont différents ; les valeurs moyennes obtenues sont les suivantes :  $484,40 \pm 77,19 \text{ g.m}^{-2}$  sous hévéas,  $203,85 \pm 14,04 \text{ g.m}^{-2}$  sous cacaoyers et  $82,17 \pm 3,28 \text{ g.m}^{-2}$  sous palmiers. Le résultat au niveau du profil montre un plus grand stock dans la plantation d'hévéas :  $8524,12 \pm 741,45 \text{ g.m}^{-2}$  contre  $6831,98 \pm 1412,35 \text{ g.m}^{-2}$  dans la cacaoyère et  $5709,39 \pm 595,64 \text{ g.m}^{-2}$  dans la palmeraie. Cette différence n'est toutefois pas significative (*Anova, p > 0,05*).

La différence observée entre les stocks des horizons A des sites précédents caractérise aussi le site de Tahiraguhé, les sols sous cacaoyers et palmiers ayant les plus grands stocks de carbone organique (respectivement :  $8351,67 \pm 1876,66 \text{ g.m}^{-2}$  et  $7266,39 \pm 1573,43 \text{ g.m}^{-2}$ ) et le sol sous hévéas, le plus faible stock ( $6940,0 \pm 1369,23 \text{ g.m}^{-2}$ ) (*p > 0,05*). Dans les horizons B, les différences sont aussi faibles entre les stocks :  $239,9 \pm 4,4 \text{ g.m}^{-2}$  pour le sol sous hévéas ;  $120,75 \pm 47,63 \text{ g.m}^{-2}$  mesurés sous les cacaoyers et contre  $111,27 \pm 30,12 \text{ g.m}^{-2}$  ressorti du sol de la palmeraie (*Anova, p > 0,05*). Au niveau du profil, le sol de la cacaoyère, avec un stock de  $8472,42 \pm 1910,26 \text{ g.m}^{-2}$ , est apparue plus fourni en carbone organique que le sol de la plantation d'hévéas ( $7377,66 \pm 1560,35 \text{ g.m}^{-2}$ ), lui-même plus fourni que le sol de la palmeraie ( $7179,0 \pm 1367 \text{ g.m}^{-2}$ ). Toutes ces différences sont non significatives (*Anova, p > 0,05*).

À l'échelle du paysage, seuls les horizons B marquent des différences hautement significatives entre les sols (*Anova, p > 0,05*). Les stocks les plus élevés ont été observés sous hévéas ( $340,60 \pm 78,34 \text{ g.m}^{-2}$ ) et cacaoyers ( $236,54 \pm 73,72 \text{ g.m}^{-2}$ ) et les plus faibles, sous palmeraies ( $92,62 \pm 17,19 \text{ g.m}^{-2}$ ). Pour les horizons A, les stocks de carbone sont estimés à  $7385,09 \pm 1292,32$  sous les palmiers,  $7680,06 \pm 1410,22 \text{ g.m}^{-2}$  sous les cacaoyers et  $7286,40 \pm 938,33 \text{ g.m}^{-2}$  sous les hévéas. Dans le profil, les stocks ont le même ordre de grandeur, à savoir :  $7916,60 \pm 1424,68 \text{ g.m}^{-2}$  issus des sols sous cacaoyers,  $7626,96 \pm 973,13 \text{ g.m}^{-2}$  issus des sols sous hévéas et  $7477,72 \pm 1288,48$  provenant des sols sous palmiers.

Tableau XI : Stock de carbone organique des sols étudiés

| Sites | Type d'usage       | SCOS Hz A (g.m <sup>-2</sup> ) | SCOS Hz B (g.m <sup>-2</sup> ) | SCOS P (g.m <sup>-2</sup> ) |
|-------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Tap   | Palmeraie          | 9261,67 ± 731,68a              | 84,44 ± 1,29 a                 | 9346,1 ± 732,97a            |
|       | Cacaoyère          | 8060,39 ± 1275,32a             | 385,02 ± 31,85b                | 8445,41 ± 1259,26a          |
|       | Champ d'hévéa      | 6879,48 ± 829,10a              | 297,38 ± 47,19b                | 7176,86 ± 874,63a           |
|       | <i>Valeur de p</i> | <i>0,324</i>                   | <i>0,00432</i>                 | <i>0,365</i>                |
| Zép   | Palmeraie          | 5627,22 ± 597,03a              | 82,17 ± 3,28a                  | 5709,39 ± 595,64a           |
|       | Cacaoyère          | 6628,13 ± 1398,39a             | 203,85 ± 14,04a                | 6831,98 ± 1412,35a          |
|       | Champ d'hévéa      | 8039,72 ± 730,16a              | 484,40 ± 77,19b                | 8524,12 ± 741,45a           |
|       | <i>Valeur de p</i> | <i>0,287</i>                   | <i>0,00203</i>                 | <i>0,206</i>                |
| Tah   | Palmeraie          | 7266,39 ± 1573,43a             | 111,27 ± 30,12a                | 7377,66 ± 1560,35a          |
|       | Cacaoyère          | 8351,67 ± 1876,66a             | 120,75 ± 47,63a                | 8472,42 ± 1910,26a          |
|       | Champ d'hévéa      | 6940,0 ± 1369,23a              | 239,9 ± 4,4a                   | 7179,00 ± 1367,29a          |
|       | <i>Valeur de p</i> | <i>0,818</i>                   | <i>0,0563</i>                  | <i>0,837</i>                |
| Pay   | Palmeraie          | 7385,09 ± 1292,32a             | 92,62 ± 17,19a                 | 7477,72 ± 1288,48a          |
|       | Cacaoyère          | 7680,06 ± 1410,22a             | 236,54 ± 73,72b                | 7916,60 ± 1424,68a          |
|       | Champ d'hévéa      | 7286,40 ± 938,33a              | 340,6 ± 78,34b                 | 7626,96 ± 973,13a           |
|       | <i>Valeur de p</i> | <i>0,92</i>                    | <i>0,000276</i>                | <i>0,908</i>                |

Tap : tapeguhé ; Zép : Zepreguhé ; Tah : Tahiraguhé, Pay : A l'échelle du paysage ; SCOS : Stock de Carbone Organique du sol ; Hz : Horizon ; P : Profil. *p* : probabilité ; les moyennes affectées d'une même lettre (a et b) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ .

### III.1.5. Relations entre les stocks de carbone organique et les propriétés des sols selon les d'usages des sols

#### III.1.5.1. Relations stock de carbone organique du sol-propriétés physiques des sols

Les corrélogrammes des figures 24, 25 et 26 montrent les corrélations existant entre différentes propriétés physiques et le stock de carbone du sol des trois (03) agrosystèmes étudiés.

Il ressort que sous les palmiers, des valeurs croissantes de taux d'argile, de limon et d'éléments grossiers, ainsi que de stock d'eau et de densité apparente du sol, sont à la base d'une augmentation significative du stock de carbone du sol dans les horizons A. Par contre, le stock diminue dans le sol quand les taux de sable et une porosité totale importante y existent. Dans l'horizon B, le stock d'eau produit également un effet dépressif sur le stock de carbone.

Sous les cacaoyers, et dans les horizons A, les argiles et limons impactent positivement le stock de carbone quand leurs taux augmentent dans le sol. Le stock d'eau, le sable et les éléments grossiers sont liés à un effet contraire sur le stock. Dans les horizons B, seuls les taux d'argiles sont corrélés positivement aux stocks carbone organique du sol.

Dans les hévéas, le stockage du carbone est corrélé positivement à la porosité totale du sol et négativement à la densité apparente du sol dans les horizons A. Dans les horizons B, les

stocks importants sont expliqués par des valeurs de plus en plus élevées de stock d'eau, porosité totale et taux d'argiles. Les limons, par contre, sont corrélés négativement au stock de carbone dans cette partie du sol.

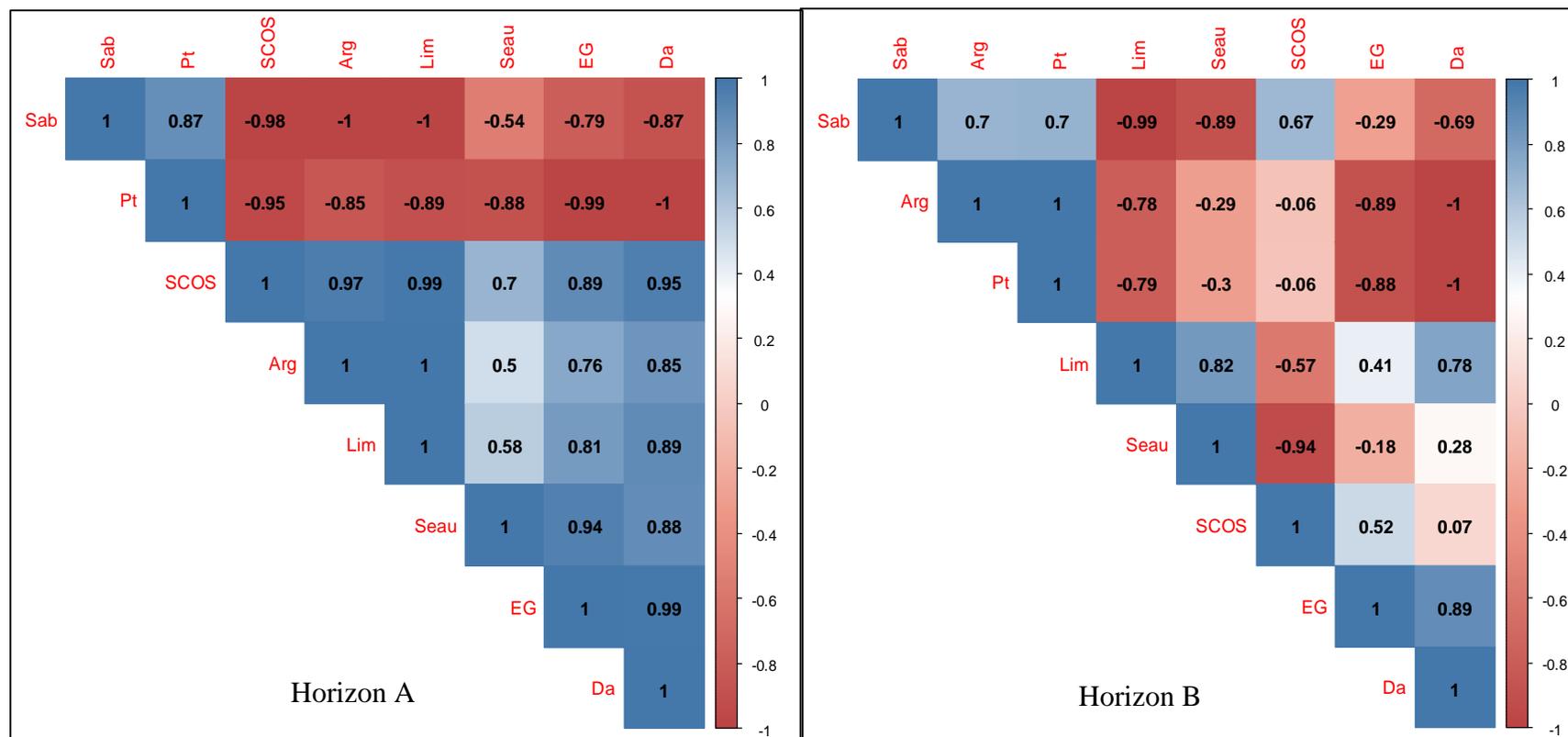


Figure 24 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous les palmeraies

- Sab : Sable ; Pt : porosité totale ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Arg : Argile ; Lim : Limon ; Seau : Stock en eau ; EG : Eléments Grossiers et Da : densité apparente ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

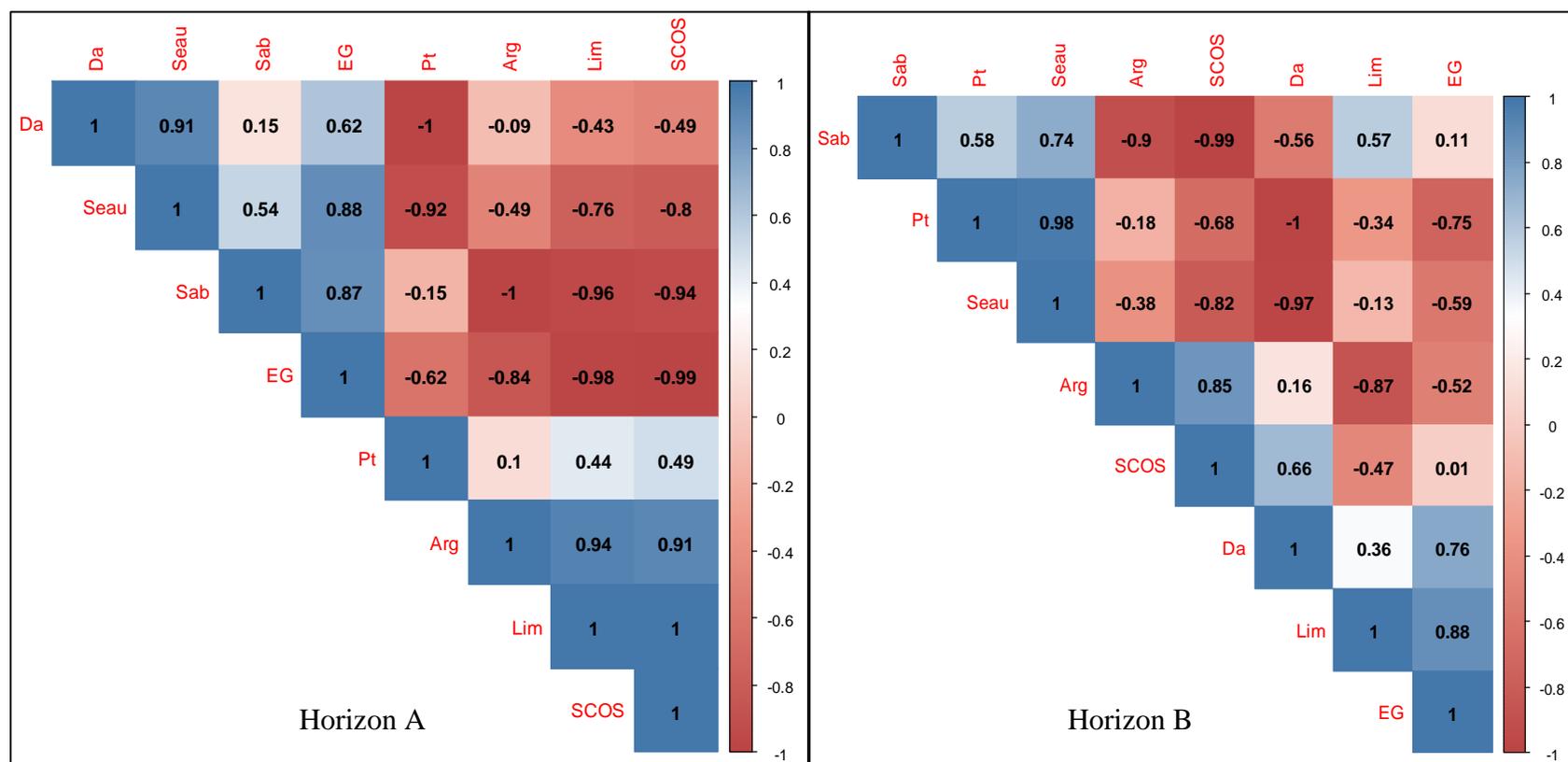


Figure 25 : Corrélogramme de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous cacaoyers

- Sab : Sable ; Pt : porosité totale ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Arg : Argile ; Lim : Limon ; Seau : Stock en eau ; EG : Eléments Grossiers et Da : densité apparente ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

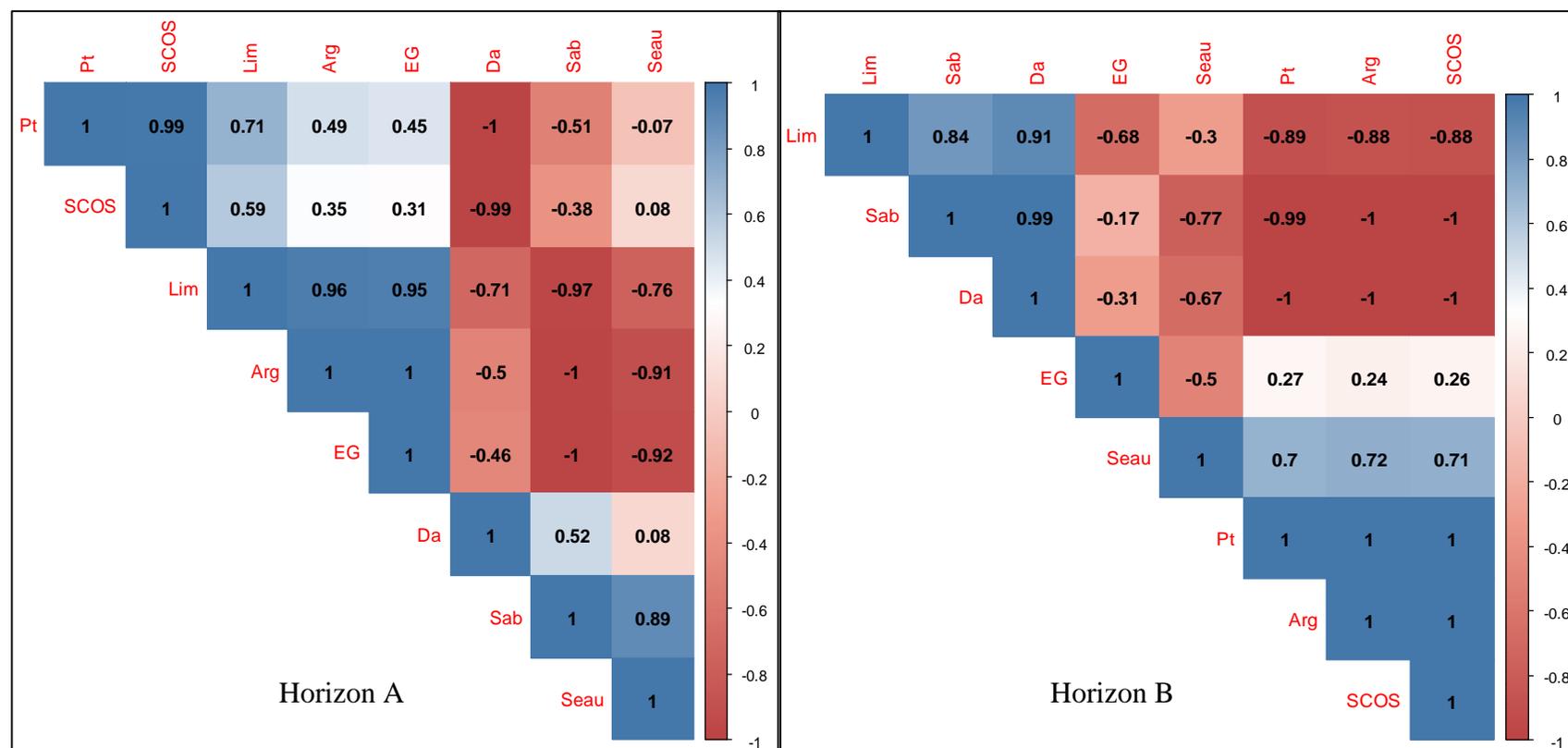


Figure 26 : Corrélogramme de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés physiques des sols sous hévées

- Sab : Sable ; Pt : porosité totale ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Arg : Argile ; Lim : Limon ; Seau : Stock en eau ; EG : Eléments Grossiers et Da : densité apparente ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

### III.1.5.2. Relations stock de carbone organique du sol-propriétés chimiques des sols

Les corrélogrammes des figures 27, 28 et 29 décrivent les corrélations existant entre différentes propriétés chimiques et le stock de carbone du sol des trois agrosystèmes étudiés.

Dans les horizons A des sols explorés sous les palmiers, les stocks ont une corrélation positive significative avec les taux de Bore et de calcium, la CEC, la somme des bases échangeables et le taux de saturation en bases. Par contre, quand le ratio C/N augmente, le stock de carbone diminue dans cet horizon. Dans l'horizon B de ces sols, ce sont plutôt des taux croissants de sodium et de magnésium qui abaissent le stock de carbone du sol, quand le pH, le ratio C/N, la somme des bases échangeables et le taux de saturation en bases, les taux d'oligoéléments (notamment, de zinc, de bore et de fer), puis les taux de potassium, de phosphore assimilable et de matières organiques le rehaussent.

Sous les cacaoyers, des taux élevés en phosphore assimilable, potassium et zinc dans les horizons A expliquent les grands stocks de carbone du sol. Pour les horizons B, ce sont les taux d'oligoéléments, notamment ceux du bore, de l'aluminium et du fer qui sont corrélés négativement au stock de carbone du sol. Dans cet horizon, les taux de potassium, la somme et le taux de saturation des bases échangeables sont liés aux faibles taux de stock de carbone.

Pour les sols sous hévéas, l'abaissement du stock est corrélé essentiellement avec le ratio C/N et le taux d'aluminium dans les deux horizons explorés. Par ailleurs, pendant que le stockage du carbone est influencé positivement par les taux de sodium, de matière organique, de fer et le taux de saturation en bases échangeables dans les horizons A, ce sont le pH, les taux de magnésium, de potassium, de sodium, de calcium et d'azote total, puis la somme et le taux de saturation des bases, qui induisent cet effet dans les horizons B.

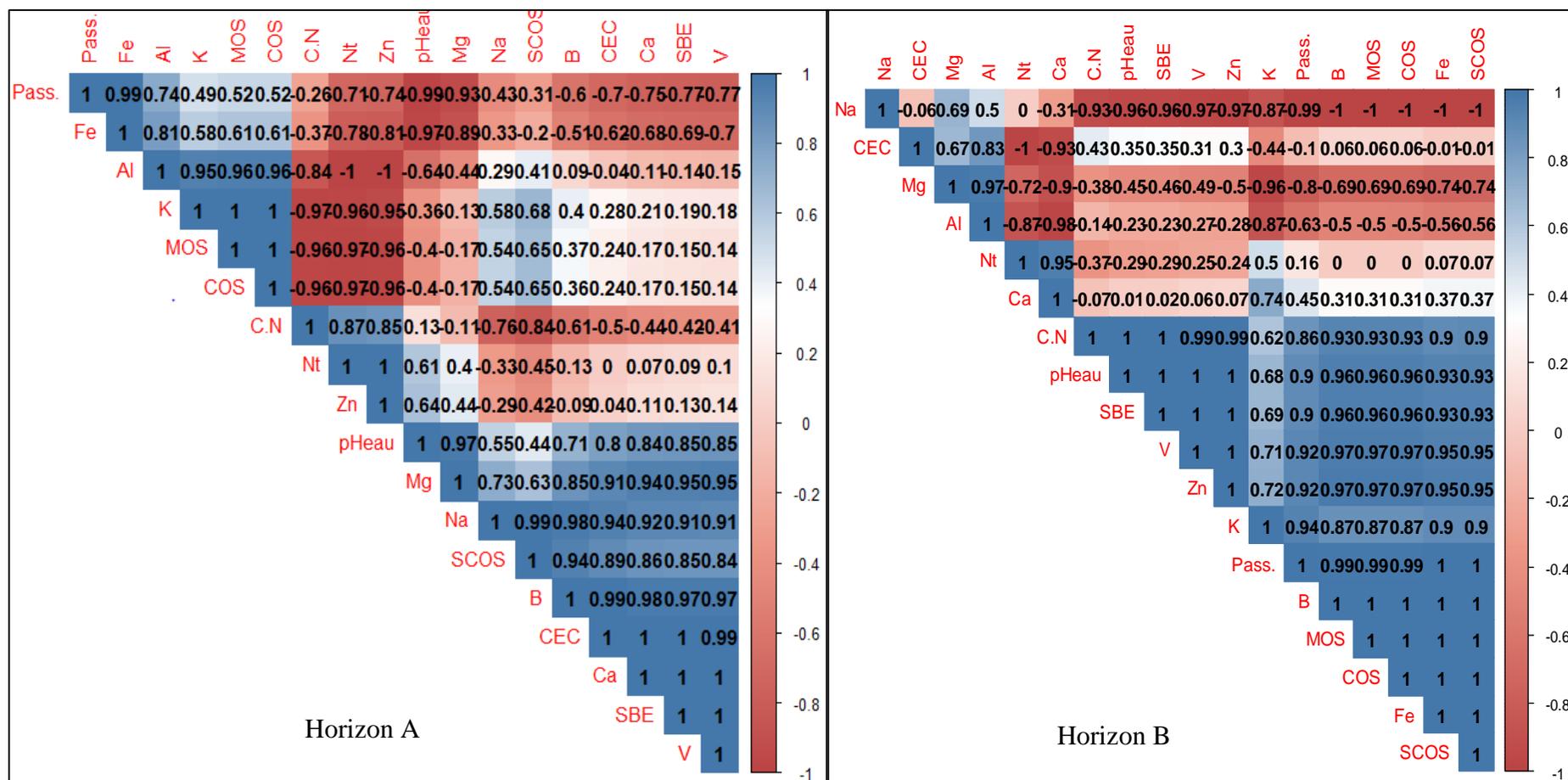


Figure 27 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous palmiers

- Pass. : Phosphore assimilable ; Al : Aluminium ; C.N : Rapport Carbone Organique du sol sur Azote total ; Fe : Fer ; Na : Sodium ; pHeau : potentiel d'Hydrogène ; K : Potassium ; CEC : Capacité d'Echange Cationique ; B : Bore ; Zn : Zinc ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Mg : Magnésium ; SBE : Somme des Bases Echangeable ; Ca : Calcium ; V : taux de saturation ; Nt : Azote total ; MOS : Matière Organique Sol ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

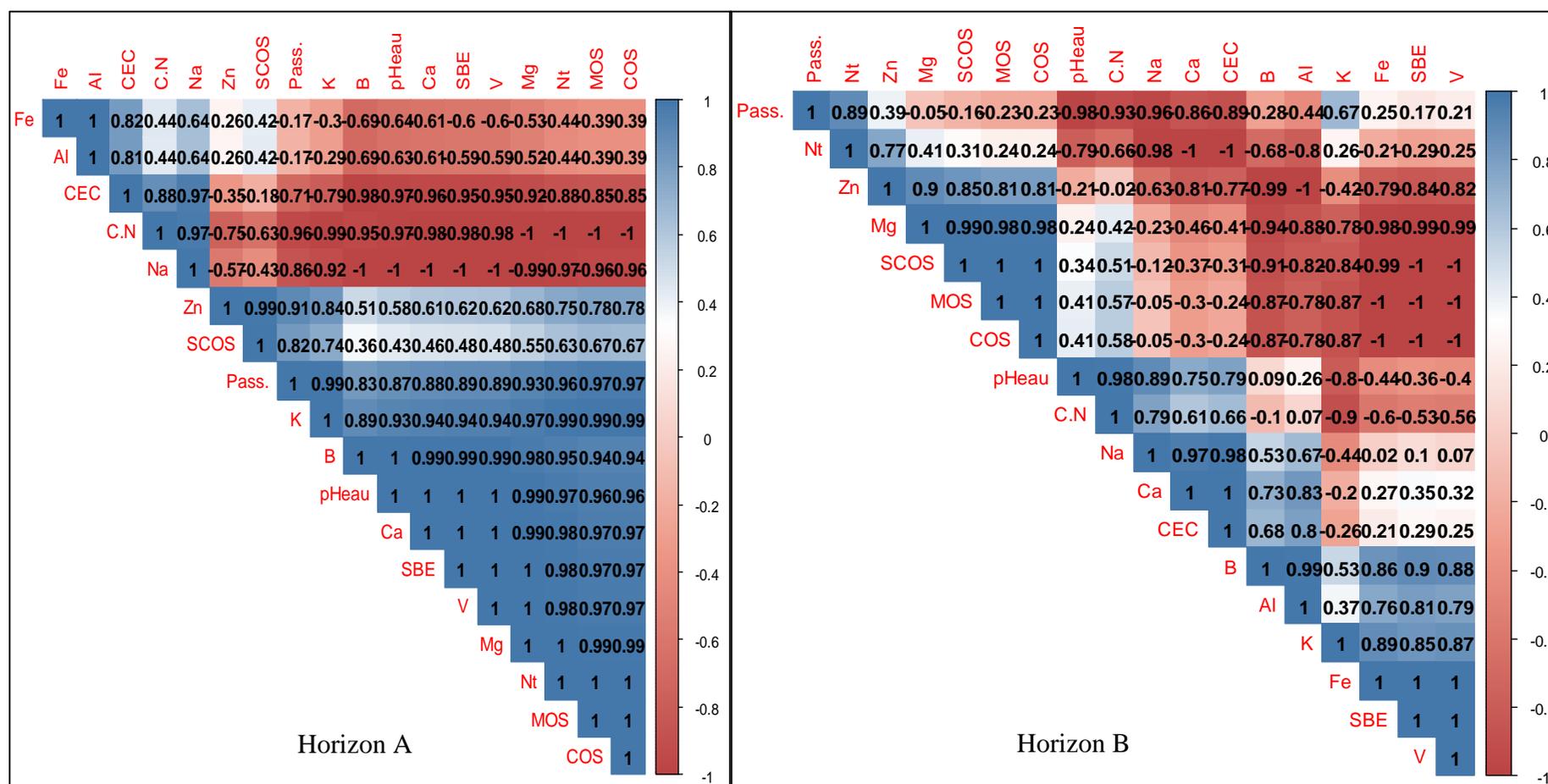


Figure 28 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous cacaoyers

- Pass. : Phosphore assimilable ; Al : Aluminium ; C.N : Rapport Carbone Organique du sol sur Azote total ; Fe : Fer ; Na : Sodium ; pHeau : potentiel d'Hydrogène ; K : Potassium ; CEC : Capacité d'Echange Cationique ; B : Bore ; Zn : Zinc ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Mg : Magnésium ; SBE : Somme des Bases Echangeable ; Ca : Calcium ; V : taux de saturation ; Nt : Azote total ; MOS : Matière Organique Sol ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

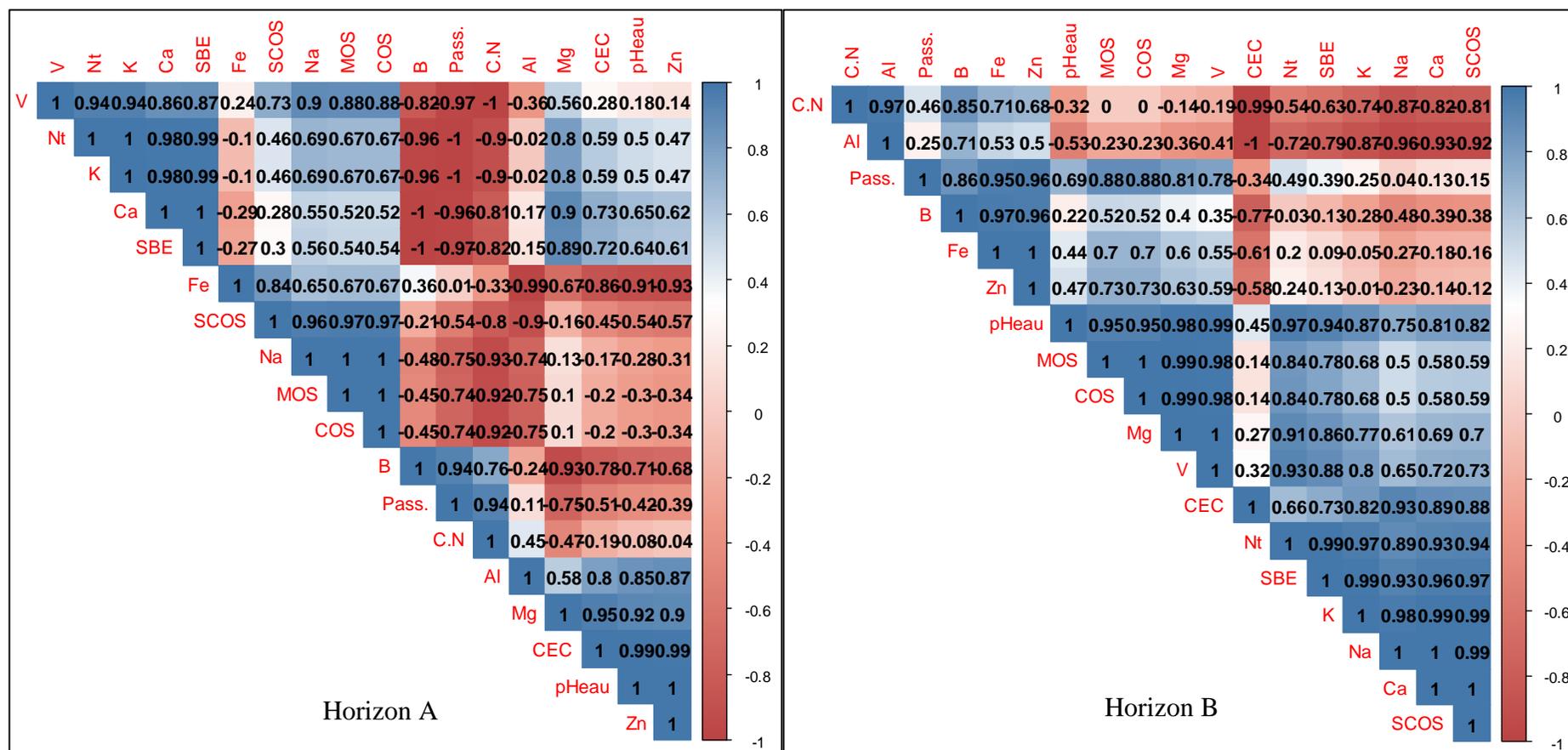


Figure 29 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les propriétés chimiques des sols sous hévéas

- C.N : Rapport Carbone Organique du sol sur Azote total ; Al : Aluminium ; Pass. : Phosphore assimilable ; B : Bore ; Fe : Fer ; Zn : Zinc ; pHeau : potentiel d'Hydrogène ; MOS : Matière Organique Sol ; Mg : Magnésium ; V : taux de saturation ; CEC : Capacité d'Echange Cationique ; Nt : Azote total ; SBE : Somme des Bases Echangeable ; K : Potassium ; Na : Sodium ; Ca : Calcium et SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

III.1.5.3. Relations stock de carbone organique du sol-peuplements des macro-invertébrés

Les corrélations ressorties entre les différents peuplements de macro-invertébrés et le stock de carbone du sol des trois agrosystèmes étudiés sont résumés par les corrélogrammes de la figures 30, 31 et 32.

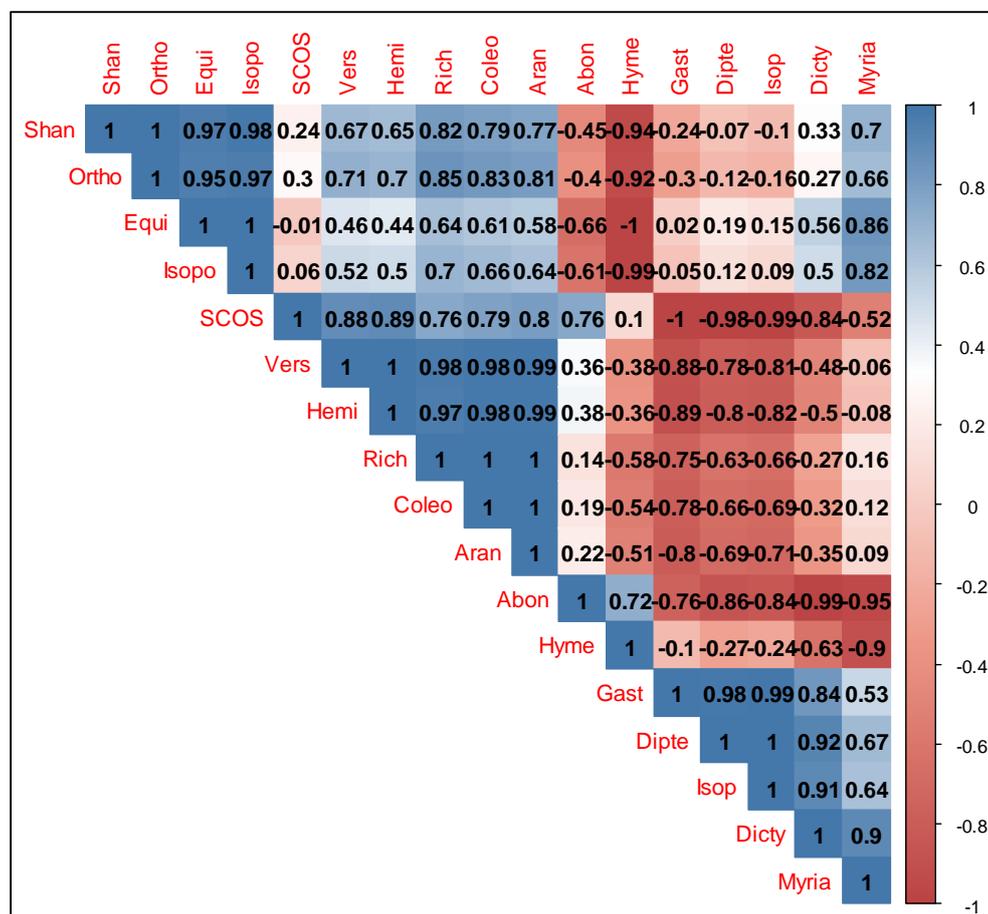


Figure 30 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous les palmiers

- Shan : Indice de Shannon ; Ortho : Orthoptères ; Equi : Indice d'Equitabilité ; Isopo : Isopodes ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Vers : Vers de terre ; Hemi : Hémiptères ; Rich : Richesse spécifique ; Coleo : Coléoptères ; Aran : Araneae ; Abon : Abondance ; Hyme : Hyménoptères ; Gast : Gastropodes ; Dipte : Diptères ; Isop : Isoptères ; Dicty : Dictyoptères et Myria : Myriapodes ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

Le constat général qui se dégage est que les macro-invertébrés sont diversement corrélés au stock de carbone organique du sol : dans les palmeraies, la corrélation est positive avec les Vers de terre, Coléoptères et Araneae. Avec les Gastéropodes, Diptères, Isoptères et Myriapodes, la corrélation est plutôt négative (Figure 30).

Sous les cacaoyères, toutes les corrélations ressorties entre le stock de carbone du sol et l'ensemble des variables relatives aux peuplements des macro-invertébrés collectés sont avérées négatives (Figure 31). Sous les hévéas, seuls les Hémiptères et Myriapodes sont positivement corrélés au stock de carbone du sol (Figure 32).

Au total, les Diptères, les Vers et les Coléoptères affichent une corrélation négative au stock de carbone des sols des trois agrosystèmes étudiés.

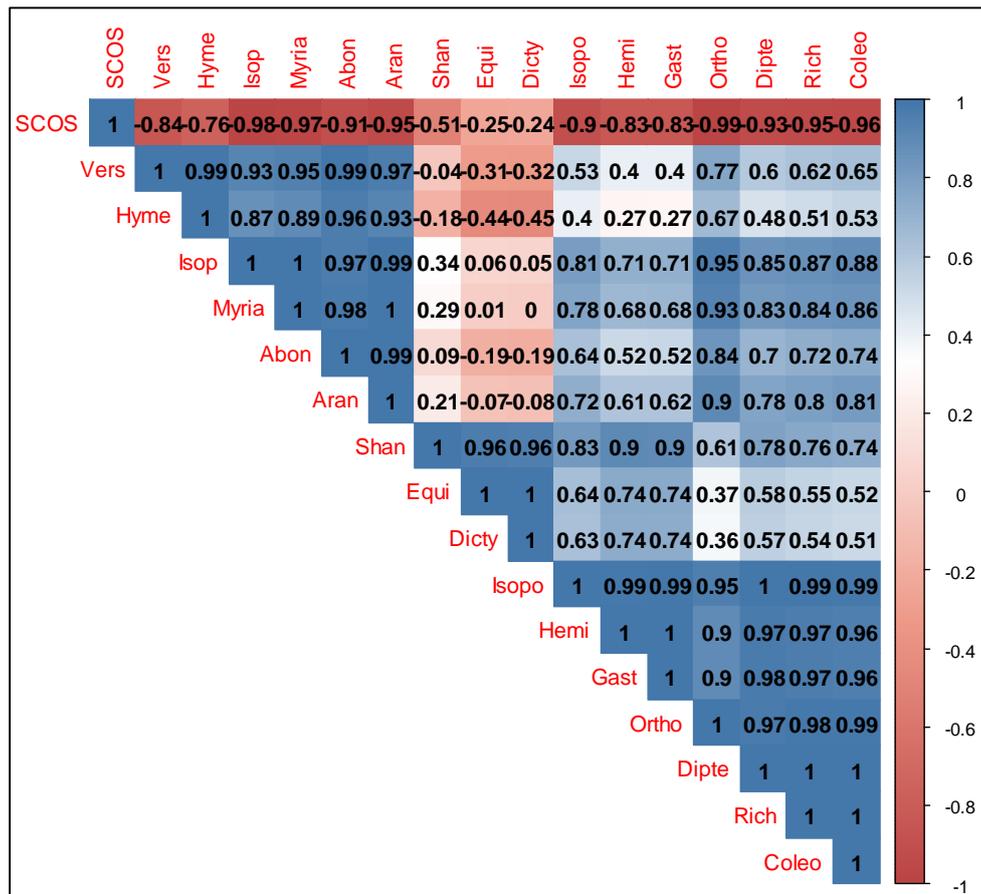


Figure 31 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous les cacaoyers

- Shan : Indice de Shannon ; Ortho : Orthoptères ; Equi : Indice d'Équitabilité ; Isopo : Isopodes ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Vers : Vers de terre ; Hemi : Hémiptères ; Rich : Richesse spécifique ; Coleo : Coléoptères ; Aran : Araneae ; Abon : Abondance ; Hyme : Hyménoptères ; Gast : Gastropodes ; Dipte : Diptères ; Isop : Isoptères ; Dicy : Dictyoptères et Myria : Myriapodes ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

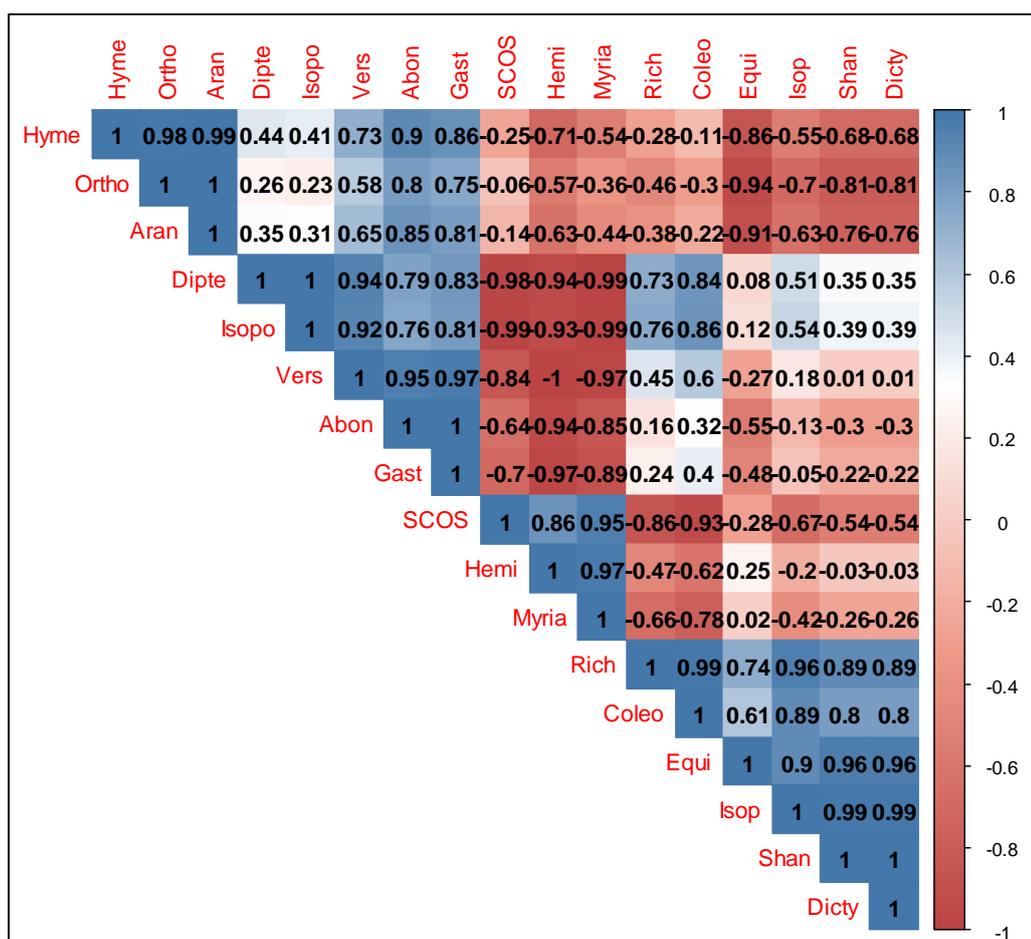


Figure 32 : Corrélogrammes de Pearson montrant les relations entre le stock de carbone et les peuplements de macro-invertébrés sous hévéas

- Shan : Indice de Shannon ; Ortho : Orthoptères ; Equi : Indice d'Equitabilité ; Isopo : Isopodes ; SCOS : Stock de Carbone Organique du Sol ; Vers : Vers de terre ; Hemi : Hémiptères ; Rich : Richesse spécifique ; Coleo : Coléoptères ; Aran : Araneae ; Abon : Abondance ; Hyme : Hyménoptères ; Gast : Gastropodes ; Dipte : Diptères ; Isop : Isoptères ; Dicty : Dictyoptères et Myria : Myriapodes ;
- Pour les valeurs négatives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = -0,7 ;
- Pour les valeurs positives de r, les liens établis sont significatifs au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation de r = 0,7.

## III.2. DISCUSSION

Les résultats de cette étude seront discutés dans quatre (04) paragraphes : le premier a trait à la morphologie et aux caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés ; le second porte sur les caractéristiques des peuplements des macro-invertébrés récoltés dans les sols ; le troisième résultat discuté est en lien avec les stocks de carbone organique ressortis des sols et les déterminants de leur stockage ; le quatrième résultat discuté, pour finir, fait le bilan des corrélations entre le stock de carbone et les différentes propriétés des sols.

### III.2.1. Morphologie et caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

On note à ce niveau que les sols explorés peuvent être classés en deux groupes selon leur morphologie. Le premier groupe assemble les sols de plateaux utilisés pour la cacaoculture et l'hévéaculture. Le second groupe est constitué par les sols de bas-fonds utilisés pour la culture du palmier à huile.

#### III.2.1.1. Sols de plateaux

Les sols sous cacaoyers et sous hévéas sont très profonds, très différenciés en horizons et caractérisés par une absence totale de minéraux primaires. La couche humifère de ces sols est mince (10 à 12 cm) alors que les couches organo-minérales ou minérales sous-jacentes sont très épaisses et très colorées (rouge à rouge foncé). Les particules fines, les argiles notamment, ont tendance à s'accumuler dans les couches profondes alors que les couches superficielles sont plus sableuses. L'ensemble de ces couches demeure toutefois très faiblement chargé en éléments grossiers (0 à  $7,77 \pm 5,21$  pc). Par ailleurs, ces sols sont acides ou peu acides, avec une acidité plus relevée dans les horizons B. L'ordre de grandeur de la capacité d'échange cationique au niveau du profil est de  $13,81 \pm 0,62$  cmol.kg<sup>-1</sup> quand celle de la somme des bases d'échangeables vaut  $4,4 \pm 0,71$  cmol.kg<sup>-1</sup>. Le taux saturation en bases moyen est estimé à  $31,48 \pm 5,29$  pc.

Ce résultat d'ensemble cadre avec la description faite sur les sols ferrallitiques en général et, particulièrement sur les sols ferrallitiques dans le département de Daloa (Dabin *et al.*, 1960 ; Boissezon, 1973 ; Atlas, 2007). Le processus évolutif principal de ces sols est la ferrallitisation qui est en grande partie dû aux caractères chaud et humide du climat de la zone. En effet, considérée comme la phase terminale de l'évolution et de l'altération des sols sous climat chaud et humide, la ferrallitisation se caractérise par une action de dissolution, d'hydrolyse (en milieu

neutre ou peu acide) et d'oxydation qui aboutissent à la transformation complète des minéraux primaires (sauf le quartz) et à la libération de leurs constituants essentiels, à savoir les oxydes de fer et d'aluminium, la silice et les bases. La majeure partie des bases alcalines et alcalino-terreuses et une grande partie de la silice sont entraînées à l'état soluble hors du profil. La plus grande partie du fer et de l'aluminium y est maintenue, entraînant l'acidification de ces sols. Finalement, la composition minéralogique du profil se réduit à l'existence d'un résidu de minéraux primaires très résistants à l'altération, le quartz pour l'essentiel, qui apparaît sous forme de sable, d'où l'omniprésence du sable dans les deux couches explorées (texture sablo-limoneuse dans les horizons A et argilo-sableuse ou limono-sableuse dans les horizons B) (Duchaufour, 1977). D'autres produits de synthèse tels que la kaolinite (argile de néoformation pauvre en silice), l'hydroxyde d'alumine (gibbsite, rarement boémite et produits amorphes) et surtout les hydroxydes et oxydes de fer (goéthite, hématite et produits amorphes) seraient à l'origine de la coloration brun rouge constatée dans les horizons B, si l'on se réfère à Duchaufour (1977). Aussi, malgré l'apport annuel souvent considérable de débris organiques d'origine végétale aux sols ferrallitiques, la litière est peu importante, elle se décompose très rapidement à cause du climat (Boissezon, 1973). Cela explique que la couche humifère des sols de plateaux dans la zone, qui fait à peine 12 cm, est ainsi très mince.

Les phénomènes secondaires actifs qui affectent en général les sols ferrallitiques, à savoir, le remaniement, l'induration, l'appauvrissement, le rajeunissement et le lessivage ont été observés à des degrés divers. Le remaniement se caractérise en général par la présence d'un horizon riche en éléments grossiers quand l'induration du sol est due à une concentration de sesquioxides de fer. L'appauvrissement du sol se caractérise par l'exportation de l'argile et du fer hors des profils par circulation latérale (vraisemblablement par érosion superficielle), sans accumulation corrélative des matériaux entraînés dans des horizons de profondeur. Le rajeunissement affecte en général les sols des massifs accidentés (roches vertes, inselbergs et pointements granitiques) et les surfaces assez récemment façonnées par l'érosion. Ces phénomènes n'ayant pas été rencontrés, amènent à dire que les sols de plateaux étudiés sont des sols ferrallitiques typiques.

Par ailleurs, la désaturation ou le lessivage définit le transfert des divers éléments du sol vers la profondeur. Les particules minérales fixatrices (limon), oligo-éléments, métaux, ions alors quittent les couches superficielles du sol pour s'y enfoncer à la verticale sous l'action de la pluie. Le sol se retrouve alors vidé, lessivé de ses éléments nutritifs. Suivant l'intensité des

phénomènes de lessivage qui ont affecté les sols ferrallitiques en Côte d'Ivoire et l'acidité qui en est résultée, on les répartit dans deux groupes (Dabin *et al.*, 1960) : les sols ferrallitiques très lessivés, acides et les sols ferrallitiques moyennement lessivés, peu acides. Ainsi, pour être apparus peu acides (5,3 à 6,5) avec une teneur en bases échangeables variant de 5 à 8  $\text{cmol.kg}^{-1}$  et un coefficient de saturation compris entre 40 et 50 pc, les présents sols correspondent, plus précisément, à des sols ferrallitiques moyennement désaturés typiques.

### III.2.1.2. Sols de bas-fonds

Les sols de bas-fonds utilisés pour la culture des palmiers à huile dans la zone d'étude sont également très évolués comme les sols de plateaux, avec comme facteur principal, l'hydromorphie causée par la remontée dans les couches supérieures de l'eau de la nappe phréatique. Il s'agit donc de sols hydromorphes signalés par Dabin *et al.* (1960) et l'Atlas (2007). L'excès d'eau dans les sols hydromorphes en général peut conduire, suivant les cas, au maintien de la matière organique sous une forme grossière ou assurer son évolution vers une forme particulière très foncée (Dabin *et al.*, 1960). Ce dernier constat explique que la couche humifère des sols de bas-fond explorés soit apparue très épaisse (24 cm en moyenne), soit environ deux (02) fois l'épaisseur de la couche humifère des sols de plateaux.

Parmi les sous-classes de sols hydromorphes distinguées, à savoir les sols hydromorphes minéraux et les sols hydromorphes organiques (Dabin *et al.*, 1960 ; Atlas, 2007), les présents sols s'apparentent aux sols hydromorphes minéraux, qui comprennent en effet, non seulement les sols sur alluvions des terrasses fluviales comme ici, mais aussi, les sols des fonds de vallées et les sols sur sables anciens du cordon littoral. Les sols hydromorphes organiques sont, quant à eux, représentés dans les zones de tourbières basses d'origine forestière ou herbacée, où l'hydromorphie est permanente tout au long de l'année.

### III.2.2. Caractéristiques des peuplements des macro-invertébrés des sols

Au total, 66 espèces des macro-invertébrés des sols ont été récoltées sur l'ensemble des sites d'échantillonnage. Ces peuplements sont répartis en 49 espèces dans les palmeraies, 45 dans les cacaoyères et 39 espèces dans les champs d'hévéas. Ces espèces correspondent à 12 groupes faunistiques à savoir, les vers de terre, orthoptères, diptères, hyménoptères, coléoptères, hémiptères, dictyoptères, isoptères, araneae, myriapodes, isopodes et les gastropodes. Les cacaoyères ( $D = 625,33 \pm 45,75 \text{ ind.m}^{-2}$ ), plantations d'hévéas ( $D = 384 \pm$

11,57 ind.m<sup>-2</sup>) et les palmeraies ( $D = 235,23 \pm 6,38$  ind.m<sup>-2</sup>) sont apparues dans cet ordre, de moins en moins densément peuplées. Les principaux groupes taxonomiques dominants de ces milieux sont : les hyménoptères, les isoptères et les vers de terre qui représentent à eux seuls plus de 77,98 pc des individus observés. Les vers de terres sont apparus très caractéristiques des palmeraies et des plantations d'hévéas quand les coléoptères étaient mieux représentés uniquement dans les palmeraies. La faune abritée par les cacaoyères était la plus diversifiée ( $32,43 \pm 1,26$  espèces.m<sup>-2</sup> contre  $26,20 \pm 1,08$  espèces.m<sup>-2</sup> et  $24,97 \pm 0,81$  espèces.m<sup>-2</sup> dans les palmeraies et hévéas). En somme ces résultats mettent en évidence une grande diversité de macro-invertébrés dans les sols agricoles étudiés. Cette faune est inégalement répartie non seulement en fonction des milieux, mais aussi, dans un même milieu.

Ce résultat corrobore l'idée qui stipule que l'installation des cultures pérennes (caféiers, cacaoyers, hévéas, anacardiés et palmiers à huile ...) induit une importante variation de la densité et de la diversité des peuplements des macro-invertébrés du sol sur les sites de production agricole (Edwards *et al.*, 2014 ; Luke *et al.*, 2014 ; Mumme *et al.*, 2015). Parmi les sources potentielles de cette diversité des peuplements et des densités de faune du sol en général, Decaëns *et al.* (2006) citent, entre autres : la partition de niche et la ségrégation spatiale et temporelle entre espèces, la forte diversité des micro-habitats ainsi que la nature même du milieu.

En ce qui concerne la répartition inégale de la faune entre les milieux, Mackey & Lindenmayer (2001) font remarquer que les patrons de distribution des espèces (animales ou végétales) sont rarement uniformes et continus dans l'espace et le temps, de sorte que l'identification des facteurs influençant ces variations est devenue une préoccupation majeure en écologie. Aujourd'hui, les scientifiques divisent en deux catégories les facteurs conditionnant la distribution horizontale et/ou verticale des macro-invertébrés du sol : les facteurs biotiques (Takeda & Abe, 2001 ; Hassall *et al.*, 2002) et abiotiques (Ekschmitt *et al.*, 1997 ; Scheu & Poser, 1996).

En effet, en appliquant régulièrement des insecticides, herbicides et fongicides pour traiter leurs champs, produits très toxiques pour la faune du sol en général, les producteurs déciment directement des populations de certains groupes de macro-invertébrés dans des systèmes agricoles (Traoré, 2012 ; De Menezes & Soares, 2016 ; El Jaouhari *et al.*, 2022). Les groupes qui seraient résistants à ces produits assisteraient néanmoins à la destruction de leur niche (source de nourriture, groupes avec qui ils entretiennent des interactions bénéfiques, habitat).

Indirectement, ces groupes sont aussi affectés négativement. En effet, des facteurs biotiques (produits phytosanitaires), notamment, les interactions entre organismes ordonnent et modèlent en permanence les organismes du sol pour en faire une communauté organisée (ou biocénose). Ces interactions entre organismes sont d'une variété infinie et souvent très indirecte. Ce sont principalement : la neutralité entre deux espèces animales, la compétition pour la nourriture et l'espace au sein des populations, les associations par coprophagie qui prennent une importance particulière au sein des chaînes alimentaires, la niche écologique qui désigne non seulement la place d'un organisme dans le milieu (niche habitat), mais aussi et surtout, l'ensemble de ses caractéristiques écologiques (nourriture, lieux de reproduction, résistance aux facteurs du milieu, rapports avec les autres espèces ... en un mot, toutes ses conditions d'existence), la prédation, le parasitisme, le commensalisme ou coopération ou encore symbiose, la phorésie qui désigne le transport d'un animal généralement peu mobile par un autre animal sur lequel il se fixe, etc. (Bachelier, 1978). Dans le cas présent, les interactions entre l'homme et la faune étudiée semblent avoir joué aussi un rôle déterminant sur leur répartition dans les milieux.

Les ordres des hyménoptères et des blattoïdes (Arthropoda, Insecta) qui ont été les mieux représentés numériquement, à la fois sur les trois sites et selon les usages des sols, auraient des exigences écologiques non spécifiques, ce qui leur permet de se maintenir sur l'ensemble des usages des sols, malgré les fluctuations climatiques liées au temps. La quasi-totalité des individus de ces ordres appartiennent respectivement à la famille des Formicidae et des Termitidae. Il s'agit des fourmis et des termites qui forment des familles très diversifiées dont les représentants vivent en colonies très peuplées et fourragent généralement en groupe (Agosti & Alonso, 2000 ; Kenfack, 2014 ; Dao *et al.*, 2020). De plus, leur caractère polyphage et leur forte adaptabilité écologique leur permettent un grand succès écologique (Kenfack, 2014 ; Somda *et al.*, 2022). C'est ainsi que certains auteurs les qualifient d'individus les plus abondants de la macrofaune du sol (Samb *et al.*, 2014 ; Samb *et al.*, 2017 ; Somda *et al.*, 2022). Ils sont en effet, bien connus pour leur bonne représentation dans le monde et surtout dans les régions tropicales, subtropicales et semi-arides (Dao *et al.*, 2020 ; Dieng *et al.*, 2016 ; Dushimirimana, 2017 ; Samb *et al.*, 2017 ; Somda *et al.*, 2022).

Multiplés sont les facteurs abiotiques qui peuvent influencer sur les organismes de la faune du sol. Les auteurs mettent un accent en général sur : l'humidité, la porosité, la texture, la température et le degré d'acidité ou pH du sol, ainsi que la lumière que reçoit le sol et la nature chimique des litières (Vannier, 1973 ; Bachelier, 1978 ; Rakotomanga *et al.*, 2016). En toute

évidence, les sols étudiés ne sont très distincts que par leur humidité (sols frais de plateaux d'un côté et sols humides de bas-fonds de l'autre), leur texture (sols sablo-argileux de plateaux et sols sableux de bas-fonds), leur acidité moins accentuée dans les sols de plateaux et probablement par la qualité des litières produites vu que ces sols sont couverts par des cultures totalement différentes (cacaoyers, hévéas et palmiers à huile). L'effet combiné de ces facteurs serait plus favorable dans les cacaoyères que les plantations d'hévéas, puis les palmeraies, ce qui a conduit à une densité de macro-invertébrés de  $625,33 \pm 45,75 \text{ ind.m}^{-2}$  dans les cacaoyères, plus élevée que celle des hévéas ( $384 \pm 11,57 \text{ ind.m}^{-2}$ ), elle-même supérieure à la densité observée dans les palmeraies ( $235,23 \pm 6,38 \text{ ind.m}^{-2}$ ). En plus, la faune abritée par les cacaoyères est la plus diversifiée ( $32,43 \pm 1,26 \text{ espèces.m}^{-2}$  contre  $26,20 \pm 1,08 \text{ espèces.m}^{-2}$  et  $24,97 \pm 0,81 \text{ espèces.m}^{-2}$  respectivement dans les palmeraies et hévéas).

### III.2.3. Stock de carbone organique des sols et ses déterminants

Les stocks de carbone mesurés entre 100 à 120 cm des sols étudiés diffèrent légèrement d'un usage à un autre, le plus grand stock étant caractéristique des sols de cacaoyères, suivis des sols sous hévéas et sols sous palmiers. Ces sols renferment, respectivement :  $7\,916,60 \pm 1\,424,68 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $7\,626,96 \pm 973,13 \text{ g.m}^{-2}$  et  $7\,477,72 \pm 1288,48 \text{ g.m}^{-2}$ . Environ 93 % de ce stock se situent dans les 30 premiers cm des sols étudiés. Cela confirme le constat selon lequel, particulièrement en sol forestier, les stocks de COS présentent verticalement un gradient de la surface vers la profondeur (Arrouays & Péliissier, 1994 ; Elzein & Balesdent, 1995 ; Bernoux *et al.*, 1998) vu que la surface reçoit continuellement de la litière, source du carbone. Nous nous sommes donc basés sur les 30 premiers cm pour discuter des déterminants des stocks de carbone dans les sols.

Ainsi, on note que selon les types d'usage ou les classes des sols, les propriétés physiques du sol qui favorisent le stockage du carbone sont différentes :

- sous les cacaoyers, les argiles et limons impactent positivement le stock de carbone. Le stock d'eau, le sable et les éléments grossiers produisent l'effet contraire ;
- dans les sols d'hévéas, le stockage du carbone est corrélé positivement à la porosité totale du sol et négativement à la densité apparente ;
- sous les palmiers, l'argile, le limon et la densité apparente du sol sont liés aux grands stocks de carbone. Par ailleurs, les taux d'éléments grossiers ainsi que le stock d'eau expliquent aussi des stocks importants de carbone dans ce milieu. Le stock diminue dans les sols quand les taux de sable et une porosité totale importante y existent.

Globalement, comme Venkatapen *et al.* (2004) avaient observé, le relèvement du stock de carbone dans les sols par les particules les plus fines du sol, à savoir les limons et surtout les argiles, pendant que les sables abaissent ce stock, semble indiscutable. En effet, ces auteurs, lors d'une étude visant à mettre en évidence les déterminants édaphiques (minéralogie et texture du sol) et agronomiques (modes d'occupation des terres, itinéraires techniques) des stocks de carbone dans différents types de sols des Petites Antilles, et sous différents systèmes, sont arrivés à établir une corrélation positive entre le stock organique et la texture du sol. Les sols sableux avaient en général des stocks de carbone plus faibles que les sols argileux.

Spain (1990) et Amato & Ladd (1992) ont démontré ce rôle déterminant de la texture des sols dans l'accumulation du carbone. Pour eux, une augmentation du contenu en argile correspond à une diminution de la respiration hétérotrophe en raison du potentiel de protection des particules fines. La matière organique est protégée par la floculation des argiles, l'adsorption des particules minérales autour des particules organiques ou par la formation d'agrégats (micro ou macro). Les micro-agrégats sont formés par les molécules organiques qui s'associent aux particules d'argiles et aux cations polyvalents pour former une particule composée (Tisdall, 1996). Les macro-agrégats sont généralement formés par l'agrégation de plusieurs particules organiques pour n'en former qu'une seule de taille plus importante qui permettra de protéger l'intérieur de l'assemblage. Les agrégats favorisent une plus grande stabilité du carbone du fait qu'ils établissent une barrière physique entre les composés organiques et les organismes décomposeurs. C'est pour cette raison qu'ils contiendraient davantage de carbone récalcitrant (Plante & McGill, 2002). Ce qui justifie les stocks de carbone plus importants dans les sols ferrallitiques sous cacaoyers et hévéas qui sont plus fournis en argiles que dans les sols hydromorphes sableux sous palmiers à huile.

Pour les deux catégories de sols renfermant plus de carbone, les sols sous hévéas ont un plus faible stock car leur litière serait d'une meilleure qualité. Ainsi, elle serait décomposée plus rapidement par la microfaune du sol pour être rendue assimilable par les plants. Aussi, les stocks de carbone plus élevés ressortis des sols des cacaoyères sont-ils les résultats des apports d'une plus grande quantité de litières provenant des cacaoyers et des divers arbres qui leur sont associés.

Toutefois, dans tous les cas de figures, les stocks moyens de carbone observés dans les 100 à 120 premiers centimètres des sols de Daloa sont nettement inférieurs aux stocks compris entre 10 000 et 10 400 g.m<sup>-2</sup> prévus par Batjes (1999) pour les sols tropicaux en général.

Les rôles de la porosité totale, des éléments grossiers, du stock d'eau et de la densité apparente du sol sont apparus ici plutôt ambigus : les stocks étaient tantôt accrus, tantôt abaissés par ces facteurs, selon la classe ou l'usage du sol. Pourtant, selon Schonning *et al.* (1999), la porosité et le stock d'eau du sol ont une implication très précise dans le processus de stockage du carbone dans le sol : le carbone organique étant principalement situé dans les pores sous la forme de molécules adsorbées à la surface des particules minérales, la taille de ces pores influence la capacité des organismes décomposeurs à atteindre les particules organiques. Les bactéries ne peuvent pénétrer dans les pores inférieurs à 3 µm et la minéralisation du carbone organique y est donc réduite. Les sols argileux à faible porosité possèderaient ainsi un fort potentiel de protection de la matière organique face à la décomposition. Puisque la porosité du sol influence aussi le contenu d'eau volumétrique ainsi que la disponibilité en oxygène, les conditions anaérobiques qui y sont créées par l'eau, amenuisent l'activité des décomposeurs (Thomsen *et al.*, 1999). C'est ainsi que dans les sols sableux, poreux et humides sous palmiers, les éléments grossiers représentés par les sables et le stock d'eau sont-ils avérés liés à une augmentation significative du stock de carbone dans le sol. De même, nous pensons que les éléments grossiers augmentant la porosité du sol, pourraient permettre aux décomposeurs d'atteindre plus facilement les particules organiques du sol. Au contraire, un sol dense ou compact contient de moins en moins de pores, et de ce fait, aurait un potentiel élevé de protection du carbone du sol.

Relativement aux propriétés chimiques des sols, ce sont le phosphore assimilable, le potassium et le zinc qui favorisent le stockage du carbone dans les cacaoyères. Dans les sols d'hévéas, cet effet est dû au sodium, au fer et au taux de saturation en bases échangeables. Sous les palmiers, ce sont le bore, le calcium, la CEC, la somme des bases échangeables, puis le taux de saturation en bases qui sont corrélés positivement avec le stock de carbone du sol. En résumé, le stockage du carbone dans les sols étudiés dépend des paramètres chimiques qui déterminent la fertilité des sols en général : les éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium), le complexe adsorbant (CEC, somme et taux de saturation en bases) et certains cations qui constituent les oligo-éléments du sol (zinc, fer, bore). L'explication la plus logique de ce résultat provient du fait qu'une concentration élevée en nutriments dans le sol favorise la productivité

végétale et les retombées de matière organique au sol qui alimentent le stock de carbone du sol sont alors abondantes. Cependant, ces nutriments influencent aussi la décomposition de la matière organique en stimulant l'activité des organismes décomposeurs (Banville, 2009). Conformément aux résultats obtenus ici, la présence de cations multivalents comme Ca, Fe et Al favorisant l'accumulation de carbone organique dans l'ensemble des sols étudiés est rapportée par de nombreux auteurs (Spain, 1990 ; Sombroek *et al.*, 1993). Ces cations agissent comme des ligands des particules de carbone. En revanche, l'abaissement du stock est avéré corrélé positivement avec le ratio C/N et Al sous les hêvéas. Des ratios C/N élevés témoignent effectivement du fait qu'il y a trop de carbone (ou qu'il n'y a pas assez d'azote) dans le sol entraînant une minéralisation lente du carbone organique (Jacques, 2021). Par contre, le cas de l'aluminium contredit le rôle de ligand que ce cation joue habituellement entre les particules de carbone pour les stabiliser.

Quant aux propriétés biologiques des sols, il se trouve que les hémiptères et myriapodes sont liés à de grands stocks de carbone sous les hêvéas. Les vers de terre, Coléoptères et Araneae se présentent pareillement dans les palmeraies. Cette contribution des macro-invertébrés du sol à la stabilisation de la matière organique est connue à travers les biostructures que cette pédofaune crée durant son cycle de vie. Dans ces biostructures, les polysaccharides produits par les micro-organismes collent les particules ensemble dans les agrégats (Gijssman & Thomas, 1995). La présence d'un cortex autour des biostructures contribue fortement à leur stabilité structurale, créant des conditions anaérobiques qui réduisent la minéralisation en leur sein (Elliot *et al.*, 1990). Ainsi, le C organique du sol est protégé de la décomposition et la production de biostructures peut contribuer à la formation d'un pool de C physiquement protégé même s'il reste actif (Lavelle & Martin, 1992 ; Guggenberger *et al.*, 1996).

Ainsi, les vers de terre et les macroarthropodes par exemple qui ingèrent des particules de terre avec leur nourriture contribuent à la formation d'agrégats, en mélangeant matières organiques et matières minérales dans leur tube digestif. Les sécrétions intestinales et les colloïdes bactériens du tube digestif jouent le rôle de ciment sur ces agrégats. Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique et enrobante, mais également une action par les sécrétions de la microflore de la rhizosphère. Aussi, il peut y avoir plus de 5000 nids de termites par hectare (Aloni & Soyer, 1987). La masse de terre ainsi mobilisée (termitières) peut atteindre 2400 t/ha et se présente souvent sous forme de structures massives, riches en argiles et minéraux fins que les termites auront remontées depuis les horizons profonds

du sol. Les termites mélangent à ses minéraux la matière organique de leurs boulettes fécales, ce qui fait, de la termitière, une accumulation des éléments de la fertilité du sol : argile, matière organique et minéraux nutritifs.

Les isopodes, gastropodes et les diptères au contraire, sont associés à une réduction du stock de carbone dans les trois agrosystèmes étudiés, vraisemblablement du fait de leurs régimes alimentaires. En effet, habituellement détritivores, les Isopodes peuvent devenir herbivores ou carnivores (Noël & Séchet, 2007). Les gastéropodes sont, quant à eux, phytophages (GRETIA, 2010) et les diptères, phytophages, zoophages ou détritivores (Berthélemy & Lahoud, 1981). En montrant un effet négatif sur le processus de stockage du carbone dans les sols sous cacaoyers, l'ensemble des macro-invertébrés étudiés consommerait plus de litière de cacaoyers qu'elle n'en stocke.

#### III.2.4. Bilan des relations entre le stock de carbone et les différentes propriétés des sols

Les relations entre le stock de carbone du sol et les macro-invertébrés sont variables d'un agrosystème à un autre : dans les palmeraies, la corrélation est positive avec les vers de terre, coléoptères et araneae et négative avec les gastéropodes, diptères, isoptères et myriapodes. Sous les hévéas, seuls les hémiptères et myriapodes sont positivement corrélés au stock de carbone du sol. Pour le cas des cacaoyères, toutes les corrélations ressorties entre le stock de carbone du sol et l'ensemble des peuplements des macro-invertébrés collectés sont avérées négatives. Vraisemblablement, les herbicides utilisés régulièrement par les cacaoculteurs de la zone pour entretenir leurs plantations peuvent décimer les populations de la faune du sol. Celles qui survivent et qui s'adaptent à ces herbicides seraient inhibées, ce qui explique que malgré leur présence plus ou moins marquée sous les cultures explorées, leurs rôles semblent peu visibles. Les hévéaculteurs et oléiculteurs qui utilisent aussi ces mêmes produits, selon eux, emploieraient des doses plus faibles. Ces résultats sont aussi l'expression que d'autres groupes de macro-invertébrés qui n'ont pas été échantillonnés ou des populations de microorganismes du sol sont plus actifs dans le stockage du carbone dans les sols étudiés.

Par ailleurs, sous les hévéas, la porosité totale et la densité apparente du sol sont-elles liées respectivement à une augmentation et une diminution du stock de carbone dans le sol. Ces relations sont aussi inappropriées si l'on tient compte des travaux de Schonning *et al.* (1999) ayant porté sur la relation porosité-stock de carbone du sol et expliqués dans le paragraphe III.2.3. C'est également le cas pour les taux d'éléments grossiers et le stock d'eau qui induisent

des stocks importants de carbone dans les sols sous palmiers. La corrélation négative de l'aluminium avec le stock de carbone du sol sous les hévéas est également contradictoire vu le rôle de ligand que ce cation joue habituellement entre les particules de carbone pour les stabiliser (Spain, 1990 ; Sombroek *et al.*, 1993).

En somme, l'étude montre que suivant leurs modes d'usage ou leurs classes, les sols étudiés sont les sièges de mécanismes divers pour stocker le carbone du sol et lutter ainsi contre le réchauffement climatique. Dans le cadre d'une agro-écologie adaptée aux changements climatiques et pour stocker le carbone de manière pérenne quand cela est possible, les scientifiques proposent en général d'améliorer l'usage fait des sols et les pratiques de culture, notamment par l'agroforesterie et l'augmentation du couvert végétal via les associations de cultures, etc (Cardinael *et al.*, 2014). Le résultat qui est discuté ici montre qu'il est aussi très important de renforcer la connaissance sur la contribution des sols eux-mêmes aux différents processus d'adaptation au changement climatique. I-CARE & Consult (2016) appellent aussi à cette orientation de la recherche car pour eux, très peu d'études à ce jour, traitent de ce sujet.

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ces dernières années dans le département de Daloa, une des principales zones de productions agricole en Côte d'Ivoire, les saisons sèches sont devenues de plus en plus longues, ce qui fait craindre un risque réel de réchauffement climatique. Les producteurs en général n'ayant pas accès aux adaptations technologiques, pourraient toutefois compter sur les adaptations propres de leurs sols, mais encore faudrait-il que ces moyens naturels soient connus. C'est pour contribuer à cette quête que la présente étude a été initiée pour les cas des sols de plateaux utilisés en cacaoculture et hévéaculture et les sols de bas-fonds utilisés pour la culture du palmier à huile. L'étude a abouti à des résultats intéressants du point de vue scientifique.

En effet, les sols ferrallitiques utilisés pour la cacaoculture et l'hévéaculture, très profonds et très différenciés en horizons, sont sablo-argileux ou sablo-limonneux. Ces sols abritent une diversité et une densité élevées de macro-invertébrés. Leurs stocks de C sont avérés légèrement plus importants que celui des sols hydromorphes de bas-fonds sous palmiers à huile, eux aussi très profonds, bien différenciés en horizons et abritant une faune diversifiée et dense autant que les sols de plateaux.

La faune collectée est apparue corrélée positivement au stock de carbone des sols sous hévéas et palmiers à huile, ce qui est habituel, contrairement au constat fait pour les sols sous cacaoyers, qui paradoxalement, renfermaient les plus grands SCOS. On en a déduit que d'autres groupes de macro-invertébrés ainsi que des populations importantes de microorganismes du sol interviennent sous les cacaoyers pour stocker le carbone dans le sol.

D'un autre côté, dans les sols sous hévéas, les faibles stocks de carbone reliés aux cations multivalents, l'aluminium notamment, alors que ce cation est reconnu pour son rôle de lien entre les particules de carbone du sol pour les stabiliser, rajoute à l'idée que les sols peuvent développer des aptitudes particulières pour stocker le carbone organique et lutter ainsi contre le réchauffement climatique. Dans les sols hydromorphes sous palmiers à huile, alors que les différentes relations entre le stock de C et les propriétés physiques, chimiques et biologiques étaient normales, les stocks étaient les plus bas, preuve que les états d'humidité très élevée des sols inhibent le stockage du carbone dans le sol.

Au total :

- les stocks de carbone des sols sous cacaoyers, sous hévéas et sous palmiers à huile étant apparus plus élevés à moins élevés, mais de manière non significative, démontre la non vérification de la première hypothèse émise, à savoir que : les stocks de carbone

organique dans les sols sous cultures pérennes varient significativement selon les cultures ;

- la faune abritée par les cacaoyères est apparue plus diversifiée que celles des palmeraies et des hévéas. Cette faune était aussi inégalement répartie en fonction des milieux. Ces deux constats attestent la vérification de la deuxième hypothèse qui stipule que : l'usage des sols impacte le peuplement des macro-invertébrés des sols.
- en dehors de la cacaoyère, la faune du sol est apparue mieux corrélée dans les agrosystèmes avec le stock de carbone du sol que les autres propriétés du sol. Cela amène à déclarer la vérification de la troisième hypothèse de l'étude énoncée comme suit : les stocks de carbone organique des sols sont mieux expliqués par les propriétés biologiques des sols que leurs autres.

Les travaux réalisés n'ont pas pu cerner tous les paramètres de la dynamique du carbone dans les sols étudiés, en particulier les mécanismes particuliers de stockage de carbone pressentis dans les sols ferrallitiques sous cacaoyers. Cette étude devra aussi être approfondie par des recherches complémentaires qui consisteraient à :

i) déterminer la vitesse de décomposition de la litière et la composition chimique des feuilles des différentes cultures de l'étude ;

ii) réaliser une caractérisation plus approfondie des autres composantes de la macrofaune non abordée par l'étude et de la microfaune, puis déterminer les contributions de cette pédofaune au stockage du carbone dans le sol ;

iii) étendre l'étude à plusieurs agrosystèmes en comparaison avec des forêts primaires et secondaires, pour mieux déterminer les facteurs influençant les variables des propriétés physico-chimiques et des peuplements des macro-invertébrés des sols en fonction des types d'usage des sols.

# RÉFÉRENCES

- Abobi A.H.D., Angui T.K.P. & Kouadio Y.J. (2014). Influence de la fertilisation à base des coques de cacao sur les paramètres chimiques d'un ferralsol et sur la croissance du maïs (*Zea mays* L.) à Oumé, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 82 : 7359 -7371.
- Adhikari K. & Hartemink A.E. (2016). Linking soils to ecosystem services, a global review. *Geoderma*, 262: 101 - 111.
- Affholder F., Forest F., Lidon B. & Valony M.J. (2006). La gestion de l'eau. *In* : Mémento de l'agronome. Edition GRET & CIRAD, Montpellier (France), 648 p.
- Agosti D. & Alonso L.E. (2000). The ALL protocol: A Standard Protocol for the Collection of Ground-Dwelling Ants. *In* : Ant : Standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington DC (USA) : 204 - 214.
- Aguilar-Ibarra A. (2004). Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse, France), 147 p.
- Aloni K. & Soyer J. (1987). Cycle des matériaux de construction des termitières d'humivores en savane au Shaba méridional (Zaïre). *Revue Zoologique Africaine*, 101 : 329 - 357.
- Alvarez G., Chaussod R., Cluseau D., Godden B., Lemarie C.H., Metzger L., Nicolardot B., Parat J. & Salducci X. (2002). Activités biologiques et fertilité des sols : intérêts et limites de méthodes analytiques disponibles. ITAB, Paris (France), 27 p.
- Amato M.A. & Ladd L.N. (1992). Decomposition of <sup>14</sup>C-labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 455 - 464.
- Aouar S.M. (2009). Systématique, écoéthologie des abeilles (Hyménoptères : Apoïdæ) et leurs relations avec la culture de la fève (*Vicia faba*) sur champs dans la région de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat en éthologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Tizi-Ouzou, Algérie), 268 p.
- Araya T., Gebremedhin A., Baudron F., Hailemariam M., Birhane E., Nyssen J., Govaerts B. & Cornelis W. (2021). Influence of 9 years of permanent raised beds and contour furrowing on soil health in conservation agriculture based systems in Tigray region. Ethiopia. *Land Degradation and Development*, 32 (3) : 1525 - 1539.
- Ardouin A. (2014). Guide pratique pour la description des sols de France. Conservatoire d'Espaces Naturels de Bourgogne, 24 p.
- Armas-Herrera C.M., Dignac M.-F., Rumpel C., Arbelo C.D. & Chabbi A. (2016). Management effects on composition and dynamics of cutin and suberin in topsoil under agricultural

- use. *European Journal of Soil Science*, 67 : 360 - 373.
- Arrouays D. & Pélissier P. (1994). Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Science*, 157 : 185 - 192.
- Atlas (2007). Le département de Daloa. Géologie et pédologie, 12p.
- Aubert G. (1965). Classification des sols : Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous-groupes des sols utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM. *Cahiers ORSTOM, Série pédologie*, 3 (3) : 269 - 288.
- Aude L. (2013). Prévalence de pathogènes humains dans les sols français, effet des facteurs pédoclimatiques, biologiques et du mode d'utilisation des sols. Thèse de Doctorat, École Doctorale Environnements - Santé, Université de Bourgogne (Bourgogne, France), 7 - 14 p.
- Avenard J.M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf D.L.P., Guillaumet J.L., Adjanohoun E. & Perraud A. (1971). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mémoires ORSTOM*, 50 : 77 - 108.
- Azlan A., Weng A., Ibrahim C.O. & Noorhaidah A. (2013). Correlation between Soil Organic Matter, Total Organic Matter and Water Content with Climate and Depths of Soil at Different Land use in Kelantan, Malaysia. *Journal of Applied Science & Environmental Management*, 16 (4) : 353 - 358.
- Bachelier G. (1974). Action de la faune du sol sur l'humification des matériaux végétaux. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 10 (4) : 453 - 473.
- Bachelier G. (1978). La faune des sols, son écologie et son action ». *Initiation-Documentations Techniques n° 38, Mémoire ORSTOM*, Paris (France), 391 p.
- Baize D. & Girard M.C. (2008). Référentiel pédologique. Editions Quae, Paris (France), 200 p.
- Baize D. & Jabiol B. (2011). Guide pour la description des sols. Nouvelle édition, Paris (France), 448 p.
- Baize D. (1988). Guide des analyses courantes en pédologie. Editions INRA, Paris (France), 172 p.
- Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. 2<sup>ème</sup> Edition INRA revue et augmenté, Paris (France), 100 p.
- Baize D. (2016). Petit lexique de pédologie. Éditions Quæ, Versailles Cedex (France), 28 p.
- Bakayoko Y. (2020). Qualité biologique du sol d'une vieille caféière en reconversion à Daloa : cas des communautés des macro-invertébrés. Mémoire de master, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 45p.

- Baldock J.A. & Skjemstad J.O. (2000). Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic. *Organic Geochemistry*, 31 : 697 - 710.
- Ballot C.S.A., Mawussi G., Atakpama W., Moita N.M., Yangakola T.M., Zinga I., Silla S., Kperkouma W., Dercon G. & Komlan B. (2016). Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au Centre-Sud de Centrafrique. *Agronomie Africaine*, 28 (1) : 9 - 23.
- Banville J.L. (2009). Caractérisation des stocks de carbone de 5 types de formations végétales dans un secteur du bassin versant de la rivière Eastmain, Baie James. Mémoire de Maîtrise en Géographie, Université du Québec (Montréal, Canada), 157 p.
- Barima Y.S.S., Kouakou A.T.M., Bamba I., Sangne Y.C., Godron M., Andrieu J. & Bogaert J. (2016). Cocoa crops are destroying the forest reserves of the classified forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast). *Global Ecology Conservation*, 8 : 85 - 98.
- Barré P., Durand H., Chenu C., Meunier P & Montagne D. (2017). Geological control of soil organic carbon and nitrogen stocks at the landscape scale. *Geoderma*, 285 :50 - 56.
- Barthes B. (1991). Influence des caractères pédologiques sur la répartition spatiale de deux espèces du genre EPERUA (CAESALPINIACEAE) en forêt guyanaise (dispositif "Forêt naturelle" du C.T.F.T. à Paracou, Sinnamary, Guyane). *Mémoire ORSTOM*, Cayenne (France), 17 p.
- Batjes N.H. (1999). Management options for reducing CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. *International Soil Reference and Information Centre*, Wageningen (Netherlands), 114 p.
- Beare M.H., McNeill S.J., Curtin D., Parfitt R.L., Jones H.S., Dodd M.B. & Sharp J. (2014). Estimating the organic carbon stabilisation capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. *Biochemistry*, 120 : 71 - 87.
- Benahmed M. (2017). Effet des précipitations sur la distribution du Zn et du Pb issus de retombées atmosphériques dans le sol : Cas de la fonderie de Tiaret (ALFET). Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement, Option : Sciences du sol, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences de l'Environnement, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes (Tiaret, Algérie), 174 p.
- Bernoux M., Arrouays D., Cerri C. & Bourennane H. (1998). Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). *Soil Science*, 163 : 941 - 951.

- Bernoux M., Feller C., Eschenbrenner V., Cerri C.C. & Cerri C.E.P. (2006). Soil carbon sequestration. *In* : Soil Erosion and Carbon Dynamics. *CRC Publisher*, Boca Raton, FLoride (USA), 13 - 22.
- Berthélemy C. & Lahoud M. (1981). Régimes alimentaires et piéces buccales de quelques perlodidae et perlidae des Pyrenées (*Plecoptera*). *Annales de Limnologie*, 17 (1) : 1 - 24.
- Blanchart E. & Jean Trap J. (2020). Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services écosystémiques en agriculture. *Étude et Gestion des Sols*, 27 : 121 - 134.
- Bliefert C. & Perraud R. (2001). Chimie de l'environnement Air-Eau-Sols, déchets. Edition Paris, Paris (France), 360 p.
- Blondel J. (1969). Synécologie des passereaux résidents et migrateurs dans le midi méditerranéen français. Thèse de Doctorat en Ecologie. Centre de Recherche et de Développement Pédagogiques (Marseille, France), 240 p.
- Boa D. (1989). Caractérisation des propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires : cas de Boro-Borotou. Thèse de Doctorat-Ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire (Abidan, Côte d'Ivoire), 131 p.
- Bohlen J.P., Pelletier M.D., Groffman M.P., Fahey J.T. & Fisk C.M. (2004). Influence of earthworm invasion on redistribution and retention of soil carbon and nitrogen in northern temperate forests. *Ecosystems*, 7 : 13 - 27.
- Boissezon D.P. (1973). Les matières organiques des sols ferrallitiques. *In* : Les sols ferrallitiques. *Mémoire ORSTOM*, 4, Paris (France) : 9 - 66.
- Borcard D., Legendre P. & Drapeau P. (1992). Partialling out the Spatial Component of Ecological Variation. *Ecology*, 73 (3): 1045 - 1055.
- Bossuyt H., Six J. & Hendrix P.F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 37 : 251 - 258.
- Bouché M.B. (1972). Lombriciens de France. Ecologie et systématique. INRA, Paris (France), 200 p.
- Bouillon A. & Mathot G. (1965). Quel est ce termite Africain. *Zoologie*, n°1, Léopoldville (Republique Démocratique du Congo), 115 p.
- Boyer J. (1982). Facteurs de Fertilité et utilisation des sols. *In* : Les sols ferrallitiques. Tome X. Initiations - documentations techniques, *Mémoire ORSTOM*, 52, Paris (France) : 274 - 302.
- Bressoud F., Navarrete M. & Mazollier C. (2009). Le maraîchage et la production de légumes

- biologiques : ajuster la production et la commercialisation. Transitions vers l'agriculture biologique. Editions Quae, Paris (France), 101 p.
- Briones M.J.I. (2014). Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2: 1 - 22.
- Bronick C.J. & Lal R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124: 3 - 22.
- Bureau F., Guenat C., Huner K. & Vedy J. C. (1994). Dynamique des sols et de la végétation en milieu alluvial carbonaté. *Ecologie*, 25(4) : 217 - 230.
- Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J., Cole C.V., Schimel D.S. & Flach K. (1989). Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. *Soil Science Society of American Journal*, 53 : 800 - 805.
- Burrow C. (2015). Influence des modalités de restauration de sols dégradés sur leur colonisation par une faune du sol fonctionnelle. Thèse de Doctorat, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, Université Lille 1 (Lille, France), 312 p.
- Calvet R. (2003). Le sol : propriétés et fonctions - Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Editions France Agricole, Dunod, 456 p.
- Camacho N.R. (2004). Mise au point d'un système de bioindication de la qualité du sol basé sur l'étude des peuplements de macroinvertébrés. Thèse de doctorat en science de la vie et de la terre, Université Paris 6, France, 296 p.
- Cambou A. (2019). Evaluation du stock et de la stabilité du carbone organique dans les sols urbains. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre et Environnement, Ecole doctorale Ecologie, Géosciences, Agronomie et Alimentation, Université Bretagne Loire, (Loire, France), 293 p.
- Cameron E.K., Martins I.S., Lavelle P., Mathieu J., Tedersoo L., Gottschall F. & Guerra C.A. (2018). Global Gaps in Soil Biodiversity Data. *Nature Ecology & Evolution*, 2 (7) : 1042 - 1043.
- Cardinael R., Chevallier T., Barthès B., Dupraz C. & Chenu C. (2014). Impact de l'agroforesterie sur le stock de carbone organique du sol sous climat méditerranéen. 12<sup>ème</sup> Journées d'Etude des Sols, tenues du 30 juin au 4 juillet, Le Bourget du Lac, France 184 - 185 p.
- Carvalhais N., Forkel M., Khomik M., Bellarby J., Jung M., Migliavacca M., Mu M., Saatchi S., Santoro M. & Thurner M. (2014). Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 514 (7521) : 213 - 217.

- Chabalier P.F., Van-De-Kerchove V. & Saint-Macary H. (2006). Le sol, milieu vivant et complexe. *In* : Guide de la fertilisation organique à La Réunion. Chambre d'Agriculture Réunion, Saint-Denis (La Réunion), 27 - 28 p.
- Chamayou H. & Legros J.P. (1989). Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Paris : Presses universitaires de France Agence de coopération culturelle et technique, 593 p.
- Chenu C., Angers D., Barré P., Derrien D. & Balesdent J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188: 41 - 52.
- Chenu C., Roger-Estrade J., Gascuel C. & Walter C. (2018). Soils. a factor in plant production: Agroecosystems. *In*: Soils as a Key Component of the Critical Zone 1: Functions and Services. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, London (Angleterre): 147 - 162.
- Chevallier T., Razafimbelo T. M., Chapuis-Lardy L. & Brossard M. (2020). Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Rome/Marseille. FAO/IRD, 268 p
- CILSS. (2016). Les paysages de l'Afrique de l'Ouest. Une fenêtre sur un monde en pleine évolution. Ouagadougou, Burkina Faso, 236 p.
- Clere E. & Bretagnolle V. (2001). Disponibilité alimentaire pour les oiseaux en milieu agricole : Biomasse et diversité des arthropodes capturés par la méthode des pots pièges. *Revue d'Ecologie la Terre et la Vie*, 56 : 275 - 297.
- CNTIG. (2016). Migration, étalement urbain et accès à la terre dans le péri-urbain à Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). Daloa, Côte d'Ivoire, 11 p.
- Coiffait H. (1960). Les coléoptères du sol. Supplément n° 7 : Vie et Milieu. Bulletin du Laboratoire Arago. *Actualités Scientifique et Industrielle*, 1260 : 204 p.
- Corbeels M., Marchão R.L., Neto M.S., Ferreira E.G., Madari B.E., Scopel E. & Brito O.R. (2016). Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Scientific Reports*, 6: 1 - 8.
- Cosentino D., Chenu C. & Le Bissonnais Y. (2006). Aggregate stability and microbial community dynamics under drying-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (8): 2053 - 2062.
- Costa-Junior C., Corbeels M., Bernoux M. & De cassia Piccolo M. (2013). Assessing oil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. *Soil and Tillage Research*, 134: 207 - 212.

- Csuzdi C & Tondoh J.E. (2007). New and little-known earthworm species from the Ivory Coast (Oligochaeta: Acanthodrilidae: Benhamiinae and Eudrilidae). *Journal of Natural History*, 41: 2551 - 2567.
- Dabin B., Leneuf N. & Riou G. (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire à 1/2.000.000. Pédologie de l'ORSTOM, Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), 39 p.
- Dao A.N.C., Nacambo S., Sankara F., Pousga S., Coulibaly K., Nacoulma J.P., Somda I. & Kenis M. (2020). Evaluation des méthodes de piégeage des termites au nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17 (7): 2556 - 2566.
- De Menezes C.W.G. & Soares M.A. (2016). Impactos do controle de plantas daninhas e da aplicação de herbicidas em inimigos naturais. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15 (1) : 2 - 13.
- Decoopman B. (2003). Amendements organiques et effets sur les propriétés des sols de limon. *In* : Les fertilités des sols et les systèmes de cultures. Imprimerie Saint-François, Blois (France) : 167 - 176.
- Delaunoy A., Ferrie Y., Bouche M., Colin C. & Rionde C. (2013). Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. Chambre d'agriculture du Tarn et INRA de Montpellier (France). 37 p.
- Delettre. Y.R. & Lagerlöf J. (1992). Abundance and life history of terrestrial Chironomidae (Diptera) in 4 Swedish agricultural cropping systems. *Pedobiologia*. 36 : 69 - 78.
- Delvare G. & Aberlenc H-P. (1989). Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. CIRAD. Laboratoire de Faunistique. Acridologie Opérationnelle. Montpellier Cedex, France, 299 p.
- Demange J.M. (1981). Les mille-pattes. Myriapodes. Généralités, Morphologie, Ecologie et Ethologie. Détermination des espèces de France. Société nouvelle des éditions Boubée, 250 p.
- Deprince A. (2003). La faune du sol : diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 49 : 19 - 42.
- Derrien D., Dignac M.-F., Basile-Doelsch I., Barot S., Cécillon L., Chenu C., Chevallier T., Freschet G.T., Garnier P., Guenet B., Hedde M., Klumpp K., Lashermes G., Maron P.-A., Nunan N., Roumet C. & Barré P. (2016). Stocker du carbone dans les sols : quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Étude et Gestion des Sols*, 23 : 193 - 223.

- Deschaseaux A. & Ponge J.F. (2001). Evolution de la composition des profils humiques près de la base du tronc d'un chêne (*Quercus petraea*) (Mattus). *European Journal of Soil Biology*, 37 (1) : 9 - 16.
- Diack M. & Loum M. (2014). Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint Louis, dans le bas delta du fleuve Sénégal. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, 12 : 1 - 25.
- Diacono M. & Montemurro F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review *Agronomy for Sustainable Development*, 30 : 401 - 422.
- Diarra B. (2021). Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali). *Антропогенная трансформация природной среды*, (2) : 36 - 48.
- Dieng M.M., Ndiaye A.B., Ba C.T. & Taylor B. (2016). Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) de l'enclos d'acclimatation de Katané. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (4) : 1626 - 1636.
- Dimassi B., Mary B., Wylleman R., Labreuche J., Couture D., PIRAUX F. & COHAN J-P. (2014). Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188: 134 - 146.
- Diomande T. (1981). Etude du peuplement en fourmis terrioles des forêts ombrophiles climaciques et des zones antropisées de la Côte d'Ivoire méridionale. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 245p.
- Don A., Steinberg B., Schöning I., Pritsch K., Joschko M., Gleixner G. & Schulze E-D. (2008). Organic carbon sequestration in earthworm burrows. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 1803 - 1812.
- Douzals J.P. (2000). Mesures physiques de la variabilité des sols en agriculture de précision. *Sciences Eaux & Territoires*, 24 : 45 - 52.
- Dubuc Y. (2012). Les insectes du Québec : guide d'identification. Broquet Inc, 362 p.
- Duchaufour P. (1977). Pédogénèse et Classification. Tome I. *Masson*, Paris, 496 p.
- Duchez J. & Loy M. (2005). La classification ascendante hiérarchique. Projet d'analyse de données Insa. Rouen, 49 p.
- Ducroquet H., Tillie P., Louhichi K. & Gomez-Y-Paloma S. (2017). L'agriculture de la Côte d'Ivoire à la loupe, Etat des lieux des filières de production végétales et animales et revue des politiques agricoles. JRC SCIENCE FOR POLICY REPORTEUR, Luxembourg, 9 p

- Dushimirimana S. (2017). Abondance et interactions écologiques de différents groupes taxonomiques d'invertébrés du sol de la région de Bugesera du Burundi. *Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité*, 2 : 9 - 16.
- Edmond D. (2016). Des moissons éphémères : l'art de collecter et de consommer les termites sous les tropiques. *In* : Savoureux insectes : de l'aliment traditionnel à l'innovation gastronomique. Éditions Motte-Florac E. & Le Gall Philippe, France (Rennes - Marseille) 273 - 339.
- Edwards A.F., Edwards P.D., Larsen H.T., Hsu W.W., Benedick S., Chung A., Wilcove S.D. & Hamer C.K. (2014). Does logging and forest conversion to oil palm agriculture alter functional diversity in a biodiversity hotspot ? *Animal Conservation*, (17) : 163 - 173.
- Eggleton P. & Tayasu I. (2001). Feeding group, life types and the global ecology of termites. *Ecological research*, 16 : 941 - 960.
- Egli M., Wernli M., Kneisel C. & Haerberli W. (2006). Melting glaciers and soil development in the proglacial area Morteratsch (Swiss Alps): I. Soil type chronosequence. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 38(4): 499 - 509.
- Ekschmitt K., Wolters V. & Weber M. (1997). Spiders, Carabids and Staphylinids. *In*: the ecological potential of predatory macroarthropods. Marcel Dekker, New York (USA), 307 - 362.
- El Alami Idrissi N. (2013). La faune du sol : reconnaissance et biologie des principaux groupes. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3 : 60 - 65.
- El Jaouhari M., Damour G., Mauriol C. & Coulis M. (2022). Effets des pratiques agricoles sur les macro-arthropodes du sol dans les bananeraies de Martinique, *Etude et Gestion des Sols*, 29 : 77 - 91.
- Elliott H.A., Dempsey B. A. & Maille P.J. (1990). Content and Fractionation of Heavy Metals in Water Treatment Sludges. *Journal of Environmental Quality*, 19: 330 - 334.
- Elzein A. & Balesdent J. (1995). A mechanistic simulation of the vertical distribution of carbon concentrations and residence time in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 59 : 1328 - 1335.
- Engel M.S. & Krishna K. (2004). Family-group names for termites (Isoptera). *American Museum novitates*, 3432 : 1 - 9.
- FAO. (2012). Situation des plantations du monde, Rome, 66 p.
- FAO. (2015). *The Global Forest Resources Assessment. how are the world's forests changing?* Rome. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, 20 - 30.

- FAO. (2017). Carbone Organique du Sol : une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome (Italie), 52 p.
- Fardeau J-C. (2015). Des indicateurs de la fertilité des sols. *Etudes et gestion des sols*, 22 : 77 - 100.
- Floret C. & Pontanier R. (2000). La jachère en Afrique tropicale. *John Libbey Eurotext*, Paris, 236 - 241.
- Fondrillon M. (2009). À propos des recherches sur les terres noires urbaines: dépasser le concept d'attente. *Archéologie Médiévale*, 39 : 1 - 16.
- Freyssinel G. (2007). Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agroforestiers. Programme CASDAR Agroforesterie 2006/08, Centre de Transfert de Montpellier SupAgro (France), 46 p.
- Fujisaki K., Chevallier T., Chapuis-Lardy L., Albrecht A., Razafimbelo T., Masse D., Ndour Y.B. & Chotte J-L. (2018). Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259: 147 - 158.
- Gayan A., Nath D. J., Bhattacharyya B. & Dutta N. (2020). Assessment of soil quality indicators under rice ecosystem of Assam. India. *Journal Environmental Biology*, 41 : 1655 - 1664.
- Gbenyedji J.N., Kotoklo E.A., Amevoin K. & Glitho I.A., 2011. Diversité spécifique des termites (Isoptera) dans deux plantations de tecks (*Tectona grandis* L.) au sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(2), 755-765.
- George M. C. (2005). Insectes. Araignées et autres Arthropodes terrestres. Larousse, Paris (France), 255 p.
- Gibbs K.H., Brown S., Niles O.J. & Foley A.J. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2: 30 - 43.
- Gijsman A.J. & Thomas R.J. (1995). Aggregate size distribution and stability of an Oxisol under legume-based and pure grass pastures in the eastern Columbian savannas. *Australian Journal of Soil Research*, 33: 153 - 165.
- Gobat. J-M., Aragno M & Matthey W. (2010). Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. 3<sup>ème</sup> Edition, *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, 817 p.
- Gockowski J. & Sonwa D.J. (2011). Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO<sub>2</sub> emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rainforest of West Africa. *Environmental Management*, 48 : 307 - 321.

- Godement V. (2022). Le monde compte plus de 866 millions d'agriculteurs. <https://www.reussir.fr/le-monde-compte-866-millions-dagriculteurs> [Consulté en 2023].
- Godet J-P. (2010). Intérêt des Isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols. Thèse de Doctorat en écologie, Université Lille 1 (Lille, France), 231 p.
- Godet. J-P., Demuyneck S., Waterlot C., Lemièrre S., Souty-Grosset C., Scheiffler R., Douay F., Leprêtre A. & Pruvot C. (2011). Growth and metal accumulation in *Porcellio scaber* exposed to poplar litter from Cd-, Pb- and Zn-contaminated sites. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74: 451 - 458.
- Grassé P. (1982). Termitologia. Tome I. Anatomie-Physiologie-Reproduction des Termites. Masson, Paris(France), 676 p.
- Grassé P.P. (1986). Termitologia. Tome III. Comportement, Socialité, Ecologie, Evolution, Systématique. *Fondation Singer-Polignac*, Masson, Paris (France), 715 p.
- Gray J.S. & Pearson. T.H. (1982). Objective selection of sensitive species indicative of pollution induced change in benthic communities. Comparative methodology. *Marine Ecology Progress Series*, 9 : 111 - 119.
- GRETIA (2010). Inventaire des invertébrés continentaux des estrans rocheux et sableux de Basse-Normandie. Rapport pour la Région Basse-Normandie, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la DREAL de Basse-Normandie, le Conseil général de la Manche et le Syndicat mixte Calvados Littoral Espaces Naturels, 136 p.
- Guéi A.M., N'Dri J.K., Zro F. G., Bakayoko S. & Tondoh J.E. (2019). Relationships between soil morpho-chemical parameters and earthworm community attributes in tropical agro-ecosystems in the center-west region of Ivory Coast, Africa. *Tropical Ecology*, 60 : 209 - 218.
- Guggenberger G., Frey S.D., Six J., Paustian K. & Elliott E.T. (1996). Bacterial and Fungal Cell-Wall Residues in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 63 (5): 1039 - 1482.
- Guo L.B. & Gifford R.M. (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 8: 345 - 360.
- Haddaway N.R., Hedlund K., Jackson L.E., Kätterer T., Lugato E., Thomsen I.K., Jørgensen H. B., Isberg P-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6 (1) : 30 - 48.

- Hamaidi F. (1992). Etude systématique, biogéographique et écologique des *Araneae* et *Carabidae* dans le pâturage du massif de Djurdjura. Thèse de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Bab Ezzouar, Alger), 210 p.
- Hartmann P., Schleiter M. & Fischer R. (1989). Soil fauna comparison in healthy and declining Norway spruce stands. *Ecological Studies*, 77: 137 - 50.
- Hassall M., Tuck J.M., Smith D.W., Gilroy J.J. & Addison R.K. (2002). Effects of spatial heterogeneity on feeding behaviour of *Porcellio scaber* (Isopoda: Oniscidea). *European Journal of Soil Biology*, 38: 53 - 57.
- Henry M., Belem M., D'Annunzio R. & Bernoux M. (2020). Les stocks de carbone des sols d'Afrique de l'Ouest. In : Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Rome/Marseille : 35 - 41.
- Hevia G.G., Buschiazzi D.E., Hepper E.N., Urioste A.M. & Antón E.L. (2003). Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma*, 116: 265 - 277.
- Holec M. & Frouz J. (2006). The effect of two ant species *Lasius niger* and *Lasius flavus* on soil properties in two contrasting habitats. *European Journal of Soil Biology*, 42 (1): 213 - 217.
- Holt J.A. & Lepage M. (2000). Termites and soil properties. In: Termites. evolution. sociality. symbiosis. ecology. Editions Kluwers, *Academic Publishing*, 389 - 407.
- Hoogmoed W. & Klaij M. (1994). Caractéristiques physiques des sols. In : Le travail du sol pour une agriculture durable. 1<sup>ère</sup> Editions. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome (Italie), 90 p.
- Hopkin S.P. (1991). A key to the Woodlice of Britain and Ireland. *Field Studies*, 7: 599 - 650.
- Hopkin S.P., Watson K., Martin M.H. & Mould M.L. (1985). The assimilation of heavy metal by *Lithobius variegatus* and *Glomeris marginata* (Diplopoda. Chilopoda). *Bijdragen tot de Dierkunde*. 55: 88 - 94.
- Hunter B. A., Johnson M.S. & Thompson. D.J. (1987). Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem I. Soil and vegetation contamination. *Journal Applied Ecology*, 24 : 573 - 86.
- I-CARE & Consult (2016). Sols et Changement climatique : Impacts et Adaptation. Etat des lieux de la recherche et identification de pistes de recherche. Rapport final d'étude, Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (Paris, France), 93 p.

- ICEF & ENSEA (2002). L'économie locale du département de Daloa. Rapport d'étude, Programme ECOLOC I, 144 p.
- INS (2021). Recensement Général de la Population et de l'Habitat en Côte d'Ivoire. Rapport d'activités de l'INS, Abidjan (Côte d'Ivoire), 37 p.
- ISO (2015). Norme NF ISO 11074, qualité du sol. 120 p.
- Jacques F. (2021). Evaluation de la fertilité de différents types de buttes de style permacole. Master Bio-ingénieur en Sciences Agronomiques, UFR Agro-Bio Tech (GxABT), Université de Liège-Gremloux (Liège, Bruxelles), 62 p.
- Jangorzo N.S. (2013). Quantification du processus d'agrégation dans les Technosols, Thèse de Doctorat en Sciences Agronomique, Ecole Doctorale : Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits, Environnement, Université de Lorraine (France), 203 p.
- Jarecki, M. & Lal, R. (2003). Crop Management for soil carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22 (6): 471 - 502.
- Jenny H. (1941). Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. *McGraw Hill Book Company*, New York (USA), 281 p.
- Jónsson J.Ö.G. & Davíðsdóttir B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145 : 24 - 38.
- Jouquet P., Ngo T.P., Nguyen H.H., Henry-des-Tureaux T., Chevallier T. & Duc T.T. (2011). Laboratory investigation of organic matter mineralization and nutrient leaching from earthworm casts produced by *Amyntas khami*. *Applied Soil Ecology*, 47: 24 - 30.
- Jouquet P., Velde D. E. B., Mery T. & Lepage M. (2002). Effect of termites on soil mineralogy in a tropical soil. *In: Rapport Symposium International Congress of Soil Science n°03, Bangkok (Thaïlande)*, 1 - 9 p.
- Kadi S. (2015). Organisation de la faune édaphique dans deux habitats forestiers de la région d'El Kala : la subéraie et le maquis. Thèse de Doctorat, faculté des sciences, Département de biologie, Université Badji Mokhtar (Annaba, Algérie), 124 p.
- Kaiser K. & Kalbitz K. (2012). Cycling downwards - dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 52: 29 - 32.
- Kallenbach C.M., Frey S.D. & Grandy A.S. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*, 7 : 13 - 30.
- Karas F. (2009). Etat des lieux des connaissances sur les Invertébrés continentaux des pays de la Loire. Bilan final du Groupe d'Etude des Invertébrés Armoricaïns, 372 p.

- Kenfack F.P. (2014). Contribution à la connaissance de la faune de la litière dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers de Bokito (Région du Centre, Cameroun). Master en Biologie et Physiologie Animales, Option : Zoologie, Laboratoire de zoologie, Université de Yaoundé 1 (Cameroun), 68 p.
- Kibblewhite M.G., Ritz K. & Swift M.J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 363: 685 - 701.
- Kitabala M.A., Tshala U.J., Kalenda M.A., Tshijika I.M. & Mufind K.M. (2016). Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 102 : 9669 - 9679.
- Koffié B.C.Y. & Kra K.S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire". *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*. 2 : 95 - 103.
- Konan L. N., Yapo G. R., Koné A. W., N'Guessan D. J. A., & Yao-Kouamé A. (2021). Stockage de la matière organique du sol sous les principales espèces d'arbustes dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire). *Étude et Gestion des Sols*, 28, 207 - 218
- Konaté S & Kampmann D. (2010). Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome III, Volume III : Côte d'Ivoire. Abidjan (Côte d'Ivoire) & Frankfurt/Main. 254 p.
- Konaté S., Le Roux X., Verdier B. & Lepage M. (2003). Effect of underground fungus-growing termites on carbon dioxide emission at the point and landscape-scales in an African savanna. *Functional Ecology*, 17 : 305 - 314.
- Koné W.A., Kassin E.K., Ettien J-B.D. Konaté Z. & Gnahoua G.M. (2020). Le carbone des sols des zones de forêts et de savanes en Côte d'Ivoire : Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses *In* : Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. IRD Éditions, Rome - Marseille : 193 -210.
- Kooke G.X., Ali R.K.F.M., Djossou J-M., Toko-Imorou I. (2019). Estimation du stock de carbone organique dans les plantations d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. Des forêts classées de Pahou et de Ouèdo au Sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (1): 277 - 293.
- Kouamé N. F. (1998). Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la Forêt Classée du Haut Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 227 p.

- Kouassi B.S.T. (2018). Défis de politique, de développement et de durabilité du caoutchouc naturel en Côte d'Ivoire, International Rubber Conference and IRRDB Annual Meeting, 22 - 24 october 2018, Abidjan, Côte d'Ivoire, 16 p.
- Koukougnon W.G. (2020). Résilience des établissements hôteliers de Daloa à l'inconstance de la desserte en eau potable (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, 33 (34) : 289 - 309.
- Koumba M., Mipounga H. K., Koumba A.A., Koumba C.R.Z., Mboye B.R., Liwouwou J.F., Mbega J.D. & Mavoungou J.F. (2017). Diversité familiale des macroinvertébrés et qualité des cours d'eau du Parc National de Moukalaba Doudou (Sud-Ouest du Gabon). *Entomologie Faunistique*. 70 (3): 107 - 120.
- Lal R (2020). Food security impacts of the "4 per Thousand" initiative. *Geoderma*, 374 : 114427. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114427> [Consulté le, en 2023]
- Lal R. (2014). Soil Conservation and Ecosystem Services. *International Soil and Water Conservation Research*, 2: 36 - 47.
- Langewald J., Mitchell J.D., Maniania N.K. & Kooyman C. (2003). Microbial control of termites in Africa. In: P. Neuenschwander, C. Borgameister, and J. Langewald, editors. *Biological control in IPM systems in Africa*. CAB International, Wallingford, UK.
- Lavelle P. & Martin A. (1992). Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on dynamics of organic matter of moist savanna soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 : 1491 - 1498.
- Lavelle P. (1978). Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : Peuplements. Population et Fonctions dans l'écosystème. *Publication du Laboratoire Zoologique, École normale supérieure*, 12 : 301.
- Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O. W. & Dhillion S. (1997). Soil function in changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33: 159 - 193.
- Lavelle P., Chauvel A. & Fragoso C. (1995). Faunal activity in acid soils. In *Plant Soil Interactions at Low pH*. Editions Kluwer Academic Publisher, Netherlands: 201 - 211.
- Lavelle P., Decaëns T., Aubert. M., Barot. S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora. P. & Rossi J.P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: 3 - 15.
- Legendre L. & Legendre P. (1984). *Ecologie numérique*, 2<sup>ème</sup> Editions. Presses de l'Université du Québec, Masson, Paris (France), 335p.

- Legros J. P. (2009). La salinisation des terres dans le monde. *In Proc. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier Conférence*, 40 (69) : 257 - 269.
- Lehmann J. & Kleber M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528 : 60 - 68.
- Lembrouk L. (2012). Impact de pollution industrielle générée par l'Electro-Industries d'Azazga et l'Enterprise Nationale des Entreprises Electroménagères d'Oud Aissi sur la faune du sol. Magister à Université Mouloud Mammeri (Tizi-Ouzou, Algérie), 146 p.
- Levêque A. (1972) : Les trois principaux types de toposéquences et les grands traits de la pédogenèse sur socle cristallophyllien du centre du Togo. Bulletin liaison, Thème B, No 3, *Mémoire ORSTOM*, 15 - 28.
- Ligban R., Goné L.D., Kamagaté B., Saley M.B. & Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre-Ouest de la Cote d'Ivoire). *International Journal of Biological and chemical Science*, 3 (1): 38 - 47.
- Lowery B. et R. T. Schuler. (1996). Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. *Soil and Tillage Research*, 29 : 205 - 210.
- Luke H.S., Fayle M.T., Eggleton P., Turner C.E. & Davies G.R. (2014) Functional structure of ant and termite assemblages in old growth forest, logged forest and oil palm plantation in Malaysian Borneo. *Biodiversity Conservation*, 23 : 2817 - 2832.
- Lyousseoufi A., Armand E., Rieux R. & Faivre-D'arcier F. (1990). Influence de la réduction de la lutte chimique en verger de poirier sur l'évolution de la communauté de prédateurs : comparaison avec certains modèles. *ANPP 2<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture*, 12 - 14 Octobre 1990, Versailles, France, 583 - 590p.
- Mackey B.G. & Lindenmayer D.B. (2001). Toward a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography*, 28: 1147 - 1166.
- Maelfait J. P. (1996). Soil spiders and bioindication. *In: Bioindicator Systems for Soil Pollution. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 165 - 178.
- Magrini M.J., Freitas A.V.L. & Uehara-Prado M. (2011). The effects of four types of anthropogenic disturbances on composition and abundance of terrestrial isopods (*Isopoda: Oniscidea*). *Zoologia*, 28 (1) : 63 - 71.
- Marion R. (2017). Impact des pratiques culturales maraîchères sur les stocks de carbone des sols réunionnais. Master en Sciences de la terre, environnement et écologie, Spécialité

- Biodiversité et écosystèmes continentaux, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Bordeaux Aquitaine, Université de Bordeaux (France), 74 p.
- Martin M.P., Wattenbach M., Smith P., Meersmans J., Jolivet C., Bouillon L. & Arrouays D. (2011). Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeo-science*, 8 : 1053 - 1065.
- Mboukou-Kimbatsa I.M.C. (1997). Les macroinvertébrés du sol sous différents systèmes d'agriculture au Congo : Cas particulier de deux systèmes d'agriculture traditionnels (écobuage et brûlis) dans la vallée du Niari. Thèse de doctorat en écologie animale, Université Pierre et Marie Curie (Paris, France), 163 p.
- McCauley A., Jones C., Olson-Rutz K. (2017). Soil pH and Organic Matter. *Nutrient Management*, 8: 1 - 16.
- MEA (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. *Island Press*, Washington DC. (U.S.A), 155 p.
- Michel B. & Bournier J.P. (1997). Les auxiliaires dans les cultures tropicales, Beneficials. *In tropical crops. Edition CIRAD*, Montpellier (France): 88.
- Miltner A., Bombach P., Schmidt-Brücken B. & Kästner M. (2012). SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111 (1) : 41 - 55.
- MINEFCI. (2017). La forêt, une priorité du gouvernement. Magazine d'informations du Ministère des Eaux et Forêts. N°1 / octobre 2017. 9p.
- MINEFCI. (2020). Regard sur la gestion durable des ressources naturelles. Magazine d'informations du Ministère des Eaux et Forêts. N°9 / juillet 2020. 3p.
- MINUSS (2014). L'agriculture africaine, 'vecteur de croissance'. Rapport d'étude, Mission des Nations Unis au Soudan du Sud, 28 p.
- Mohammedi L. & Lounis S. (2015). Abondance saisonnière des invertébrés du sol sous cultures fourragères : Cas du trèfle et de l'orge. Master en Sciences Agronomiques, Option : Protection des Plantes Cultivées, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri (Tizi-Ouzou, Algérie), 60 p.
- Mora P., Miambi E., Jimenez J.J., Decaens T. & Rouland C. (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1043 - 1048.
- Mumme S., Jochum M, Brose U, Haneda F.N. & Barnes D.A. (2015) diversity and stability of litter-invertebrate communities following land-use change in Sumatra, Indonesia. *Biological Conservation*, 191 : 750 - 758.

- Munsell (1988). *Soil Color Charts*. Munsell Color Company - x-rite.
- Nielsen U.N., Ayres E., Wall D.H. & Bardgett R.D. (2011). Soil biodiversity and carbon cycling : a review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. *European Journal of Soil Science*, 62 : 105 - 116.
- Noël F. & Séchet E. (2007). Crustacés Isopodes terrestres du Nord-Ouest de la France (Crustacea, Isopoda, Oniscidea). Clé de détermination et références bibliographiques. *Invertébrés Armoricaïns*, 2 : 1 - 48.
- Norris K., Asase A., Collen B., Gockowski J., Mason J., Phalan B. & Wade A.S.I. (2010). Biodiversity in a forest-agriculture mosaic - the changing face of West African rainforests. *Biological Conservation*, 143 : 2341 - 2350.
- Ogle S., Alsaker C., Baldock J., Bernoux M., Breidt F. J., Mcconkey B., Regina K. & Vazquez-Amabile G. (2019). Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, 9: 11 - 15.
- Olsen S.R. & Sommers L.E. (1982). Phosphorus. In: *Methods of soil analysis*. Ed Page adison. Wisc, *American Society of Agronomy, and. Soil Science Society of America*, 403 - 430.
- Olson K.R., Al-Kaisi M., Lal R. & Lowery B. (2014a). Examining the paired comparison method approach for determining soil organic carbon sequestration rates. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69: 193 - 197.
- Olson K.R., Al-Kaisi M.M., Lal R. & Lowery B. (2014b). Experimental Consideration, Treatments, and Methods in Determining Soil Organic Carbon Sequestration Rates. *Soil Science Society of America Journal*, 78: 348 - 355.
- Pansu M. & Gautheyrou J. (2003). L'analyse du sol minéralogique, organique et minérale. Edition Springer, Paris (France), 1012 p.
- Paoletti M.G. & Cantarino C.M. (2002). Sex ratio alterations in terrestrial woodlice populations (*Isopoda: Oniscidea*) from agroecosystems subjected to different agricultural practices in Italy. *Applied Soil Ecology*, 19 (2): 113 - 120.
- Pardo A., Amato M. & Chiarandà F.Q. (2000). Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. *European Journal of Agronomy*, 13: 39 - 45.
- Park Y.S, Céréghino R, Compin A & Lek S. (2003). Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insects species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 265 - 280.

- Pauwels J.M., Van Ranst E., Verloo M. & Mvondo-Ze.A. (1992). Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses des sols et des plantes. Equipement, gestion des stocks de verrerie et produits chimiques. Publications agricoles n° 28, Bruxelles (Belgique), 265 p.
- Pellerin S., Bamière L., Launay C., Martin R, Schiavo M., Angers D., Augusto L., Balesdent J., Basile-Doelsch I., Bellassen V., Cardinael R., Cécillon L., Ceschia E., Chenu C., Constantin J., Joël Darroussin J., Delacote P., Delame N., Gastal F., Gilbert D., Graux A-I., Guenet B., Houot S., Klumpp K., Letort E., Litrico I., Martin M., Menasseri S., Mézière D., Morvan T., Mosnier C., Roger-Estrade J., Saint-André L., Sierra J., Théron O., Viaud V., Gâteau R., Le Perchec S., Savini I. & Réchauchère O. (2021). Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ? Éditions Quæ, Versailles (France), 117 p.
- Pey B. (2010). Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des Technosols. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Laboratoire Sols et Environnement, Ecole Doctorale : Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits et Environnement, Nancy-Université *INPL* (Nancy, France), 304 p.
- Philippeau G. (1992). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? Service des Etudes Statistiques-ITCF, Belgique, 63 p.
- Piélou E.C. (1969). An introduction to mathematical ecology. Wiley Intersciences, New York (USA), 285 p.
- Pignard G., Dupouey J. C., Arrouays D. & Loustau D. (2004). Carbon stocks estimates for French forests. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 4 (4) : 285 - 289.
- Pingali PL. (2012). Green revolution : impacts, limits and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 : 12302 - 12308.
- Plante A.F. & McGill W.B. (2002). Soil Aggregate Dynamics and the Retention of Organic Matter in Laboratory-Incubated Soil with Differing Simulated Tillage Frequencies. *Soil and Tillage Research*, 66 : 79 - 92.
- Ponge J. F. (2000). Biodiversité et biomasse de la faune du sol sous climat tempéré. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 134 p.
- Poutouli W., Silvie P. & Aberlenc H.P. (2011). Hétéroptères phytophages et prédateurs d'Afrique de l'Ouest. Edition Quæ, CTA, Paris (France), 79 p.

- Powlson D, Stirling C, Thierfelder C, White R, Jat M.L. (2016). Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agroecosystems? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220: 164 - 174.
- Pribyl D. (2010). A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*. 156 : 75 - 83.
- PRICI (2016). Financement additionnel au projet d'urgence de renaissance des infrastructures. Rapport final du Cadre de gestion environnementale et sociale, 68 p.
- Radcliffe D.E. & Šimunek J. (2010). Soil physics with HYDRUS: modeling and applications, 1<sup>ère</sup> Editions, *CRC Press Boca Raton*, Floride (USA), 300 p.
- Rakotomanga D., Blanchart E., Rabary B., Randriamanantsoa R., Razafindrakoto M. & Autfray P. (2016). Diversité de la macrofaune des sols cultivés sur les Houtes Terres de Madagascar. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 20(4) : 495 - 2045.
- Ramade F. (1984). Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. *Editions Mc Graw Hill*, Paris (France), 403 p.
- Ramade F. (1993). Equitabilité in Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Edition Science Internationale, Paris (France), 822 p.
- Ramade F. (2003). Elément d'écologie : Ecologie fondamentale, 3<sup>ème</sup> Edition, Dunod, Paris (France), 690 p.
- Rasse D., Rumpel C. & Dignac M. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269 (1): 341 - 356.
- Razafimbelo T., Albrecht A., Feller C., Ravelojaona H., Moussa N., Razanamparany C., Rakotoarinivo C., Razafintsalama H., Michellon R., Naudin K. & Rabeharisoa L. (2010). Stockage de carbone dans les sols sous-systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) dans différents contextes pédoclimatiques à Madagascar. *Etude et Gestion des Sols*, 17 (2) : 143 - 158.
- Razafimbelo T., Razakamanarivo H., Rafolisy T., Rakotovao N., Saneho T., Andriamananjara A., Fanjaniaina M-L., Rakotosamimanana S., Deffontaines S., Falinirina V., Bernard L., Masse D., Albrecht A. (2015). Climate smart practices impact soil organic carbon storage in Madagascar. *Climate Smart Agriculture Symposium*, 15 & 19 March 2015, Montpellier (France), 1 - 19 p.
- Razanamalala K. (2017). Priming effect : vers un outil de gestion de la fertilité des sols cultivés à Madagascar. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Ecole Doctorale des sciences agronomiques, Université de Montpellier supagro (Montpellier, France), 211 p.

- Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M. & Tan C.S. (2008). Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146 : 466 - 474.
- Roger-Estrade J., Boizard H., Richard G., Defosse P. & Boiffin J. (2004). Étude de l'effet à moyen et long termes des systèmes de culture sur la structure d'un sol limono-argileux du nord du bassin parisien : les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-mons (80). *Etude et Gestion des Sols*, 11: 11 - 20.
- Rossi J.P. (2003). The spatiotemporal pattern of a tropical earthworm species assemblage and its relationship with soil structure. *Pedobiologia*, 47: 497 - 503.
- Rousk J., Brookes P.C. & Bååth E. (2009). Contrasting Soil pH Effects on Fungal and Bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 : 1589 - 1596.
- Roy N. (1974). Recherche sur l'écologie des Isoptères de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). 1<sup>o</sup>- Introduction et Milieu. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire. Série A, Sciences naturelles*, 36 (2) : 291 - 371.
- Ruf F. (2009). Les cycles du cacao en Côte d'Ivoire : la mise en cause d'un modèle. In : le modèle ivoirien en questions. Crises, ajustements, recompositions, *Karthala-ORSTOM*. Paris (France), 249 - 264.
- Ruiz N., Jérôme M., Léonide C., Christine R., Gérard H., Etienne I & Patrick L. (2011). IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrates communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 2032 - 2045.
- Rumpel C., Amiraslani F., Chenu C., Cardenas MG. & Kaonga M. (2020). The 4p1000 initiative : opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio*, 49 : 350 - 360.
- Rumpel C., Chabbi A. & Marschner B. (2012). Carbon Storage and Sequestration in Subsoil Horizons: Knowledge. Gaps and Potentials. In: *Recarbonization of the Biosphere*. Springer Dordrecht, Pays-Bas: 445 - 464.
- Sahnoune R. (2014). Analyse et Caractérisation physico-chimique des Sols d'Entreposage de la station de Pétrole (Bejaia). Master en Valorisation des Ressources minérales, Faculté de technologie, Département des mines et géologie, Université Abderahmane Mira-Bejaia (Bejaia, Algérie), 86 p.
- Salducci X. (2007). Qualité des matières organiques des sols : une nouvelle génération d'analyses de routine. 8<sup>èmes</sup> journées de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre

- GEMAS-COMIFER, Fertilisation raisonnée et analyse de terre : quoi de neuf en 2007, 20-21 novembre 2007, Blois, France, 1 - 9p.
- Samb T., Ba C.T. & Ndiaye A.B. (2014). Etude de l'effet des cannes de petit mil et de la fumure d'ovins et de caprins sur la macrofaune du sol en zone sahélienne (Matam, Sénégal). *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire, Série A*, 53 (2) : 101 - 115.
- Samb T., Cissé A. & Ndiaye A.B. (2017). Diversité de la macrofaune du sol dans les parcelles de reboisement de la grande muraille verte au Sénégal. *European Scientific Journal*, 15 (13) : 185 - 194.
- Sands W.A. (1992). The termite genus *Amitermes* in Africa and the Middle East. *Natural Resources Institute Bulletin*, 51: 120 - 140.
- Sands W.A. (1998). The identification of worker castes of termite genera from soils of Africa and the Middle East. *CAB International*, New York DC. (USA), 500 p.
- Scheu S. & Poser G. (1996). The soil macrofauna (Diplopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near trunks in a beechwood on limestone: indication for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology*, 3: 115 - 125.
- Schiefer J, Lair G.J, Lüthgens C, Wild E.M & Steiner P. (2018). The increase of soil organic carbon as proposed by the "4/1000 initiative" is strongly limited by the status of soil development - a case study along a substrate age gradient in Central Europe. *Science of The Total Environment*, 628 - 629 : 840 - 847.
- Schvartz C., Muller J.-C. & Decroux J. (2005). Guide de la fertilisation raisonnée : Grandes cultures et prairies. France Agricole, Paris (France), 46 p.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1963). The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, n° 1, Illinois (USA), 125 p.
- Shannon C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27: 623 - 656.
- Sharma S.K., Ramesh A., Sharma M.P., Joshi O.P., Govaerts B., Steenwerth K.L. & Karlen D.L. (2010). Microbial community structure and diversity as indicators for evaluating soil quality. In: Biodiversity. Biofuels. Agroforestry and Conservation Agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews*, Dordrecht Springer, 5: 317 - 358.
- Six J., Bossuyt H., Degryze S. & Denef K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79: 7 - 31.

- Six J., Conant R.T., Paul E.A. & Paustian K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241: 155 - 176.
- Smith P. (2004). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology*, 10 (11): 1878 - 1883.
- Snyder. B.A. & Hendrix. P.F. (2008). Current and potential roles of soil macroinvertebrates (Earthworms, Millipedes and Isopods). in ecological restoration. *Restoration Ecology*. 16 (4): 629 - 636.
- Soltner D. (1992). Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol. Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19<sup>ème</sup> Edition Sainte Gemmes sur Loire, Angers (France), 200 p.
- Sombroek W.G., Nachtergaele F.O. & Hebel A. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22: 417 - 426.
- Somda B. B., Ouattara B., Zomboudre G., Traore M., Vanek S., Kabore R., Diasso C., Nacro H. B & Sedogo P. M. (2022). Effets de pratiques agroécologiques sur la macrofaune dans les lxisols ferriques en zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 36 (3): 734 - 744.
- Song, B., Niu, S., Zhang, Z., Yang, H., Li, L. & Wan, S. (2012). Light and Heavy Fractions of Soil Organic Matter in Response to Climate Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe. *PLoS One*, 7 (3): 20 - 31.
- Sousa Junior J.G.A, Cherubin M.R., Oliveira B.G., Cerri C.E.P. & Cerri C.C. (2018). Three-year soil carbon and nitrogen responses to sug-arcane straw management. *Bioenergy Research*, 11 : 249 - 261.
- Soussana J-F., Lutfalla S., Ehrhardt F., Rosenstock T. & Lamanna C. (2019). Matching policy and science : rationale for the ‘4 per 1000 - soils for food security and climate’ Initiative. *Soil Tillage Research*, 188 : 3 - 15.
- Spain A.V. (1990). Influence of environmental conditions and some soil chemical properties on the carbon and nitrogen contents of some Australian rainforest soils. *Australian Journal of Soil Research*, 28 : 825 - 839.
- STIPA (1982). Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sol en banque de données. Système de transfert de l'information pédologique et agronomique, STIPA. 2<sup>ème</sup> Edition, 1982, INRA, CIRAD-LRAT, Montpellier (France), 125 p.
- Stork N.E., Grimbacher P.S., Storey R., Oberprieler R.G., Reid C. & Slipinski S.A. (2008). What determines whether a species of insect is described? Evidence from a study of tropical forest beetles. *Insect Conservation and Diversity*, 1: 114 - 119.

- Takeda H. & Abe T. (2001). Templates of food-habitat resources for the organization of soil animals in temperate and tropical forests. *Ecological Research*, 16 : 961 - 973.
- Thibault C. & Lecompte F. (2018). Gestion de la fertilité des sols en cultures légumières et maraîchères. Rapport d'étude du GIS Piclég (France), 72 p.
- Thomsen I.K., Schjønning P., Jensen B., Kristensen K. & Christensen B.T. (1999). Turnover of organic matter in differently textured soils. Microbial activity as influenced by soil water regimes. *Geoderma*, 89: 199 - 218.
- Tisdall L.M. (1996). Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In : Structure and organic matter storage in agricultural soil. *Collection Advance in soil Science*, CRC press, Floride (USA), 7 - 87.
- Tondoh E.J. & Lavelle P. (2005). Population dynamics of *Hyperiodrilus africanus* (Oligochaete: Eudrilidae) in Ivory Coast. *Journal of Tropical Ecology*, 21 : 1 - 8.
- Tra Bi C. S. (2013). Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1759) de la région d'Oumé en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 252 p.
- Traore M. (2012). Impact des pratiques agricoles (rotation, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au Centre Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat en Développement Rural, Option : Système de Productions Végétales, Spécialité : Science du Sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Bobo-Dioulasso, Burkina Faso), 169 p.
- Traoré S. (2008). Impact des termitières épigées sur la régénération et la dynamique des écosystèmes de savanes : cas de la forêt classée de Tiogo. Thèse de Doctorat ès Sciences Biologiques Appliquées, UFR des Science de la Vie et de la Terre, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 189 p.
- Trigalet S., Chartin C., Kruger I., Carnol M., Van Oost K. & Van-Wesemael B. (2017). Soil organic carbon fractionation for improving agricultural soil quality assessment-a case study in Southern Belgium (Wallonia). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 21 (3): 191 - 200.
- Tubiello F.N., Salvatore M., Ferrara A.F., House J. & Federici S. (2015). The contribution of agriculture, forestry and other Land use activities to global warming, 1990 - 2012. *Global Change Biology*, 21 : 2655 - 2660.
- USDA (1987). Soil mechanics level I. Module 3. USDA Soil conservation service. Washington DC. (USA), 53 p.

- UTCATF (2018). Fiche pays Côte d'Ivoire, la Côte d'Ivoire à la reconquête de ses forêts, 1 - 15.
- Vågen T-G., Lal R. & Singh B.R. (2005). Soil carbon sequestration in sub-Saharan Africa : a review. *Land Degradation & Development*, 16 : 53 - 71.
- Veldkamp E, Marcus-Schmidt M, Powers J.S & Corre M.D. (2020). Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1 : 590 - 605.
- Venkatapen C. (2012) Étude des déterminants géographiques et spatialisation des stocks de carbone des sols de la Martinique. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université des Antilles-Guyane, Pointe-à-Pitre (Guyane), 334 p.
- Venkatapen C., Blanchart E., Bernoux M. & Burac M. (2004). Déterminants des stocks de carbone dans les sols et spatialisation à l'échelle de la Martinique. *Les cahiers du PRAM*, (4) : 31 - 34.
- Veron G. (2002). Organisation et classification du monde animal. Edition Nathan, Paris (France), 145 p.
- Vidal A., Quenea K., Alexis M. & Derenne S. (2016). Molecular fate of root and shoot litter on incorporation and decomposition in earthworm casts. *Organic Geochemistry*, 101: 1 - 10.
- Wagai R., Mayer L.M., Kitayama K. & Knicker H. (2008). Climate and parent material controls on organic matter storage in surface soils: A three-pool, density-separation approach. *Geoderma*, 147, 23 - 33.
- Walkley A. & Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter. and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34: 29 - 38.
- Walser M., Mathis D. S., Köchli R., Stierli B., Maeder M. & Brunner I. (2021). Le sol forestier vit-diversité et fonctions des organismes vivants du sol. *Notice pour le Praticien*, 60 : 1 - 12.
- Walter C.H., Bispo A., Chenu C., Langlais-Hesse A.L., Schwartz C.H. (2015). Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. Agriculture et Foncier-Concurrences entre Usages des sols et entre Usagers des sols Agricoles : La Question Foncière Renouvelée. *Editions Cahier Demeter*, Paris (France), 15: 51 - 68.
- Wei X., Shao M., Gale W. & Li L. (2014). Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. *Scientific Reports*, 4: 40 - 62.

- Wiesmeier M., Mayer S., Burmeister J., Hübner R. & Kögel-Knabner I. (2020). Feasibility of the 4 per 1000 initiative in Bavaria : a reality check of agricultural soil management and carbon sequestration scenarios. *Geoderma*, 369 (8) : 114333. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114333> [Consulté le, 2023)].
- Wise D.H. (1993). Spiders in Ecological webs. *Cambridge University Presses*, Cambridge (Royaume-Uni), 328 p.
- WRB (2014). Systèmes Internationale de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes, cartes pédologiques mise à jour 2015.
- Yeo K. (2006). Dynamique spatiale et diversité des fourmis de la litière et du sol dans la mosaïque forêt-savane en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 211p.
- Zakem E.J., Cael B.B. & Levine N.M. (2021). A unified theory for organic matter accumulation. *National Academy of Sciences*, 118 (6): 1 - 22.
- Zanh G.G., Koua K.A.N., Kouakou K.A. & Barima Y.S.S. (2018). Saturation foncière à la périphérie de la Forêt Classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) durant la période de 1990 à 2016. *Tropicultura*, 36 (2) : 171 - 1 82.

# ANNEXES

## Annexe 1 : Fiche de description des profils pédologiques

## Description de l'environnement

Localité : ..... Position topographique : ..... Pente (pc) : ..... Coordonnées de la parcelle.....

Dimension de la fosse : ..... Occupation du sol : ..... Itinéraires cultureux : .....

Type de végétation : .....Apparition d'éléments grossiers en surface : .....Taille (dm ou m) : .....

Nature :..... Micro relief : .....Trace d'érosion hydrique .....

## Tableau descriptif des fosses

N° de la fosse... ; Coordonnées géographiques de la fosse .....

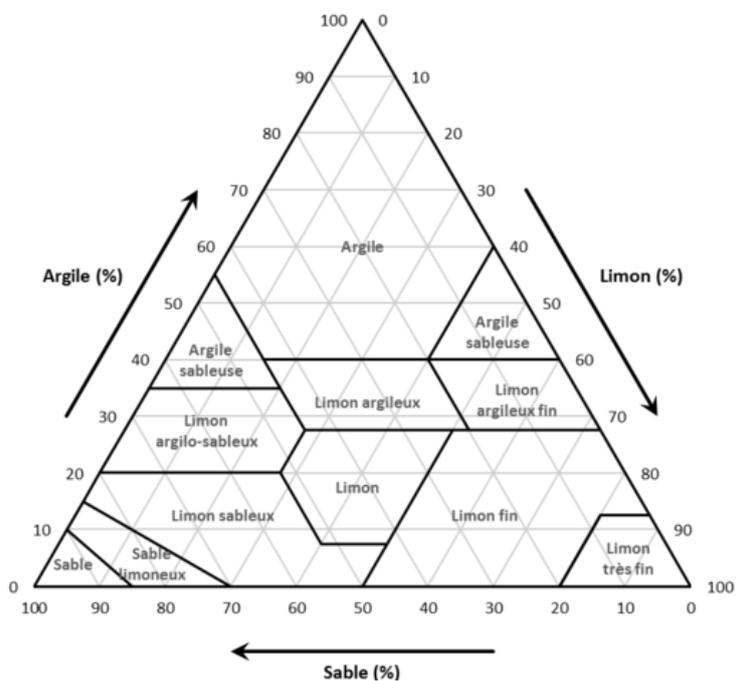
| Horizon | Profondeur | Couleur | MO | Porosité | Compacité | Humidité | Hydromorphie | Limite | Transition | Racines | Texture | Structure | Charge EG |
|---------|------------|---------|----|----------|-----------|----------|--------------|--------|------------|---------|---------|-----------|-----------|
| H1      |            |         |    |          |           |          |              |        |            |         |         |           |           |
| H2      |            |         |    |          |           |          |              |        |            |         |         |           |           |
| H3      |            |         |    |          |           |          |              |        |            |         |         |           |           |
| H4      |            |         |    |          |           |          |              |        |            |         |         |           |           |
| H5      |            |         |    |          |           |          |              |        |            |         |         |           |           |

MO : Imprégnation du sol en matière organique ; EG : Volume du sol occupé par les éléments grossiers

Synthèse et conclusion de la description : .....

.....

## Annexe 2 : Diagramme textural de l'USDA



## Annexe 3 : Quelques représentants de la macrofaune recensés sur les différents sites d'étude



A-*Dichogaster* sp. (Vers de terre) ; B-*Archispirostreptus gigas* (Myriapode) ; C-*Gryllus megacephalus* (Gryllon) ; D-*Grammostola* sp. (Araignée) ; E-*Lissachatina fulica* (Gastéropode) ; F-*Tenebrio obscurus* (Coléoptère).

**PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS  
SCIENTIFIQUES TIRÉES DE LA THÈSE**

## **Publication N°1 :**

**Toure B.,** Zro B. G. F., Abobi A. H. D., Youl E. H. (2023). Potentiel de stockage du carbone organique dans des sols sous trois types de cultures pérennes (cacao, hévéa et palmier à huile) dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 39: 878 - 886.

## **Potentiel de stockage du carbone organique dans des sols sous trois types de cultures pérennes (cacao, hévéa et palmier à huile) dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

### **[ Soil organic carbon storage potential under three types of perennial crops (Cocoa, hevea and oil palm) in the department of Daloa (Centre-West of Côte d'Ivoire) ]**

*Toure Bessimory, Zro Bi Gohi Ferdinand, Abobi Akéré Hebert Damien, and Youl Ery Hortense*

Département d'Agropédologie, Unité de Formation et de Recherche en Agroforestérie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In the department of Daloa, one of the main agricultural areas of Côte d'Ivoire, the change in land use is so enormous that it threatens the ecosystems and, with them, the services provided, in particular the stabilization of the climate via carbon storage in vegetation and soils. Thus, one of the major environmental challenges to be met in this department is to determine, among the crops grown, those that have a significant potential for reducing CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere by conserving existing carbon reservoirs in the soil. This is the objective that was targeted in the present study. It consisted in choosing in three different villages, three same crops (cocoa tree, hevea and oil palm) among the most practiced. The physico-chemical properties of the soils were determined from three soil pits located on a useful plot of 10000 m<sup>2</sup> by land use. The carbon stocks contained in the first 100 to 120 cm of the soils were calculated. It emerged that soils under cocoa trees store carbon better than soils under hevea. The latter have greater potential than soils under oil palms. However, the stocks measured remain low overall, which shows that the farming practices assessed should be improved.

**KEYWORDS:** Soil, organic carbon stock, climate change, land use, Daloa.

**RESUME:** Dans le département de Daloa, une des principales zones agricoles de la Côte d'Ivoire, le changement de l'utilisation des terres est si énorme qu'il menace les écosystèmes et, avec eux, les services fournis, notamment la stabilisation du climat via le stockage du carbone dans la végétation et les sols. Ainsi, l'un des défis environnementaux majeurs à relever dans ce département est de déterminer parmi les cultures pratiquées, celles qui ont un potentiel important de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en conservant les réservoirs de carbone existants dans les sols. C'est cet objectif qui était visé dans la présente étude. Elle a consisté à choisir dans trois villages différents, trois mêmes cultures (cacaoyer, hévéa et palmier à huile) parmi les plus pratiquées. Les propriétés physico-physiques des sols ont été déterminées à partir de trois fosses pédologiques implantées sur une parcelle utile de 10000 m<sup>2</sup> par usage de sol. Les stocks de carbone contenus dans les 100 à 120 premiers cm des sols ont été calculés. Il est ressorti que les sols sous cacaoyers stockent mieux le carbone que les sols sous hévéas. Ces derniers ont un potentiel plus important que les sols sous palmiers à huile. Toutefois, les stocks mesurés demeurent globalement faibles, ce qui montre que les pratiques culturales évaluées devraient être améliorées.

**MOTS-CLEFS:** Sol, stock de carbone organique, changement climatique, usages du sol, Daloa.

## 1 INTRODUCTION

Depuis son accession à l'indépendance, la Côte d'Ivoire ayant basé son économie sur l'agriculture, a vu la destruction d'une grande partie de sa surface forestière au détriment des cultures pérennes. En effet, de 12 millions d'hectares en 1960 à 4 millions d'hectares en 2000, le couvert forestier ivoirien est réduit aujourd'hui à environ 2,5 millions d'hectares [1, 2]. La majorité de cette déforestation est réalisée au profit d'une agriculture de rente dominée par le couple café et cacao [3]; à cela, s'ajoute d'autres cultures d'exportation comme l'hévéa, l'anacardier et le palmier à huile. Ces différentes cultures sont cultivées tant au sud, à l'est, à l'ouest qu'au centre-ouest où est situé le département de Daloa, une des principales zones agricoles du pays.

Ces dernières années, la recherche sur le changement climatique a avancé de manière remarquable [4]. Certaines de ces recherches confirment que les émissions de gaz à effet de serre provenant des activités humaines telles que l'industrialisation, le changement d'utilisation de terres et l'exploitation démesurée des ressources naturelles sont responsables du réchauffement climatique que l'on observe actuellement sur Terre [5].

Ainsi, pour le département de Daloa, le défi environnemental majeur est de déterminer parmi les pratiques culturelles adoptées par les paysans, celles qui ont un potentiel important de réduction ou de prévention des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en conservant les réservoirs de carbone dans les sols. Ces pratiques pourraient être conseillées aux différents acteurs du secteur agricole. C'est dans ce cadre que la présente étude a été initiée. Elle vise globalement à évaluer les stocks de carbone organique emmagasinés dans les sols sous palmeraies, cacaoyères et plantations d'hévéa à l'effet de comparaison de l'efficacité des pratiques culturelles correspondantes dans la lutte contre le réchauffement climatique.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude a été réalisée dans trois villages (Tapeguhé, Zepreguhé, Tahiraguhé) du département de Daloa, situé entre 6° et 6°45' de Longitude Ouest et 6°30' et 7°20' de Latitude Nord (Figure 1). Ce département est le Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. Selon [6], ce département est très humide avec un climat à quatre saisons: la grande saison des pluies qui s'étend d'avril à mi-juillet est marquée par des intersaisons et des orages; elle est suivie par la petite saison sèche (mi-juillet à mi-septembre) et la petite saison des pluies (mi-septembre à novembre); la grande saison sèche couvre les mois de décembre à mars.

Annuellement, la température moyenne est de 25,6 °C. Les saisons sèches et humides alternent avec des températures variant de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne. Les pluies annuelles sont passées de 1868,5 mm en 1968 à 1120,4 mm en 2005, soit une baisse de 40 pc [7]. Au plan hydrographique, le département est arrosé par le fleuve Sassandra et par son affluent la Lobo dont les ramifications le Dé et le Goré inondent le département, donnant lieu à de nombreux bas-fonds cultivables.

La végétation est homogène et constituée de forêt dense et humide au sud et de savane arborée incluses au nord. Cette forêt connaît une dégradation accélérée par l'intensification des cultures de rente (cacao, café, palmier à huile et hévéa). Le relief du département est constitué de plateaux de 200 à 400 m d'altitude coupés par endroits par des plaines et basfonds [8]. Au plan pédologique, les études réalisées par [9] ont montré que les sols du département de Daloa sont en général ferrallitiques moyennement lessivés (ou désaturés).

Les formations qui constituent le substratum de la région ont subi une altération et latérisation caractérisant les régions à climat chaud et humide. Du point de vue lithologique, le socle est constitué par des granitoïdes de composition minéralogique constante. Il s'agit de granites alcalins à subalcalins contenus dans les formations métamorphiques (gneiss et migmatites) de composition très voisine. Ces formations sont très rarement visibles à l'affleurement car masquées par une épaisse couverture d'altération argilo-sableuse.

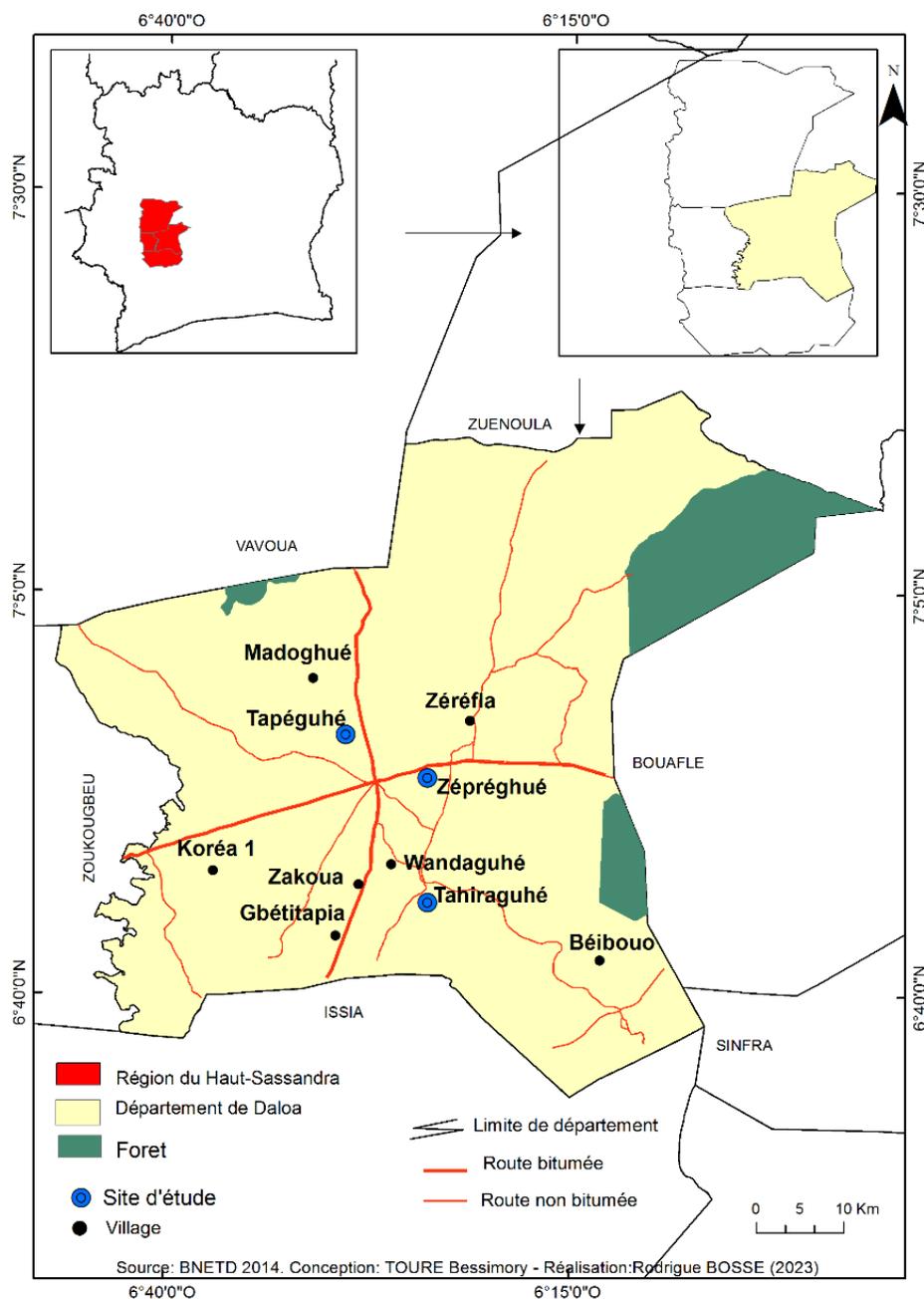


Fig. 1. Carte de localisation des sites de l'étude

## 2.2 COLLECTE DES DONNEES

### 2.2.1 CHOIX DES AGROSYSTEMES, MESURE DES EPAISSEURS DES COUCHES ET ECHANTILLONNAGE DES SOLS

Les cultures retenues ont été choisies suite à une enquête de terrain menée pour déterminer les principales cultures pérennes développées dans la zone. Pour la caractérisation physico-chimique des sols sous ces cultures, trois fosses pédologiques y ont été ouvertes dans une zone homogène de 10 000 m<sup>2</sup> caractérisée par le meilleur état de la végétation (bonne croissance et bon développement de la plante). Sur l'ensemble des trois sites, 27 fosses pédologiques de longueur 120 cm, largeur 80 cm et profondeur 150 cm ont été réalisées. Les épaisseurs des couches de sol ont été mesurées à l'aide d'un ruban-mètre. Des échantillons de ces sols ont été prélevés sur toute l'épaisseur des horizons A et B en vue des mesures en laboratoire.

## 2.2.2 MESURES EN LABORATOIRE

### 2.2.2.1 MESURE DES TAUX D'ÉLÉMENTS GROSSIERS DU SOL

Après séchage à l'air libre durant trois jours, les échantillons de sol prélevés dans les parcelles sont pesés et passés à travers un tamis de maille 2 mm. Les refus constituent les éléments grossiers (EG). Leurs pourcentages sont déterminés selon la formule de l'équation 1:

$$EG (\%) = (M_{EG}/M_S) \times 100 \quad (\text{équation 1})$$

Où:  $M_{EG}$  est la masse des éléments grossiers du sol et  $M_S$  celle du sol sec.

### 2.2.2.2 MESURE DES TAUX DE CARBONE ORGANIQUE SOL

La partie du sol passée à travers le tamis de maille 2 mm constitue la fraction fine du sol. Un aliquote de 5 g de cette fraction est prélevé pour le dosage du carbone organique du sol (COS) par la méthode [10].

### 2.2.2.3 MESURE DE LA DENSITÉ APPARENTE DU SOL

La densité apparente du sol a été déterminée par la méthode du cylindre (8,2 cm de diamètre et 9,25 cm de hauteur) en trois pseudo-réplicats par fosse pédologique [11, 12]. En pratique, l'on rase la végétation à la surface du sol sur la zone de prélèvement avant d'y enfoncer verticalement le cylindre à l'aide d'un marteau. Le cylindre est retiré avec son contenu de sol après qu'on ait creusé tout autour. La motte de terre est séchée à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. La densité apparente est obtenue par le rapport de la masse de terre séchée sur le volume du cylindre [13] selon la formule suivante de l'équation 2:

$$D_a (\text{g.cm}^{-3}) = M/V \quad (\text{équation 2})$$

Où:  $M$  est la masse en g de l'échantillon de sol séché et  $V$  le volume du cylindre en  $\text{cm}^{-3}$ .

### 2.2.2.4 MESURE DU STOCK DE CARBONE DU SOL

Le stock de carbone organique d'une couche de sol a été calculé en utilisant la formule de l'équation 3 énoncée dans les travaux de [14]:

$$Scos = COS \times E \times D_a \times (1-EG) \quad (\text{équation 3})$$

Où:

- $Scos$  est le stock de carbone organique du sol en  $\text{g.m}^{-2}$ ,
- $COS$  est le taux de carbone organique du sol exprimé en  $\text{g.kg}^{-1}$ ,
- $E$  est l'épaisseur de l'horizon du sol en cm,
- $D_a$  représente la densité apparente de l'horizon du sol en  $\text{g.cm}^{-3}$ ,
- $EG$  est le pourcentage d'éléments grossiers du sol

Le stock de carbone du sol est au niveau du profil de sol est la somme des stocks ressortis des deux horizons A et B.

## 2.3 TRAITEMENTS DES DONNEES

Les données collectées ont été codifiées et saisies sur le logiciel EXCEL 2019. Les moyennes ont été soumises à une analyse de variance à un facteur après la vérification de la normalité de la distribution (Test de Shapiro-Wilk) et de l'homogénéité des variances (test de Levene). Ensuite, lorsqu'il y a une différence significative entre les moyennes, le test post Anova LSD de Fischer est réalisé au seuil de 5 % pour faire la comparaison deux à deux et déduire les groupes homogènes. Ces analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.2.1.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 RESULTATS

##### 3.1.1 EPAISSEURS DES HORIZONS

Les différences observées entre les horizons A ( $35,78 \pm 3,38$  cm sous hévéas,  $30,78 \pm 3,02$  cm sous cacaoyers et  $24,39 \pm 1,42$  cm sous palmiers) sont significatives ( $P = 0,02$ ), ce qui n'est pas le cas pour les horizons B ( $P = 0,67$ ). Les valeurs mesurées à ce niveau sont:  $62,00 \pm 6,62$  cm sous hévéas,  $57,11 \pm 6,30$  cm sous cacaoyers et  $64,06 \pm 3,64$  cm sous palmiers (Tableau 1).

Tableau 1. Epaisseurs moyennes des horizons des sols

| Sites                  | Hz | Modes d'usage des sols |                    |                    | P-value |
|------------------------|----|------------------------|--------------------|--------------------|---------|
|                        |    | Palmeraie              | Cacaoyère          | Champ d'hévéa      |         |
| Tapéguhé               | A  | $29,00 \pm 2,89a$      | $31,00 \pm 4,00a$  | $38,33 \pm 1,45a$  | 0,143ns |
|                        | B  | $56,67 \pm 3,48a$      | $48,67 \pm 2,33a$  | $65,00 \pm 11,14a$ | 0,314ns |
| Tahiraguhé             | A  | $19,33 \pm 0,88a$      | $23,33 \pm 5,61a$  | $42,67 \pm 5,90a$  | 0,02*   |
|                        | B  | $64,00 \pm 6,81a$      | $46,33 \pm 2,03a$  | $66,67 \pm 9,17a$  | 0,144ns |
| Zépréguhé              | A  | $24,83 \pm 1,42a$      | $38,00 \pm 2,89a$  | $26,33 \pm 5,36a$  | 0,079ns |
|                        | B  | $71,50 \pm 6,76a$      | $76,33 \pm 13,72a$ | $54,33 \pm 16,51a$ | 0,495ns |
| A l'échelle du paysage | A  | $24,39 \pm 1,70a$      | $30,78 \pm 3,02ab$ | $35,78 \pm 3,38b$  | 0,028*  |
|                        | B  | $64,06 \pm 3,64a$      | $57,11 \pm 6,30a$  | $62,00 \pm 6,62a$  | 0,678ns |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; \* = significative et ns: non significatif.

##### 3.1.2 ELEMENTS GROSSIERS

Les taux d'éléments grossiers des horizons A sont estimés à 0 % sous palmeraies,  $4,33 \pm 4,41$  % sous hévéas et  $7,77 \pm 5,21$  % sous cacaoyers. Ces taux sont ainsi statistiquement différents ( $P = 0,03$ ). Au niveau des horizons B, les taux dans le même ordre que précédemment sont:  $1,04 \pm 0,80$  %,  $16,93 \pm 11,04$  % et  $18,0 \pm 11,07$  %. Ces taux sont aussi statistiquement différents ( $P = 0,01$ ) (Tableau 2).

Tableau 2. Taux moyens d'éléments grossiers des sols

| Sites                  | Hz | Modes d'usage des sols |                    |                     | P-value             |
|------------------------|----|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|                        |    | Palmeraie              | Cacaoyère          | Champ d'hévéa       |                     |
| Tapéguhé               | A  | $0,00 \pm 0,00a$       | $5,55 \pm 2,40a$   | $7,09 \pm 5,36a$    | 0,361 <sup>ns</sup> |
|                        | B  | $1,67 \pm 1,27a$       | $9,58 \pm 2,12a$   | $28,70 \pm 2,36a$   | 0,091 <sup>ns</sup> |
| Tahiraguhé             | A  | $0,00 \pm 0,0$         | $0,00 \pm 0,0$     | $0,00 \pm 0,0$      | nd                  |
|                        | B  | $1,52 \pm 0,40a$       | $0,0 \pm 0,0a$     | $6,90 \pm 0,70b$    | 0,000***            |
| Zépréguhé              | A  | $0,0 \pm 0,0a$         | $17,76 \pm 4,50a$  | $5,88 \pm 1,88a$    | 0,064ns             |
|                        | B  | $0,00 \pm 0,0a$        | $41,21 \pm 4,26b$  | $18,40 \pm 4,75 ab$ | 0,045*              |
| A l'échelle du paysage | A  | $0,00 \pm 0,0a$        | $7,77 \pm 5,21b$   | $4,33 \pm 4,41 ab$  | 0,0307*             |
|                        | B  | $1,04 \pm 0,80a$       | $16,93 \pm 11,04b$ | $18,0 \pm 11,07b$   | 0,015*              |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; \* = significative, \*\*\* = hautement significative; ns: non significatif, nd: non déterminé.

### 3.1.3 DENSITES APPARENTES DES SOLS

La densité apparente des horizons A diffère significativement sur l'ensemble des sites ( $1,53 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  sous hévéas,  $1,39 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  sous palmeraie et  $1,39 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  sous cacaoyers ( $P = 0,00$ ). Les horizons B montrent un résultat contraire avec  $1,70 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$  sous hévéas,  $1,72 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  sous palmiers et  $1,59 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$  sous cacaoyers ( $P = 0,007$ ) (Tableau 3).

Tableau 3. Densités apparentes moyennes des sols

| Sites                  | Hz | Modes d'usage des sols |                  |                  | P-value  |
|------------------------|----|------------------------|------------------|------------------|----------|
|                        |    | Palmeraie              | Cacaoyère        | Champ d'hévéa    |          |
| Tapéguhé               | A  | $1,46 \pm 0,0a$        | $1,42 \pm 0,05a$ | $1,52 \pm 0,00a$ | 0,070ns  |
|                        | B  | $1,76 \pm 0,02a$       | $1,63 \pm 0,03a$ | $1,72 \pm 0,07a$ | 0,207ns  |
| Tahiraguhé             | A  | $1,36 \pm 0,02b$       | $1,20 \pm 0,05a$ | $1,58 \pm 0,03c$ | 0,000*** |
|                        | B  | $1,72 \pm 0,04b$       | $1,49 \pm 0,01a$ | $1,76 \pm 0,02b$ | 0,000*** |
| Zépréguhé              | A  | $1,34 \pm 0,04a$       | $1,38 \pm 0,07a$ | $1,50 \pm 0,02a$ | 0,126ns  |
|                        | B  | $1,68 \pm 0,07a$       | $1,65 \pm 0,02a$ | $1,62 \pm 0,05a$ | 0,642ns  |
| A l'échelle du paysage | A  | $1,39 \pm 0,02a$       | $1,33 \pm 0,03a$ | $1,55 \pm 0,02b$ | 0,000*** |
|                        | B  | $1,72 \pm 0,03b$       | $1,59 \pm 0,05a$ | $1,70 \pm 0,06b$ | 0,007**  |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; \*\*\* = hautement significative; ns: non significatif.

### 3.1.4 TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE

Avec des teneurs en carbone organique de  $10,00 \pm 1,29 \text{ g.kg}^{-1}$  sous palmiers,  $14,00 \pm 1,33 \text{ g.kg}^{-1}$  sous cacaoyers et  $10,00 \pm 1,29 \text{ g.kg}^{-1}$  sous hévéas, les horizons A des sols étudiés sont différents ( $P = 0,16$ ). C'est le cas aussi avec les horizons B où les teneurs obtenues sous hévéas ( $6,33 \pm 1,30b \text{ g.kg}^{-1}$ ) et cacaoyers ( $4,56 \pm 0,29b \text{ g.kg}^{-1}$ ) sont du même ordre de grandeur supérieur à celui des sols sous palmiers ( $1,11 \pm 0,11 \text{ g.kg}^{-1}$ ) ( $P = 0,00$ ) (Tableau 4).

Tableau 4. Teneur en carbone des horions des sols ( $\text{g.kg}^{-1}$ )

| Sites                  | Hz | Modes d'usage des sols |                   |                   | P-value             |
|------------------------|----|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
|                        |    | Palmeraie              | Cacaoyère         | Champ d'hévéa     |                     |
| Tapeguhé               | A  | $10,33 \pm 3,28a$      | $12,33 \pm 1,86a$ | $9,67 \pm 0,88a$  | 0,696 <sup>ns</sup> |
|                        | B  | $1,0 \pm 0,0a$         | $5,33 \pm 0,33a$  | $8,33 \pm 3,33a$  | 0,092 <sup>ns</sup> |
| Tahiraguhé             | A  | $11,0 \pm 2,52ab$      | $17,67 \pm 0,88b$ | $9,0 \pm 1,73a$   | 0,035*              |
|                        | B  | $1,33 \pm 0,33a$       | $4,00 \pm 0,58b$  | $3,00 \pm 0,0ab$  | 0,007**             |
| Zepreguhé              | A  | $8,67 \pm 1,20a$       | $12,00 \pm 2,65a$ | $12,00 \pm 0,58a$ | 0,348 <sup>ns</sup> |
|                        | B  | $1,0 \pm 0,0a$         | $4,33 \pm 0,33b$  | $7,67 \pm 0,88c$  | 0,000***            |
| A l'échelle du paysage | A  | $10,00 \pm 1,29a$      | $14,00 \pm 1,33b$ | $10,22 \pm 0,74a$ | 0,037*              |
|                        | B  | $1,11 \pm 0,11a$       | $4,56 \pm 0,29b$  | $6,33 \pm 1,30b$  | 0,000***            |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a et b) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; \* = significative, \*\* = très significative et \*\*\* = hautement significative; ns: non significatif.

### 3.1.5 STOCK DE CARBONE ORGANIQUE DANS LES SOLS

Au total, en renfermant un stock de carbone organique moyen de  $7916,60 \pm 1424,68 \text{ g.m}^{-2}$  dans son sol de culture, les sols sous cacaoyères apparaissent comme ceux ayant un potentiel plus important de réduction des émissions de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère en conservant les réservoirs de carbone existants dans les sols. Les sols occupés en hévéaculture et palmeraies suivent dans cet ordre avec des stocks moyens de  $7626,96 \pm 973,13$  et  $7477,72 \pm 1288,48 \text{ g.m}^{-2}$ . Toutefois, au plan statistique, les stocks mesurés ne sont pas différents de manière significative (Tableau 5 et 6).

Tableau 5. Stock de carbone organique des horions des sols

| Sites                  | Hz | Modes d'usage des sols |                    |                   | P-value              |
|------------------------|----|------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
|                        |    | Palmeraie              | Cacaoyère          | Champ d'hévéa     |                      |
| Tapeguhé               | A  | 9261,67 ± 731,68a      | 8060,39 ± 1275,32a | 6879,48 ± 829,10a | 0,324 <sup>ns</sup>  |
|                        | B  | 84,44 ± 1,29a          | 385,02 ± 31,85b    | 297,38 ± 47,19b   | 0,004 <sup>**</sup>  |
| Tahiraguhé             | A  | 7266,39 ± 1573,43a     | 8351,67 ± 1876,66a | 6940,0 ± 1369,23a | 0,818 <sup>ns</sup>  |
|                        | B  | 111,27 ± 30,12a        | 120,75 ± 47,63a    | 239,9 ± 4,4a      | 0,056 <sup>ns</sup>  |
| Zepreguhé              | A  | 5627,22 ± 597,03a      | 6628,13 ± 1398,39a | 8039,72 ± 730,16a | 0,287 <sup>ns</sup>  |
|                        | B  | 82,17 ± 3,28a          | 203,85 ± 14,04a    | 484,40 ± 77,19b   | 0,002 <sup>**</sup>  |
| A l'échelle du paysage | A  | 7385,09 ± 1292,32a     | 7680,06 ± 1410,22a | 7286,40 ± 938,33a | 0,92 ns              |
|                        | B  | 92,62 ± 17,19a         | 236,54 ± 73,72b    | 340,56 ± 78,34b   | 0,000 <sup>***</sup> |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; \*\* = très significative; \*\*\* = hautement significative et ns: non significatif.

Tableau 6. Stock de carbone organique moyen par de sol

| Sites                  | Modes d'usage des sols |                    |                   | P-value             |
|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
|                        | Palmeraie              | Cacaoyère          | Champ d'hévéa     |                     |
| Tapeguhé               | 9346,1 ± 732,97a       | 8445,41 ± 1259,26a | 7176,86 ± 874,63a | 0,365 <sup>ns</sup> |
| Tahiraguhé             | 7377,66 ± 1560,35a     | 8472,42 ± 1910,26a | 7179 ± 1367,29a   | 0,837 <sup>ns</sup> |
| Zepreguhé              | 5709,39 ± 595,64       | 6831,98 ± 1412,35  | 8524,12 ± 741,45  | 0,206 <sup>ns</sup> |
| A l'échelle du paysage | 7477,72 ± 1288,48a     | 7916,60 ± 1424,68a | 7626,96 ± 973,13a | 0,908 <sup>ns</sup> |

Hz: Horions, P-value: probabilité; les moyennes affectées d'une même lettre (a, b et c) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$ ; ns: non significatif.

#### 4 DISCUSSION

Les stocks de carbone moyens ressortis des 100 à 120 premiers centimètres des sols en fonction des types d'usage sont, dans l'ordre décroissant : 7916,60 ± 1424,68 g.m<sup>-2</sup> mesurés sous les cacaoyers (sols ferrallitiques de plateaux), 7626,96 ± 973,13 g.m<sup>-2</sup> mesurés sous les hévéas (sols ferrallitiques de plateaux) et 7477,72 ± 1288,48 g.m<sup>-2</sup> mesurés sous les palmiers à huile (sols hydromorphes de bas-fonds). Ce résultat montre que certaines classes de sols stockent mieux le carbone organique que d'autres indépendamment de leurs couvertures végétales. En effet, les stocks mesurés dans les sols ferrallitiques sous hévéas et cacaoyers sont du même ordre de grandeur, qui est différent du stock mesuré dans les sols hydromorphes sous palmiers à huile. [15] qui ont utilisé la carte FAO/Unesco des sols du monde aux 1/5 000 000 et environ 400 profils de sols regroupés selon des unités FAO étaient parvenus à déterminer des fourchettes et des moyennes de teneurs en carbone et de densité pour plusieurs unités de sol. Par la même occasion, ils ont été capables, comme [16], d'estimer les stocks de carbone organique par classe de sol et même le stock au niveau mondial.

Ainsi, [16] situe la capacité moyenne de séquestration des sols des zones tropicales chaudes et humides, à l'image des sols étudiés ici, entre 5200 et 5400 g.m<sup>-2</sup> vers 30 cm de profondeur et entre 10000 et 10400 g.m<sup>-2</sup> vers 100 cm de profondeur. Pour cette profondeur, les moyennes observées sont plus faibles à Daloa. On ne saurait expliquer ce résultat sans évoquer des facteurs extrinsèques au sol, notamment les changements d'utilisation du sol, dans la mesure où les sols sous hévéas et cacaoyers étaient à précédents caféiers. C'est en cela que [17], [18] et [19] insistent sur l'importance de la prise en compte des changements d'utilisation du sol ou la gestion du sol dans l'estimation du stock de carbone des sols cultivés. Toutefois, pour eux, les principaux facteurs qui influencent globalement le stockage du carbone par les sols concernent la végétation (apport de résidus, composition de la plante), les facteurs climatiques (température, conditions d'humidité) et les propriétés des sols (texture, teneur en argile, minéralogie, acidité).

En plus, cette décroissance rapide des stocks de carbone dans les sols mis en culture est liée à des entrées de carbone souvent moins élevées [19, 20]. On comprend alors pourquoi dans cette étude, les sols ferrallitiques de plateaux qui ont certaines propriétés similaires, notamment des apports de résidus de plantes relativement importants grâce à leurs couvertures végétales arbustives abondantes, une texture limono-sablo-argileuse en surface et argilo-sableuse en profondeur,

de bonne conditions d'humidité (sols frais et bien drainé en général), sont avérés plus fournis en stock de carbone que les sols hydromorphes qui ont une texture sablo-argileuse et qui sont non seulement recouverts par peu de litières, mais aussi, noyés vers 80 centimètres de profondeur. En d'autres termes, la présence de peu de litières sur le sol, une pauvreté du sol en argile et une hydromorphie du sol de plus en plus importante seraient défavorables à la constitution des stocks de carbone dans le sol. Par ailleurs, la litière provenant des plants d'hévéas serait de meilleure qualité que celle issue des cacaoyers, ce qui expliquerait leur décomposition rapide par la microfaune du sol, suivie par leur absorption par les plants et rejets dans l'atmosphère. Aussi, les stocks de carbone plus élevés ressortis des sols des cacaoyères sont-ils les résultats des apports des divers arbres associés aux cacaoyers, ce qui dénote des bienfaits de l'agroforesterie sur le processus de stockage du carbone dans le sol.

## 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les stocks de carbone moyens ressortis des 100 à 120 premiers centimètres des sols étudiés sont plus importants dans les sols de plateaux que dans les sols de bas-fonds humides. On en déduit que certaines classes de sols conservent mieux le carbone que d'autres. Par ailleurs, cultivés sur une même classe de sol (sol ferrallitique), les cacaoyères, grâce aux arbres qui leurs sont associés, conservent plus de carbone organique dans le sol que les plants d'hévéa. La pratique de l'agroforesterie peut donc être conseillée aux agriculteurs pour sa capacité à atténuer le réchauffement climatique en séquestrant le carbone dans le sol. Par ailleurs, les stocks ressortis des sols étudiés étant nettement plus bas que les seuils existants, amène à penser que la question de l'épuisement des stocks de carbone organique dans les sols et le réchauffement climatique qui en découle pourrait constituer un problème environnemental crucial dans la zone d'étude. C'est ainsi que nos prochaines recherches seront orientées non seulement vers l'identification d'autres techniques culturales bénéfiques pour le sol, mais aussi, vers la préservation des milieux naturels dans le Haut-Sassandra.

## REFERENCES

- [1] K. Traoré, «Couverture forestier de la Côte d'Ivoire: une analyse critique de la situation de gestion des forêts (classée, parc et réserve)», *The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, vol. 5, no. 2, pp 4387 - 4397, 2018.
- [2] Y. T. Brou, J. Oszwald, S. Bigot & E. Servat, «Risques de déforestation dans le domaine permanent de l'état en Côte d'Ivoire : quel avenir pour ces derniers massifs forestiers». *Téléédétection*, vol. 5 no. 1,2,3, pp 263 - 275, 2005.
- [3] Ruf F. Les cycles du cacao en Côte d'Ivoire: la mise en cause d'un modèle. In le modèle ivoirien en questions. Crises, ajustements, recompositions. *Karthala-ORSTOM*, Paris, France, pp 249-264, 2009.
- [4] C. Durot, Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun: Cas de l'arrondissement de Bokito. Mémoire d'Ingénieur agricole, Institut Supérieur d'Agriculture de Lille, pp 83, 2013.
- [5] A. Saïdou, A. F. E. Dossa, P. C. Gnanglè, I Balogoun, N. Aho, Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), p 9, 2012.
- [6] ICEF et ENSEA (2002). L'économie locale du département de Daloa. Rapport d'étude, Programme ECOLOC, Vol. 1, p 144, 2002.
- [7] R. Ligban, D Goné, B. Kamagaté, M. B. Saley & J. Biémi, «Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa». *Journal of Biology and Chemical Science*, vol. 3, no. 1, pp 38 - 47, 2009.
- [8] J. M. Avenard & A. Deluz, «Milieu naturel de Côte d'Ivoire». *Etudes rurales*, no 48, pp. 185-186, 1972.
- [9] B. Dabin, N. Leneuf, G. Riou, Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Notice explicative. ORSTOM, p 39, 1960.
- [10] A. Walkley & I. A. Black, «An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter. and a proposed modification of the chromic acid titration method». *Soil Science*, vol. 34, pp 29 - 38, 1934.
- [11] WRB, Systèmes Internationale de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes, cartes pédologiques mise à jour 2015, 2014.
- [12] D. Baize, Guide des analyses en pédologie, 2<sup>ème</sup> édition revue et augmenté, Paris, pp 6 - 100, 2000.
- [13] D. Boa, Caractérisation des propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires: cas de Boro-Borotou. Thèse de Doctorat-Ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 131 p, 1989.
- [14] M. Henry, M. Belem, R. D'Annunzio, M. Bernoux, Les stocks de carbone des sols d'Afrique de l'Ouest. In: Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Rome/Marseille. 35 - 41, 2020.

- [15] W.G. Sombroek, F. O. Nachtergaele & A. Hebel, «Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils», *Ambio*, vol. 22, 417 - 426, 1993.
- [16] N.H. Batjes. Management options for reducing CO<sub>2</sub>-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. ISRIC. Wageningen, *The Netherlands*, pp 114, 1999.
- [17] M. Robert, La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport sur les ressources en sols du monde, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie, p 76, 2002.
- [18] X. Wei, M. Shao, W. Gale & L. Li, «Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land», *Scientific Reports*, vol. 4, 40 - 62, 2014.
- [19] I. E. Mbagou mwe-zue ona, N Endamane, F. Eba, D. Mendoume minko, «Impacts de l'heveaculture (hévéa brasiliensis) sur les caractéristiques physico-chimiques des sols dans la region de kango (N-W, Gabon)», *Agronomie Africaine* vol. 33, no. 2, 133 - 148, 2021.
- [20] R. Lal, «Soil Conservation and Ecosystem Services», *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, 36 - 47, 2014.

## **Publication N°2 :**

**TOURE B., ZRO B.G.F., GUEI A.M., KOUASSI N.B.** (2023). Involvement of earthworm populations in indicating the physico-chemical state of soil under three types of perennial crops in the department of daloa (Centre - West of Ivory Coast), *International Journal Of Innovation And Scientific Research*, 67: 119 - 128.

## Involvement of earthworm populations in indicating the physico-chemical state of soil under three types of perennial crops in the department of Daloa (Centre-West of Ivory Coast)

Toure Bessimory<sup>1</sup>, Zro Bi Gohi Ferdinand<sup>1</sup>, Guei Arnauth Martinez<sup>1,2</sup>, and Kouassi N'Guessan Boris<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agropedology and GIS, Agroforestry Training and Research Unit, Jean Lorougnon Guédé University, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Ecology Research Center, Nangui Abrogoua University, 08 BP 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The ecosystem services provided by earthworm populations are poorly studied under perennial crop agrosystems in Côte d'Ivoire. The present study, carried out in the Daloa department, aims to identify groups of responses within earthworm populations to changes in edaphic parameters in three types of perennial crops. To this end, earthworm populations and physico-chemical parameters were sampled on three transects per plantation, in nine plantations divided between three facies: cocoa, oil palm and rubber. The stand of the nine plantations was found to be rich in 13 species of earthworms. Six species dominated the stand, of which four, namely *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae*, *Dichogaster baeri* and *Gordiodrilus paski* showed a preference for crops. Indeed, *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae* and *Gordiodrilus paski* were indicative of sandy soils under palm plantations; the detritivore *Dichogaster baeri* was associated with cocoa and rubber plantations where the soils are silty-sandy and have a high organic matter content. These results open up new avenues of research on the roles of earthworms in the functioning of soils in cocoa, palm and rubber plantations in the region. For example, it will be investigated whether earthworm populations can be used in the development of a holistic index similar to the general soil quality index to assess soil quality.

**KEYWORDS:** Soil quality, earthworms, physico-chemical properties, preference, perennial crops.

### 1 INTRODUCTION

Since its independence, Côte d'Ivoire has based its economy on agriculture. This has led to the destruction of a large part of its forest area at the expense of crops. The forest cover in Côte d'Ivoire was estimated at 12 million hectares in 1960 and at 4 million hectares in 2000 [1]. Today, it has been reduced to about 2.5 million hectares [2]. Most of this deforestation is carried out for cash crop agriculture dominated by perennial crops such as cocoa (*Theobroma cacao*), coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*, Rubiaceae), rubber (*Hevea brasiliensis*) and oil palm (*Elaeis guineensis*) [3].

The central-western part of Côte d'Ivoire, which used to be an important production area for these perennial crops, is now mainly covered by degraded forests. Today, this area is characterised by increasingly low crop production due, among other things, to the ageing of orchards [4], but also to the degradation of the physico-chemical and biological properties of the soil. Indeed, the biological compartment of soils plays an essential role and provides key ecosystem goods and services (nutrient cycling, soil formation, food production, climate, erosion and pest regulation), by intervening in soil structuring and functioning [5; 6].

Earthworms, which hold the largest biomass of the soil macrofauna [7], play a central role in improving and maintaining the productivity of agrosystems [8; 9]. They substantially affect many important soil processes such as stabilising organic matter through its incorporation into macroaggregates, stimulating the formation of these macroaggregates, increasing water infiltrability and regulating soil structure [10]; key factors that determine the soil's ability to sustainably support improved agricultural production [11; 12].

Earthworm diversity can be used both as a diagnostic tool for fertility and as a resource for improving soil functioning [13]. Earthworms as soil 'engineers' provide ecosystem services such as decomposition of organic matter, recycling of nutrients, decontamination of soils with heavy metals and maintenance of plant-friendly soil physical properties [14]. They show a diversity of responses through habitat and diet diversity [15]. Thus, the study of the assemblage pattern of these fauna in a context of agricultural

intensification could constitute an alternative for the promotion of the sustainability of the quality of agricultural systems as they interact with the morphological, physical, chemical and biological compartments of the soil.

Currently, there is very little information on the variation of earthworm communities and the physico-chemical properties of soils in cocoa, palm and rubber plantations in Côte d'Ivoire and, in particular, in the Haut-Sassandra region. Moreover, the potential of these organisms as indicators of the quality of agrosystems on the basis of edaphic properties is very little documented. Thus, as part of the promotion of the sustainability of agricultural production systems, this study was initiated with a view to contributing to the development of a system for monitoring soil quality in perennial crop agrosystems based on earthworm populations. More specifically, the aim is to: (i) determine variations in the abundance and diversity of earthworm populations under three types of perennial crops, namely cocoa, palm and rubber plantations; (ii) evaluate the physico-chemical properties of the soils of these agrosystems; (iii) determine the influence of the physico-chemical conditions of the soils on the ecological preference of earthworm species.

## **2 MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 PRESENTATION OF THE STUDY AREA**

The study was carried out in three villages (Tapeguhé, Zepreguhé, Tahiraguhé) in the department of Daloa, located between 6° and 6° 45' West longitude and 6° 30' and 7° 20' North latitude. This department is the capital of the Haut-Sassandra region of Côte d'Ivoire. According to [16], this department is very humid with a climate with four seasons: the long rainy season, which extends from April to mid-July, is marked by inter-seasons and thunderstorms; it is followed by the short dry season (mid-July to mid-September) and the short rainy season (mid-September to November); the long dry season covers the months of December to March.

The average annual temperature is 25.6 °C. Dry and wet seasons alternate with temperatures ranging from 24.65°C to 27.75°C on average. Annual rainfall has fallen from 1868.5 mm in 1968 to 1120.4 mm in 2005, a decrease of 40 percent [17]. Hydrographically, the department is watered by the Sassandra River and its tributary, the Lobo, whose branches, the Dé and the Goré, flood the department, giving rise to numerous cultivable lowlands.

The vegetation is homogeneous and consists of dense humid forest in the south and wooded savannah in the north. This forest is experiencing accelerated degradation due to the intensification of cash crops (cocoa, coffee, oil palm and rubber). The relief of the department is made up of plateaus at 200-400m altitude cut in places by plains and lowlands [18]. Soil studies by [19] have shown that the soils of Daloa department are generally ferrallitic and moderately leached (or desaturated).

The formations that make up the substratum of the region have undergone alteration and lateralisation characteristic of regions with a hot and humid climate. From a lithological point of view, the bedrock consists of granitoids of constant mineralogical composition. These are alkaline to sub-alkaline granites contained in metamorphic formations (gneiss and migmatites) of very similar composition. These formations are very rarely visible in the outcrop because they are masked by a thick cover of clay and sand alteration.

### **2.2 STUDY OF THE BIOLOGICAL DIVERSITY OF EARTHWORMS**

#### **2.2.1 SAMPLING STRATEGY**

The biological inventory was conducted in three agricultural production sites, namely Tapeguhé, Zepreguhé and Tahiraguhé. The choice of plots in each site was guided by the desire to study earthworm populations in the main agrosystems (palm, cocoa and rubber). In each land use, three sampling points were selected, sufficiently distant from each other to avoid auto-correlation, a common process within some soil macroinvertebrate components [20].

Earthworm diversity and abundance were estimated along three 20 m long transects, each perpendicular to the steepest slope. This exhaustive estimation method consists of sampling 10 m from the origin of the transect, three large monoliths (50 x 50 x 30 cm) spaced 5 m apart [9]. The sampling was done at the end of the main rainy season, a period of high activity of soil organisms.

#### **2.2.2 EARTHWORM SAMPLING CONDUCT**

A 50 cm square wooden quadrat was used to mark the location of the soil sample. The bedding bounded by the frame was removed and sorted for earthworm collection. The organisms were extracted using the direct hand sorting method adapted to tropical soils [9]. This method consists of digging a trench of 50 cm on each side and 30 cm deep around the quadrat in order to avoid possible leakage of mobile individuals. A large earth monolith of dimensions (50 x 50 x 30 cm) is thus isolated. The monolith is divided into three successive layers of 10 cm thickness which are placed in three separate buckets. The soil from each bucket is poured in small quantities into sorting trays. The earthworms are manually extracted from the clods and then stored in pillboxes containing 4% formaldehyde. The pellets are marked (site name, monolith type, transect number and stratum) and then sent to the laboratory for identification.

**2.2.3 IDENTIFICATION OF EARTHWORM SPECIES**

Identification was carried out in the laboratory of practical work n°2 of the Jean Lorougnon Guédé University. The collected worms were identified to species level using the determination keys [21; 22] and reference samples from the Natural History Museum in Budapest (Hungary). The identified individuals were then counted and weighed by species to determine their abundance and diversity.

**2.2.4 ABUNDANCE AND DIVERSITY OF EARTHWORM POPULATIONS**

Abundance was estimated by two parameters: density and biomass. Density represents the number of individuals per unit area (Ind.m<sup>-2</sup>) while biomass represents the mass of individuals per unit area (g.m<sup>-2</sup>). The density and biomass of earthworms were reduced to the square metre by multiplying the values by 4.

The diversity of earthworm populations was assessed through three parameters: (i) the average number of species, which is the number of species obtained per monolith, (ii) the Shannon Weaver diversity index (H), which measures the specific composition of a population based on the number of species and their relative abundance [23] using the following formula:

$$H = -\sum_i^n Pi \cdot \log_2 Pi \quad (Pi = \frac{ni}{N} \text{ is the relative frequency of species } i \text{ in the stand, } N \text{ being the total number of species});$$

(iii) equitability

$$E = \frac{H}{\log_2 S} \quad (H \text{ is the Shannon index and } S \text{ the average number of species}).$$

Equitability varies from 0 to 1 and tends towards 0 when almost all the numbers are concentrated on one species. It takes the value 1 when all species have the same abundance.

**2.3 STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF SOILS**

**2.3.1 SOIL SAMPLING METHOD**

To characterise the soils under these crops, three soil pits were opened in a homogeneous area of 10,000 m<sup>2</sup> characterised by the best vegetation condition. Soil samples were taken from the full thickness of the A horizon in each pit. They were air-dried on a black tarpaulin. A 0.5 kg aliquot of each sample was taken, packed and labelled in a plastic bag for physico-chemical analysis in the laboratory.

**2.3.2 PHYSICO-CHEMICAL ANALYSES**

Physico-chemical analyses were carried out in the laboratory on the soil samples taken from each pit. The laboratory was the Laboratoire d'Analyse des Végétaux et des Sols (LAVESO) of the Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) located at the Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB) in Yamoussoukro. The soil properties measured are summarised in Table 1, as well as their methods of determination:

*Table 1. Method of determining the physico-chemical properties of soil in the laboratory*

| Soil properties        | Methods of determination      |
|------------------------|-------------------------------|
| Particle size          | Limon Robinson pipette [24]   |
| pH (Water)             | Glass electrode pH meter [25] |
| Organic carbon (C)     | Walkley and Black [26]        |
| Organic matter         | MO = 1.72 x C as it is a farm |
| Total nitrogen (Nt)    | Modified Kjeldahl [25]        |
| Assimilable phosphorus | Modified Olsen [26]           |

**2.3.3 STATISTICAL ANALYSIS**

The non-parametric Kruskal-Wallis test was used to compare the abundance and diversity of earthworms in the different agrosystems at the intra-site scale. Then, the Mann-Whitney test for pairwise comparison was performed at the 5% threshold when a difference was established. Anova 1 was used to compare the physico-chemical parameters. When the differences were significant, the means were separated according to the LSD (Least Significant Difference) method.

In addition, a hierarchical classification was carried out on the basis of the physico-chemical parameters of the soils using the ADE-4 software [27]. The dendrogram obtained by Ward's method based on the Euclidean distance made it possible to define typologies. We then proceed to partition the dendrogram and stop partitioning when the typology obtained offers a better interpretation of the results and when this level of division represents the partition threshold at which the indicator values of the species start to decrease considerably.

In fact, the characteristic earthworm species of each group are identified and their indicator values calculated by the IndVal method. The species retained by the method as indicators are those whose preference for these environments is significantly higher than suggested by a random distribution (Student's t test) and those whose indicator value is at least equal to 25 % [28].

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 RESULTS

##### 3.1.1 COMPOSITION OF EARTHWORM POPULATIONS

The earthworm populations collected in Tapeguhé, Zepreguhé and Tahiraguhé consist of 11, 8 and 10 species respectively. These worm species are divided into 5 genera (*Millsonia*, *Dichogaster*, *Hyperiodrilus*, *Stuhlmannia* and *Gordiodrilus*) and three families (Table 2). One species belonging to the genus *Dichogaster* could not be identified, and was therefore classified as a morpho-species. The species *Dichogaster saliens* and *Stuhlmannia palustis* are restricted to the Tapéguhé site, while *Dichogaster baeri* and *Dichogaster eburnea* are found only at the Tahiraguhé site. With the exception of the 4 earthworm species mentioned above, the others are common to at least two sites (Table 2).

**Table 2. Occurrence of earthworm species per study site**

| Families        | Species  | Sites |     |     |
|-----------------|--|-------|-----|-----|
|                 |  | Tap   | Zep | Tah |
| Acanthodrilidae | <i>Millsonia lamtoiana</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967) | 1     | 0   | 1   |
|                 | <i>M. omodeoi</i> (Sims, 1986)                       | 1     | 1   | 1   |
|                 | <i>Dichogaster baeri</i> (Sciacchitano, 1952)        | 0     | 0   | 1   |
|                 | <i>D. terraenigrae</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967)     | 1     | 1   | 1   |
|                 | <i>D. saliens</i> (Beddard, 1893)                    | 1     | 0   | 0   |
|                 | <i>D. erhrhardti</i> (Michaelsen, 1898)              | 1     | 1   | 1   |
|                 | <i>D. papillosa</i> (Omodeo, 1958)                   | 1     | 1   | 1   |
|                 | <i>D. eburnea</i> (Csuzdi & Tondoh, 2007)            | 0     | 0   | 1   |
|                 | <i>Dichogaster sp.</i>                               | 1     | 1   | 1   |
| Eudrilidae      | <i>Hyperiodrilus africanus</i> (Beddard, 1891)       | 1     | 1   | 1   |
|                 | <i>Stuhlmannia zielae</i> (Omodeo, 1963)             | 1     | 1   | 0   |
|                 | <i>S. palustris</i> (Omodeo & Vaillaud, 1967)        | 1     | 0   | 0   |
| Ocnerodrilidae  | <i>Gordiodrilus paski</i> (Stephenson, 1928)         | 1     | 1   | 1   |
| 3               | 13   | 11    | 8   | 10  |

Tap: Tapeguhe; Zep: Zepreguhe; Tah; Tahiraguhe; 1: presence; 0: absence

##### 3.1.2 ABUNDANCE OF EARTHWORM POPULATIONS

###### ON THE TAPEGUHE SITE

The highest density of earthworms is observed in the palm grove ( $68.33 \pm 4.42 \text{ Ind.m}^{-2}$ ). This was followed by rubber cultivation ( $51.33 \pm 5.00 \text{ Ind.m}^{-2}$ ). The lowest density was collected in the cocoa plantation ( $21.33 \pm 4.92 \text{ Ind.m}^{-2}$ ). The differences observed between the land use types were significant (Kruskall-Wallis,  $P = 0.001$ ). Three species, *Hyperiodrilus africanus* (31.4%), *Stuhlmannia zielae* (28.4%) and *Dichogaster erhrhardti* (22.5%) shared most of the total density in the palm grove. While in the cocoa field, the overall density is held by *Dichogaster sp.* (25%), *D. terraenigrae* (21.9%), *Millsonia omodeoi* (18.8%) and *D. saliens* (15.6%). Three species namely *H. africanus* (46.8%), *Dichogaster sp.* (13%) and *M. omodeoi* (10.4%) dominate under rubber cultivation. The pantropical species *H. africanus* establishes its population in the palm grove and the rubber plantation at the Tapeguhé site. Similar to density, the overall biomass of earthworms shows very strong differences between the environments considered (Kruskall-Wallis,  $P < 0.001$ ). The rubber plantation

hosts the highest biomass ( $65.98 \pm 12.74 \text{ g.m}^{-2}$ ): It is followed in decreasing order by the palm plantation ( $18.21 \pm 1.15 \text{ g.m}^{-2}$ ) and the cocoa plantation ( $12.57 \pm 1.48 \text{ g.m}^{-2}$ ).

#### ON THE ZEPREGUHE SITE

The overall density of earthworms varied significantly (Kruskall-Wallis,  $P = 0.024$ ) between the 3 land use types at the Zepreguhé site. The highest density was found under the rubber plantation ( $50.00 \pm 2.48 \text{ Ind.m}^{-2}$ ) while the cocoa plantation with a value of ( $31.33 \pm 4.06 \text{ Ind.m}^{-2}$ ) shows the lowest density of earthworms. The palm grove ( $38.00 \pm 4.47 \text{ Ind.m}^{-2}$ ) has an intermediate density value. The species *Stuhlmannia zielae* (36.8%), *Hyperiodrilus africanus* (31.6%), and *Dichogaster papillosa* (22.8%) dominate the stands in density in the palm grove. Four species including *D. terraenigrae* (29.8%), *D. erhrhardti* (17%), *Millsonia omodeoi* (14.9%), *D. papillosa* (14.9%) and *H. africanus* (14.9%) shared the bulk of the density under the cocoa field. *H. africanus* (63%) and *D. terraenigrae* (29%) dominate under the rubber tree crop. At the Zepreguhé site, *H. africanus* dominated the populations in the three perennial crop plots. Overall earthworm biomass followed a similar pattern of variation to density under the different land use types (Kruskall-Wallis,  $P < 0.001$ ). Biomass is highest under the rubber plantation ( $36.11 \pm 5.05 \text{ g.m}^{-2}$ ), followed by the cocoa plantation ( $19.13 \pm 2.37 \text{ g.m}^{-2}$ ). The lowest biomass is observed in the palm grove ( $9.06 \pm 0.76 \text{ g.m}^{-2}$ ).

#### ON THE TAHIRAGUHE SITE

The rubber plantation ( $57 \pm 4.70 \text{ Ind.m}^{-2}$ ) has the highest overall density of earthworms. It is followed by the palm plantation ( $36.67 \pm 3.92 \text{ Ind.m}^{-2}$ ), then the cocoa plantation ( $26.0 \pm 4.7 \text{ Ind.m}^{-2}$ ) which reveals the lowest overall density. This variation in density was highly significant between the three perennial crop plots at the Tahiraguhé site (Kruskall-Wallis test,  $P = 0.003$ ). Three species, namely *Dichogaster erhrhardti* (50.9%), *D. terraenigrae* (29.1%) and *Hyperiodrilus africanus* (14.1%), shared most of the total density in the palm grove. While in the cocoa field, the overall density is dominated by *D. terraenigrae* (33.3%), *Millsonia omodeoi* (33.3%) *Dichogaster erhrhardti* (10.3%) and *Dichogaster sp* (10.3%) and *Hyperiodrilus africanus* (10.3%). The species *D. papillosa* (45.4%), *Hyperiodrilus africanus* (31.4%) and *Dichogaster terraenigrae* (17.4%) dominate under the rubber tree crop. The *Hyperiodrilus africanus* population described a pattern identical to that of Zépréguhe; individuals were sampled in all three perennial crop facies. Like density, overall earthworm biomass varied significantly across land use types (Kruskall-Wallis test,  $P = 0.005$ ). Biomass is highest in the rubber plantation ( $29.86 \pm 9.82 \text{ g.m}^{-2}$ ). It is followed by the cocoa plantation ( $14.75 \pm 2.66 \text{ g.m}^{-2}$ ). The lowest biomass value is observed in the palm crop ( $7.65 \pm 0.63 \text{ g.m}^{-2}$ ).

### 3.1.3 DIVERSITY OF EARTHWORM POPULATIONS

#### ON THE TAPEGUHE SITE

However, the rubber plantation ( $6.17 \pm 0.31 \text{ species.m}^{-2}$ ) seems to harbour a high species richness of worms, followed by the palm plantation ( $5.67 \pm 0.80 \text{ species.m}^{-2}$ ) and the cocoa plantation ( $4.33 \pm 0.88 \text{ species.m}^{-2}$ ) (Table 3). The Shannon diversity index does not differ significantly from one type of land use to another at the Tapéguhé site, but equitability varies very significantly between plots. The equitability values are all above the 0.50 threshold. However, the trend towards equitable distribution of numbers between species is more pronounced in the cocoa plantation ( $0.97 \pm 0.01$ ) and in the oil palm plantation ( $0.89 \pm 0.01$ ) (Table 3).

#### ON THE ZEPREGUHE SITE

The earthworm populations are richer, more diversified with a tendency towards equitable distribution of individuals (Anova 1,  $P \leq 0.002$ ) under the cocoa farm; the average number of earthworm species is  $5.33 \pm 0.33 \text{ species.m}^{-2}$  for a Shannon index value of  $2.28 \pm 0.12$ . Equitability is in the order of  $0.95 \pm 0.05$ . The palm grove is in second place after the cocoa grove (Table 3).

#### ON THE TAHIRAGUHE SITE

The specific richness of earthworms does not vary significantly (Anova 1,  $P = 0.885$ ) between the 3 perennial crop plots. Nevertheless, the cocoa plantation seems to have a rich and diverse worm population (Table III). However, equitability varies significantly between plots (Anova 1,  $P = 0.007$ ). The trend towards equitable distribution of numbers between species is more pronounced in cocoa ( $0.97 \pm 0.01$ ) and rubber ( $0.91 \pm 0.02$ ) plantations (Table 3).

Table 3. Abundance and diversity of earthworm populations

| Site       | Type of use    | Density        | Biomass        | S            | H             | E             |
|------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|---------------|
| Tapeguhe   | Palmeraie      | 68.33 ± 4.42a  | 18.21 ± 1.15ab | 5.67 ± 0.8a  | 2.16 ± 0.14a  | 0.89 ± 0.01ab |
|            | Cocoa farm     | 21.33 ± 4.92b  | 12.57 ± 1.48b  | 4.33 ± 0.88a | 1.91 ± 0.28a  | 0.97 ± 0.01a  |
|            | Hevea field    | 51.33 ± 5.0ab  | 65.98 ± 12.74a | 6.17 ± 0.31a | 2.2 ± 0.1a    | 0.84 ± 0.02b  |
|            | <i>P-value</i> | 0.001          | < 0.001        | 0.221        | 0.699         | < 0.001       |
| Zepreguhe  | Palmerais      | 38.0 ± 4.47ab  | 9.06 ± 0.76c   | 3.83 ± 0.4ab | 1.77 ± 0.12ab | 0.94 ± 0.01a  |
|            | Cocoa farm     | 31.33 ± 4.06b  | 19.13 ± 2.37b  | 5.33 ± 0.33a | 2.28 ± 0.12a  | 0.95 ± 0.02a  |
|            | Hevea field    | 50.0 ± 2.48a   | 36.11 ± 5.03a  | 3.0 ± 0.0b   | 1.23 ± 0.01b  | 0.78 ± 0.01b  |
|            | <i>P-value</i> | 0.024          | < 0.001        | 0.002        | < 0.001       | 0.002         |
| Tahiraguhe | Palmeraie      | 36.67 ± 3.92ab | 7.65 ± 0.63b   | 3.5 ± 0.34a  | 1.23 ± 0.21a  | 0.67 ± 0.06b  |
|            | Cocoa farm     | 26.0 ± 4.7b    | 14.75 ± 2.66ab | 3.83 ± 0.65a | 1.71 ± 0.25a  | 0.94 ± 0.02a  |
|            | Hevea field    | 57.0 ± 4.7a    | 29.86 ± 9.82a  | 3.5 ± 0.34a  | 1.61 ± 0.09a  | 0.91 ± 0.02ab |
|            | <i>P-value</i> | 0.003          | 0.005          | 0.885        | 0.171         | 0.007         |

H: Shannon Index and E: Equitability. Values followed by different letters are significantly different at the 5% threshold (Anova 1).

### 3.1.4 PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS

#### ON THE TAPEGUHE SITE

At the Tapéguhé site, the quantities of organic matter, organic carbon, nitrogen, C/N ratio and phosphorus do not vary significantly (Anova 1,  $P > 0.05$ ) between the types of land use, although the organic status of the soil under cocoa production seems high. The C/N ratio remained  $\geq 13$  regardless of the type of land use. As for assimilable phosphorus, its value in the palm grove appears to be higher. The soils are acidic ( $\text{pH}_{\text{water}}$  from 6.30 to 6.63). Their texture is silty-clay-sandy (cocoa and rubber plantation) to sandy (palm grove) (Table 4).

#### ON THE ZEPREGUHE SITE

Texture also varies in the same direction as at the Tapeguhé site (silty-clay-sandy: cocoa and rubber plantation, to sandy: palm grove). The soils are slightly more acidic in the palm grove ( $\text{pH}_{\text{water}}$  of  $6.00 \pm 0.12$ ) (Anova 1,  $P < 0.05$ ). With the exception of the higher C/N ratio in the palm grove ( $16.33 \pm 0.88$ ) and the lower C/N ratio in the cocoa plantation ( $13.00 \pm 0.58$ ) and the rubber plantation ( $13.00 \pm 0.58$ ), organic matter, organic carbon and total nitrogen did not vary significantly between the three agrosystems. Assimilable phosphorus was higher in the palm grove ( $40.87 \pm 1.74 \text{ g.kg}^{-1}$ ) and lower in the cocoa ( $14.90 \pm 6.13 \text{ g.kg}^{-1}$ ) and rubber plantation ( $2.87 \pm 1.58 \text{ g.kg}^{-1}$ ) (Table 4).

#### TAHIRAGUHE WEBSITE

At the Tahiraguhé site, the soil is neutral in the cocoa farm ( $7.2 \pm 0.3$ ) while in the palm farm ( $5.53 \pm 0.03$ ) and in the rubber plantation the soils are acidic ( $6.17 \pm 0.12$ ). The texture is sandy in the palm and rubber plantation, while in the cocoa plantation it is silty-sandy. Assimilable phosphorus does not vary significantly between soil use types (Anova 1,  $P > 0.05$ ), its value is higher in the cocoa and rubber plantation and low in the palm plantation. Organic matter ( $3.04 \pm 0.1 \%$ ), organic carbon ( $1.77 \pm 0.09 \%$ ) and total nitrogen ( $0.17 \pm 0.03 \%$ ) are higher in the cocoa farm, while the C/N ratio ( $15.33 \pm 0.088 \%$ ) is high in the rubber plantation (Table 4).

Table 4. Physico-chemical properties of different types of land use

| Physico-chemical parameters | Sites       |             |             |       |             |              |             |       |             |              |             |        |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|--------------|-------------|-------|-------------|--------------|-------------|--------|
|                             | Tapeguhe    |             |             |       | Zepreguhe   |              |             |       | Tahiraguhe  |              |             |        |
|                             | Palmeraie   | Cocoa farm  | Hevea field | P     | Palmeraie   | Cocoa farm   | Hevea field | P     | Palmeraie   | Cocoa farm   | Hevea field | P      |
| MO (%)                      | 1.78±0.56a  | 2.12±0.32a  | 1.66±0.15a  | 0.69  | 1.49±0.21a  | 2.06±0.46a   | 2.06±0.1a   | 0.34  | 1.89±0.43a  | 3.04±0.1b    | 1.55±0.3a   | 0.03   |
| CO (%)                      | 1.03±0.33a  | 1.23±0.19a  | 0.97±0.09a  | 0.69  | 0.87±0.12a  | 1.20±0.06a   | 1.20±0.06a  | 0.34  | 1.1±0.25a   | 1.77±0.09b   | 0.9±0.17a   | 0.03   |
| Nt (%)                      | 0.07±0.03a  | 0.13±0.03a  | 0.10±0a     | 0.29  | 0.07±0.03a  | 0.13±0.03a   | 0.10±0a     | 0.29  | 0.10±0a     | 0.17±0.03a   | 0.10±0a     | 0.07   |
| C/N ratio                   | 14.67±1.2a  | 13.00±1a    | 14.00±0a    | 0.46  | 16.33±0.88  | 13.00±0.58   | 13.00±0.58  | 0.02  | 14.67±1.2a  | 12.67±0.67a  | 15.33±0.88a | 0.19   |
| P (g.kg <sup>-1</sup> )     | 17.37±6.43a | 13.00±6.5a  | 5.47±2.7a   | 0.36  | 40.87±1.74b | 14.90±6.13a  | 2.87±1.58a  | 0.001 | 8.6±7.34a   | 24.57±15.57a | 17.5±11.8a  | 0.66   |
| pH <sub>water</sub>         | 6.30±0.36a  | 6.37±0.22a  | 6.63±0.24a  | 0.68  | 6.00±0.12a  | 6.57±0.07b   | 6.17±0.07a  | 0.009 | 5.53±0.03a  | 7.2±0.3b     | 6.17±0.12a  | 0.00   |
| Clay (%)                    | 6.33±2.96b  | 25.67±1.67a | 23.67±3.53a | 0.005 | 2.33±0.33a  | 13.00±2.65ab | 21.33±5.17b | 0.02  | 5.0±1.0a    | 22.33±2.33b  | 5.67±0.88a  | 0.00   |
| Silt (%)                    | 16.33±2.67a | 22.33±1.2a  | 13.67±1.2a  | 0.14  | 12.33±1.2a  | 19.33±2.19a  | 20±2.08a    | 0.05  | 14.67±0.67a | 22.67±2.33b  | 18±0.58ab   | 0.022  |
| Sand (%)                    | 77.33±5.24b | 52.00±0.58a | 56.67±2.6a  | 0.00  | 85.33±0.88b | 67.61±4.7a   | 58.67±6.89a | 0.02  | 80.33±1.45a | 55.33±1.45b  | 76.33±0.88a | <0.001 |

OM: organic matter; OC: organic carbon, Nt: total nitrogen; P: Phosphore assimilable. Values followed by different letters are significantly different at the 5% level (Anova 1).

3.1.5 ECOLOGICAL PREFERENCES OF EARTHWORMS: INDVAL ANALYSIS

This study was based on the hierarchical classification of all 9 agrosystems that served as a basis for the determination of the typologies (Figure 1). The partition of the agrosystems was stopped at level 3 because at this stage of partition the indicator values of the earthworm species start to decrease. Two edaphic parameters, texture and pH, are the most appropriate for the hierarchical classification of agrosystems. Thus level 1 does not define a partition but groups all agrosystems. Level 2 defines, on the one hand, the group of palm plantations with sandy textured soils and which associate the species *Hyperiodrilus africanus* (IndVal: 77.26 %; t-test:  $P < 0.01$ ), and on the other hand, the group composed of cocoa and rubber plantations characterised by a silty-sandy texture and preferred by the species *Dichogaster baeri* (IndVal: 81.92 %; t-test:  $P < 0.01$ ). The third level of partition gives three groups of agrosystems, namely group 1 composed of Tapeguhé and Zepreguhé palm plantations with a sandy texture and associating the species *Stuhlmannia zielae* (IndVal: 99,72%; t-test:  $P < 0,01$ ) and *Gordiodrilus paski* (IndVal: 100 %; t-test:  $P < 0.01$ ); group 3 consisting of the Tahiraguhé palm grove with sandy texture and acidic soil is preferred by the species *Hyperiodrilus africanus* (IndVal: 73.79 %; t-test:  $P < 0.01$ ), and group 2 composed of cocoa and rubber plantations with a silty-sandy texture, is preferred by the species *Dichogaster baeri* (IndVal: 63 %; t-test:  $P < 0.01$ ) (Table V).

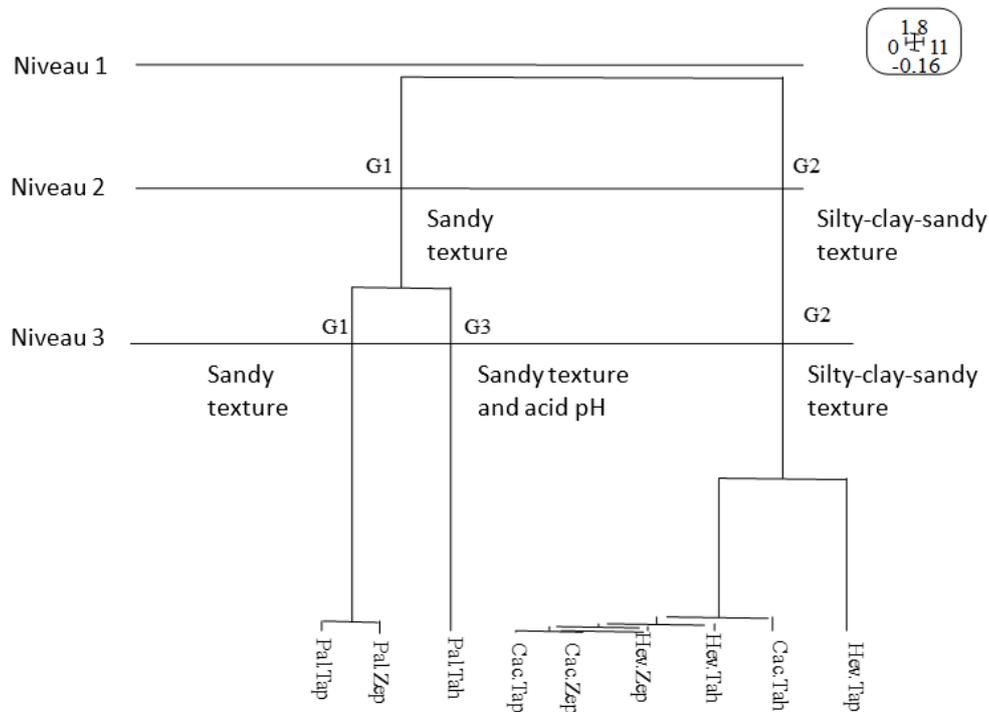


Fig. 1. Hierarchical classification of the 9 agrosystems on the basis of physico-chemical parameters

Pal: Palmeraie; Cac: Cocoa farm; Hev: Hevea field; Tap: Tapeguhe; Zep: Zepreguhe; Tah: Tahiraguhe; G1: Group 1; G2: Group 2 and G3: Group 3

Table 5. Species associated with the different typologies identified by the hierarchical classification

| Scores | Typologies                                  | Indications                           | Species and indicator values (%)                                      |
|--------|---|---------------------------------------|---|
| 1      | All agrosystems                             | -                                     | -   |
| 2      | Group 1: Palm groves                        | Soil with sandy texture               | <i>Hyperiodrilus africanus</i> (77,26)                                |
|        | Group 2: Cocoa and rubber plantations       | Soil with a silty-clay-sandy texture  | <i>Dichogaster baeri</i> (81,92)                                      |
| 3      | Group 1: Tapéguhé and Zépréguhé palm groves | Sandy textured soil                   | <i>Stuhlmannia zielae</i> (99,72) and <i>Gordiodrilus paski</i> (100) |
|        | Group 3: Tahiraguhé palm grove              | Soil with sandy texture and acidic pH | <i>Hyperiodrilus africanus</i> (73,79)                                |
|        | Group 2: Cocoa and rubber plantations       | Soil with a silty-clay-sandy texture  | <i>Dichogaster baeri</i> (63)   |

### 3.2 DISCUSSION

In general, the practice of growing perennial crops induces a large variation in earthworm density and biomass compared to the diversity of the stand in each agricultural production site. Worms are essentially more abundant in rubber plantations while populations are low in cocoa farms despite the high organic matter levels in these agrosystems. This pattern under cocoa farms could be attributed to agricultural practices such as the treatment of cocoa plants with insecticides and fungicides; plant protection products known to have a harmful effect on earthworm populations [29].

Indeed, work by [30] in the southern region of Cameroon found that worm populations decreased as the intensity of application of the fungicide Ridomil® increased in a 35-year-old cocoa farm. The lower abundance could be explained by the lack of availability of food resources for these groups due to plantation maintenance [31] and the frequent use of herbicides for plantation maintenance [32].

Studies also show a direct effect of herbicides through toxicity, resulting in high mortality and declining populations of some macro-invertebrate groups in intensive agricultural systems [33; 32]. This practice acts indirectly on macro-arthropod communities by suppressing weeds covering the soil. This suppression can lead to an alteration of microclimatic conditions (increase in temperature and decrease in humidity) and also to a suppression of resources and organic matter inputs, leading to a decrease in the abundance of species, especially detritivores [34; 32].

Gains in abundance under rubber plantations would be governed by, among other things, the reduced use of plant protection products, which would decouple the beneficial effect of soil cover by litter, which would regulate soil temperature and moisture (creation of a mild microclimate) and constitute a source of diversification of microhabitats for soil fauna [35].

At the scale of the three agricultural production sites, 13 species of earthworms were sampled with 11, 8 and 10 species, respectively at the Tapequhé, Zepreguhé and Tahiraguhe sites. Six species, namely *Millsonia omodeoi*, *Dichogaster ehrhardti*, *Dichogaster terraenigrae*, *Dichogaster papillosa*, *Stuhlmannia zielae* and *Hyperiodrilus africanus*, dominated the earthworm population by far in all three sites. However, four were found to be indicative of agrosystem groups obtained from the hierarchical classification of plots on the basis of soil physico-chemical properties. These include *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae*, *Dichogaster baeri* and *Gordiodrilus paski*. Our results thus reveal that earthworm abundance can be an appropriate indicator of the physico-chemical status of soils.

Indeed, depending on the functional aptitudes of each species, worms are excellent bioindicators of the quality of the ecosystems in which they live, as they are sensitive to the edaphic environment [36]. Individuals of the species *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae* and *Gordiodrilus paski* are indicators of soils under palm groves, characterised by a sandy texture. The establishment of *Hyperiodrilus africanus* in palm groves may reflect its ability to withstand high rates of anthropisation and its lower sensitivity to soil acidity. Similar results on the acidophilic suitability of the earthworms *Dichogaster candida* and *D. cornuta* were demonstrated by Guei *et al.* (2019) on Mount Nimba in highland grassland soils characterised by high iron toxicity, which causes their acidity.

Furthermore, the detritivorous species *Dichogaster baeri* has a preference for cocoa and rubber plantations with soils that are silty, clayey and sandy in texture but also characterised by high levels of organic matter. The simultaneous presence of organic matter, silt and clay in these soils will contribute to the formation of the clay-humus complex, which will give the soil a good structure, particularly the lumpy structure. Thus, the association of the species *Dichogaster baeri* with these agrosystems may underlie the indication of soils with a good clay-humus complex. *Dichogaster baeri* is less generalist than *Hyperiodrilus africanus*, *Gordiodrilus paski* and *Stuhlmannia zielae* and has an abundance of between 2.6 and 8.4 %, giving it specialist status. The knowledge of specialist species is an asset for the orientation of soil biodiversity conservation policy and the promotion of sustainable agriculture [37], because their elimination leads to the disappearance of the irreplaceable ecological services they provide [38], which could lead to an imbalance in the environment.

#### 4 CONCLUSION

The present study aimed to identify response groups within earthworm populations to changes in edaphic parameters in nine perennial crop agrosystems. The results show that worms are predominantly more abundant in rubber plantations while populations are low in cocoa plantations despite the high organic matter levels in these agrosystems. Rubber plantations provide favourable conditions for the establishment of earthworm populations and can thus play an important role in the conservation of these organisms. The stand at the three agricultural production sites shows a richness of 13 earthworm species. Six species dominated the stand, of which *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae*, *Dichogaster baeri* and *Gordiodrilus paski* were found to be indicative of agrosystem groups.

#### REFERENCES

- [1] Y. T. Brou: Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, pp 212, 2008.
- [2] K. Traoré, «Couverture forestière de la Côte d'Ivoire: une analyse critique de la situation de gestion des forêts (classée, parc et réserve),» *The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, Vol. 5, No. 2, pp 4387 - 4397.
- [3] Ruf F. Les cycles du cacao en Côte d'Ivoire: la mise en cause d'un modèle. In le modèle ivoirien en questions. Crises, ajustements, recompositions. *Karthala-ORSTOM*, Paris, France, pp 249-264, 2009.
- [4] Chatelain, C., Dao H., Gautier L. and Spichiger R., Forest cover change in Côte d'Ivoire and Upper Guinea. In: *Poorter, L., Bongor, F., Kouamé, F.N., Hawthorne, W.D.* (eds). Biodiversity of West Africa forest. An Ecological Atlas of Woody Plant Species. CABI, Wallingford, pp 15 - 31, 2004.
- [5] M. Koumba, H. K. Mipounga, A. A. Koumba, C. R. Z. Koumba, B. R. Mboye, J. F. Liwouwu, J. D. Mbega and J. F. Mavoungou, «Diversité familiale des macro-invertébrés et qualité des cours d'eaux du Parc National de Moukalaba Doudou (Sud-Ouest du Gabon) ». *Entomologie Faunistique*, 70: 107 - 120, 2017.
- [6] M. Henry, M. Belem, R. D'Annunzio, M. Bernoux, Les stocks de carbone des sols d'Afrique de l'Ouest. In: *Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles*. Rome/Marseille, pp 35 - 41, 2020.
- [7] H. R. P. Phillips, E. M. Bach, M. L.C. Bart, J. M. Bernnett, R. Beugnon, M. J. I. Briones, G. G. Brown and N. Eisenhauer, «Global data on earthworm abundance, biomass, diversity and corresponding environmental property,» *Scientific Data*, Vol. 8, pp 1 - 36, 2021.
- [8] A. Turbé, A. De Toni, P. Benito, P. Lavelle, N. Ruiz, W. H. Van der Putten, E. Labouze and S. Mudgal: Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment), pp 250, 2010.
- [9] A. M. Guei, J. K. N'Dri, F. G. Zro Bi, S. Bakayoko and J.E. Tondoh, «Relationships between soil morpho-chemical parameters and earthworm community attributes in tropical agroecosystems in the center-west region of Ivory Coast, Africa». *Tropical Ecology*, Vol. 60, 209 - 218, 2019.
- [10] S. J. Fonte, A. Y. Y. Kong, Chris van Kessel, P. F. Hendrix and J. Six, «Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management». *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 39, 1014 – 1022, 2007.
- [11] H.N. Hong, C. Rumpfen T. H. Des-Tureau, G. Bardoux, D. Billou, T. T. Duc and P. Jouquet. «How do earthworms influence organic matter quantity and quality in tropical soils?» *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 43, pp 223 - 230, 2011.
- [12] P. Lavelle, J. Mathieu, A. Spain, G. Brown, C. Fragoso, E. Lapied, A. De Aquino, I. Barois, E. Barrios, M. E. Barros, J. C. Bedano, E. Blanchart, M. Caulfield, Y. Changueza, Y. Dai, T. Dacaens, A. Dominguez, Y. Dominguez, A. Feijoo and C. Zhang, «Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*,» Vol 00, pp 1 - 16, 2022.
- [13] P. Lavelle, T. Decaëns, M. Aubert, S. Barot, M. Blouin, F. Bureau, P. Margerie, P. Mora, J. P. and J P. Rossi, «Soil invertebrates and ecosystem services,» *European Journal of Soil Biology*, Vol. 42, pp 3 - 15, 2006.
- [14] A. Swati and S. Hait, «Fate and bioavailability of heavy metals during vermicomposting of various organic wastes,» *A review, Process Safety and Environment Protection*, India, (DOI: 10.1016/j. psep.2017.03. 031), 2017.
- [15] Y. Capowiez, T. Decaens, M. Hedde, C. Marsden, P. Joupet, F. D. Marchan, J. Nahamani, C. Pelosi and Bottinelli, «Faut-il continuer à utiliser les catégories écologiques de vers de terre définies par Marcel Bouché il y'a 5 ans ? une vision historique et critique». *Etude Gestion des Sols*, Vol. 29, pp 51- 58, 2022.
- [16] ICEF et INSEA (2002). L'économie locale du département de Daloa. Rapport d'étude, Programme ECOLOC, Vol. 1, p 144, 2002.
- [17] R. Ligban, D. Goné, B. Kamagaté, M. B. Saley & J. Biémi, «Processus ydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa». *Journal of Biology and Chemical Science*, vol. 3, no. 1, pp 38 - 47, 2009.
- [18] J. M. Avenard & A. Deluz, «Milieu naturel de Côte d'Ivoire». *Etudes rurales*, no 48, pp. 185-186, 1972.
- [19] B. Dabin, N. Leneuf, G. Riou, Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Notice explicative. ORSTOM, p 39, 1960.
- [20] J. P. Rossi, «The spatiotemporal pattern of a tropical earthworm species assemblage and its relationship with soil structure,» *Pedobiologia*, Vol. 47, pp 497 - 503, 2003.
- [21] P. Lavelle, «Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): Peuplements, Population et Fonctions dans l'écosystème,» *Publication du Laboratoire Zoologique*, ENS, Vol. 12, pp 301, 1978.
- [22] C. Cszudi and E. J. Tondoh, «New and little-known earthworm species from the Ivory Coast (Oligochaeta: Acanthodrilidae: Benhamiinia-Eudrilidae),» *Journal of Natural History*, Vol. 41, pp 2551 - 2556, 2007.

- [23] Legendre L and Legendre P. *Ecologie numérique* tome 1: Le traitement multiple des données écologiques. 2<sup>ème</sup> édition 1984: Masson, Paris France, pp 50, 1984.
- [24] Douzals J. P.: Mesures physiques de la variabilité des sols en agriculture de précision. Ingénieries-EAT, IRSTEA édition 2000, Dijon, France, pp 45 - 52, 2000.
- [25] M. Diack and M. Loum, «Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de SaintLouis, dans le bas delta du fleuve Sénégal». *Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi*, Vol. 12 pp 15, 2014.
- [26] Hilhorst M. A. and Balendonck J.: A pore water conductivity sensor to facilitate noninvasive soil water content measurements. In: Precision Agriculture 1999, J.V. Staffort (ed.). Proceedings of the 2nd European Conference in Precision Agriculture. Society of Chemical Industry, Odense, Denmark, pp 211 - 220, 1999.
- [27] J. Thioulouse, D. Chessel, S. Dolédec and J. M. Olivier, «ADE-4: à multivariate analysis Tomography: preliminary study,» *European Journal of Soil Biology*, Vol. 38, pp 329 - 336, 1997.
- [28] M. Dufrière and P. Legendre, «Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach», *Ecological Monographs*, Vol. 67, pp 345 - 366, 1997.
- [29] M. E. Cook and A. A. J. Swait, «Effects of some fungicide treatments on earthworm populations and leaf removal in apple orchards,» *Journal of Horticulture Sciences*, Vol. 50, 495 - 499, 1975.
- [30] L. Norgrove, C. Csuzdi, F. Forzi, M. Canet and J. Gounes, «Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa,» *Tropical Ecology*. Vol. 50, pp 71 - 78, 2009.
- [31] M. Traore. Impact des pratiques agricoles (rotation, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au Centre Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Institut du Développement Rural (Bobo-Dioulasso: Burkina Faso), pp 15 - 120, 2012.
- [32] M. El Jaouhari, G. Damour, C. Mauriol and M. Coulis, «Effets des pratiques agricoles sur les macro-arthropodes du sol dans les bananeraies de Martinique», *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 29, pp 77 - 91, 2022.
- [33] M. G. Paoletti and M. Hassall, «Woodlice (Isopoda: *Oniscidea*): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators,» *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999 Vol. 74, pp 157 - 165, 1999.
- [34] C.W.G. De Menezes and M.A. Soares, «Impactos do controle de plantas daninhas e da aplicação de herbicidas em inimigos naturais», *Revista Brasileira de Herbicidas*, Vol. 15, pp 2 -7, 2016.
- [35] E. J. Tondoh, K. Dimobe, A. M. Guéj, L. Adohe, L. Baidal, J. K. N'Dri and G. Forkuor, «Soil Health Changes Over a 25-Year Chronosequence from Forest to Plantation in Rubber Tree (*Hevea brasiliensis*) Landscapes in Southern Côte d'Ivoire: Do Earthworms Play Role?» *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 7, pp 19 – 73, 2019.
- [36] N. Ruiz, M. Jérôme, C. Léonide, R. Christine, H. Gérard, I. Etienne and L. Patrick. «IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrates communities» *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 43, 2032 - 2045, 2011.
- [37] J. Nahmani, P. Lavelle and J.P. Rossi, «Does changing the taxonomical resolution alter the value of soil macroinvertebrates as bioindicators of metal pollution ?» *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 38, pp 385 - 396, 2006.
- [38] T. H. Larsen, N.M. Williams and C. Kremen, «Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning,» *Ecology Letters*, Vol. 8, pp 538 - 547, 2005.

# **COMMUNICATION N° 1 :**

**Les Journées des Sciences de l'Environnement et du Développement Durable (JSEDD-2022) du 30 novembre au 1<sup>er</sup> décembre 2022**

**Bessimory TOURE**, Arnauth Martinez GUEI, Ferdinand Gohi Bi ZRO, N'Guessan Boris KOUASSI. Implication des peuplements des vers de terre dans l'indication de l'état physico-chimique des sols sous trois types de cultures pérennes dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Communication orale

## **Implication des peuplements des vers de terre dans l'indication de l'état physico-chimique des sols sous trois types de cultures pérennes dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

**Bessimory TOURE<sup>1\*</sup>**, Arnauth Martinez GUEI<sup>1,2</sup>, Ferdinand Gohi Bi ZRO<sup>1</sup>, N'Guessan Boris KOUASSI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Agroforestérie, Département d'Agropédologie et SIG, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.*

<sup>2</sup>*Université Nangui Abrogoua, Centre de Recherche en Ecologie, 08 BP 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire*

\*Auteur correspondant : [touresmory@gmail.com](mailto:touresmory@gmail.com)

### **Résumé**

Les services écosystémiques rendus par les peuplements de Vers de terre sont très peu étudiés sous les agrosystèmes des cultures pérennes en Côte d'Ivoire. La présente étude réalisée dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) se propose d'identifier les groupes de réponses au sein des peuplements de Vers de terre suivant les modifications des paramètres édaphiques dans trois types de cultures pérennes. Pour ce faire, les peuplements des vers de terre et les paramètres physico-chimiques ont été échantillonnés sur trois transects par plantation, dans neuf plantations répartis entre trois faciès : les plantations de cacaoyers, palmiers à huile et hévéas. Le peuplement à l'échelle des neuf plantations présente une richesse de 13 espèces de Vers de terre. Six espèces dominent le peuplement, parmi lesquelles, quatre à savoir, *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae*, *Dichogaster baeri* et *Gordiodrilus paski* ont révélé leur préférence pour des types de cultures. En effet, les espèces *Hyperiodrilus africanus*, *Stuhlmannia zielae* et *Gordiodrilus paski* étaient indicatrices des sols sableux sous palmeraies ; le détritivore *Dichogaster baeri* était associé aux cacaoyères et aux plantations d'hévéas où les sols avaient une texture limono-argilo-sableuse et une teneur importante de matière organiques. Ces résultats ouvrent de nouvelles voies de recherches sur les rôles des vers de terre dans le fonctionnement des sols des cacaoyères, palmeraies et plantations d'hévéas dans la région du centre-ouest ivoirien. Il s'agira par exemple de voir si les populations des vers de terre peuvent être utilisées dans l'élaboration d'un indice holistique à l'image de l'indice général de la qualité des sols (IGQS) pour évaluer la qualité des sols des agrosystèmes de cultures pérennes.

**Mots clés :** cultures pérennes, vers de terre, propriétés physico-chimiques, groupes de réponse, préférence

# **COMMUNICATION N° 2 :**

**COLLOQUE INTERNATIONAL DE L'AGROFORESTERIE TROPICALE (CIAT)  
DU 13 AU 15 DÉCEMBRE 2023**

**Bessimory TOURE, Ferdinand Gohi Bi ZRO, Ery Hortense YOUL.** Évaluation du potentiel de stockage du carbone organique dans des sols agricoles du département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Communication orale

## **Évaluation du potentiel de stockage du carbone organique dans des sols agricoles du département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

**Bessimory TOURE<sup>1\*</sup>, Ferdinand Gohi Bi ZRO<sup>1</sup>, Ery Hortense YOUL<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Agroforestérie, Département d'Agropédologie et SIG, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.*

*\*Auteur correspondant : tourebesmory@gmail.com*

### **Résumé**

Dans le département de Daloa, une des principales zones agricoles de la Côte d'Ivoire, le changement de l'utilisation des terres est si énorme qu'il menace les écosystèmes et, avec eux, les services fournis, notamment la stabilisation du climat via le stockage du carbone dans la végétation et les sols. Ainsi, l'un des défis environnementaux majeurs à relever dans ce département est de déterminer parmi les cultures pratiquées, celles qui ont un potentiel important de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en conservant les réservoirs de carbone existants dans les sols. C'est cet objectif qui était visé dans la présente étude. Elle a consisté à choisir dans trois villages différents, trois mêmes cultures (cacaoyer, hévéa et palmier à huile) parmi les plus pratiquées. Les propriétés physico-physiques des sols ont été déterminées à partir de trois fosses pédologiques implantées sur une parcelle utile de 10000 m<sup>2</sup>, par usage de sol. Les stocks de carbone contenus dans les 100 à 120 premiers cm des sols ont été calculés. Il est ressorti que les sols sous cacaoyers stockent mieux le carbone que les sols sous hévéas. Ces derniers ont un potentiel plus important que les sols sous palmiers à huile. Toutefois, les stocks mesurés demeurent globalement faibles, ce qui montre que les pratiques culturales évaluées devraient être améliorées.

**Mots clés :** Sol, Stock de carbone organique, Réchauffement climatique, Usages du sol, Daloa.

## RÉSUMÉ

L'agriculture intensive et la recherche de nouvelles terres fertiles se traduisent par une pression sur l'écosystème qui, à son tour entraîne la dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. En conséquence, les rendements agricoles sont relativement bas et la productivité des terres diminue drastiquement. Pour mieux cerner ce problème et entreprendre une gestion durable des sols agricoles dans le département de Daloa (Côte d'Ivoire), la présente étude a eu pour objectif général d'évaluer la dynamique du carbone organique dans les sols des principaux agrosystèmes du département et déterminer les modalités de stockage de ce carbone dans les sols. Ainsi, trois plantations de cultures pérennes différentes, à savoir, cacaoyers, hévéas et palmiers à huile, ont été choisis à la fois dans trois villages. Dans chacune des plantations, trois activités ont été réalisées : la première a consisté en une caractérisation morpho-physique et physico-chimique des sols, la seconde en une étude de la diversité, l'abondance et la variabilité des macro-invertébrés dans les sols et, la troisième étude enfin, en la détermination du stock de carbone dans les sols des cultures. Les propriétés morpho-pédologiques et physico-chimiques des sols déterminées, ainsi que les propriétés biologiques, ont été mises en corrélation avec les stocks de carbone ressortis des sols pour identifier les déterminants du processus de stockage du carbone dans les sols. Les résultats ont montré que les sols étudiés sont ferrallitiques sur les plateaux et hydromorphes dans les bas-fonds. Les ordres des hyménoptères (Pal : 32,91 pc, Cac : 59,12 pc et Hev : 59,49 pc) et des isoptères (Pal : 19,64 pc, Cac : 18,87 pc et Hev : 13,91 pc) ont été les mieux représentés numériquement par rapport aux orthoptères (Pal : 6,99 pc, Cac : 3,9 pc et Hev : 4,34 pc), diptères (Pal : 0,96 pc, Cac : 1,86 pc et Hev : 0,62 pc), dictyoptères (Pal : 0,2 pc, Cac : 0,2 pc et Hev : 0,33 pc) ... à la fois sur les trois sites et selon les usages des sols. Aussi, il s'est avéré que les sols sous cacaoyers ( $7916,60 \pm 1424,68$ ) stockent mieux le carbone que les sols sous hévéas ( $7626,96 \pm 973,13$  g.m<sup>-2</sup>), eux-mêmes plus performants en la matière que les sols hydromorphes de bas-fonds sous palmiers à huile ( $7477,72 \pm 1288,48$  g.m<sup>-2</sup>). Un rôle important de la macrofaune a été relevé dans le processus, quand bien même que cette faune subit par endroit l'effet des herbicides. Il en est résulté que la faune soit inégalement répartie en fonction des milieux.

**Mots clés :** Sol, Stock de carbone organique, Réchauffement climatique, Macrofaune, Daloa.

## ABSTRACT

Intensive farming and the search for new fertile land result in pressure on the ecosystem, which in turn leads to degradation of the physical, chemical and biological properties of the soil. As a result, agricultural yields are relatively low and land productivity is falling drastically. To gain a better understanding of this problem and undertake sustainable management of agricultural soils in the Daloa department (Côte d'Ivoire), the general aim of this study was to assess the dynamics of organic carbon in the soils of the department's main agrosystems and determine how this carbon is stored in the soils. Three plantations of different perennial crops, namely cocoa, rubber and oil palm, were selected in three villages. In each of the plantations, three activities were carried out : the first consisted of a morpho-physical and physico-chemical characterisation of the soils, the second a study of the diversity, abundance and variability of macro-invertebrates in the soils, and the third a determination of the carbon stock in the crop soils. The morpho-pedological and physico-chemical properties of the soils determined, as well as the biological properties, were correlated with the carbon stocks extracted from the soils to identify the determinants of the carbon storage process in the soils. The results showed that the soils studied are ferrallitic on the plateaux and hydromorphic in the lowlands. The orders Hymenoptera (Pal : 32.91 pc, Cac : 59.12 pc and Hev : 59.49 pc) and Isoptera (Pal : 19.64 pc, Cac : 18.87 pc and Hev : 13.91 pc) were numerically better represented than Orthoptera (Pal : 6.99 pc, Cac : 3.9 pc and Hev : 4.34 pc), Diptera (Pal : 0.96 pc, Cac : 1.86 pc and Hev : 0.62 pc), Dictyoptera (Pal : 0.2 pc, Cac : 0.2 pc and Hev : 0.33 pc) ... both on the three sites and according to land use. It also turned out that soils under cocoa trees ( $7916.60 \pm 1424.68$ ) store carbon better than soils under rubber trees ( $7626.96 \pm 973.13$  g.m<sup>-2</sup>), which themselves perform better in this respect than hydromorphic soils in the lowlands under oil palms ( $7477.72 \pm 1288.48$  g.m<sup>-2</sup>). Macrofauna played an important role in the process, even though in places it was affected by herbicides. As a result, the fauna is unevenly distributed depending on the environment.

**Key words:** Soil, Organic carbon stock, Global warming, Macrofauna, Daloa.