

Diversité biologique des acariens du sol de la Côte d'Ivoire.

Ecologie des communautés.

N'DRI Kouadio Julien

Novembre 2010

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
docteur en science

Promoteurs de thèse :

Prof. Thierry HANCE

Prof. Henri M. ANDRE

Faculté des sciences

Université catholique de Louvain

Dédicace

Je dédie cette thèse à mon Seigneur Jésus Christ,
A mon défunt père
A ma chérie Fatou Sérifou
et à notre adorable petite fille Marise Naomie

AVANT-PROPOS

Le présent travail a pris forme grâce à la disponibilité et à la collaboration de personnes et instituts de recherches qu'il m'est agréable de remercier.

Tout d'abord je remercie le recteur de l'Université Catholique de Louvain, ainsi que les membres de la commission doctorale pour avoir accepté mon inscription au 3^{ème} cycle et à la formation doctorale.

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude au président de l'Université d'Abobo Adjamé pour avoir accepté et favorisé mon séjour en Belgique pour la réalisation de ma thèse de doctorat.

Je remercie très sincèrement Mr le Professeur Thierry Hance, Promoteur et directeur de thèse, pour m'avoir accepté dans son laboratoire (Earth and Life Institute, Biodiversity Research Center) de l'université Catholique de Louvain. Il a assuré mon inscription durant mes années académiques et m'a trouvé une bourse UCL pour l'achèvement de mes travaux. L'encadrement scientifique et humain dont j'ai pu bénéficier a été un atout déterminant pour la poursuite et la réalisation de ce travail.

Je remercie infiniment le Docteur Henri M André co-promoteur, pour avoir accepté de m'encadrer et m'initier à l'Acarologie. Par son dynamisme et son enthousiasme scientifique, il m'a entraîné dans l'étude des Acariens du sol. Malgré son état de santé critique, il s'est toujours montré disponible pour que cette thèse voie le jour. Par ses critiques constructives, il sut me faire progresser dans le domaine de l'acarologie et de l'écologie des

communautés. Mon séjour au Musée de Tervuren est en partie grâce à lui. Qu'il soit assuré de notre amitié.

Monsieur le Docteur Rudy Jocqué chef de section, a accepté que j'intègre son laboratoire (invertébrés non insectes) pour mes différents travaux d'observations microscopiques et d'analyses. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude.

Monsieur le Professeur Tondoh Ebagnérin Jérôme, enseignant-chercheur à l'Université d'Abobo-Adjamé et présentement en poste au mali a bien voulu me suggérer l'étude des Acariens du sol et a permis grâce au projet CSM-BGBD de financer la phase terrain des travaux. Il m'a initié à la recherche, Merci Professeur.

Les Docteurs Didier Van Den Spiegel (MRAC) et Yves Samyn (IRScNB) m'ont toujours soutenu de par leurs assistances et conseils pour la réalisation de cette thèse. Qu'ils en soient infiniment remerciés.

Un très grand merci aux responsables des bourses ABIC et GTI, support financier dont j'ai pu bénéficié pour la réalisation de cette thèse.

Je remercie tous mes collègues et amis du laboratoire Earth and Life Institute et ceux de la section invertébrés non insectes du musée de Tervuren avec qui j'ai pu collaborer lors de mon séjour doctoral.

Je tiens à remercier Marise Henri André pour son assistance familiale, ses conseils et pour ces copieux repas.

A ma famille j'adresse mes sincères remerciements pour leur soutien moral.

Sommaire

Résumé.....	13
Partie I : Introduction générale, Caractérisation des sites et généralités.....	15
Introduction générale.....	17
Chapitre 1 : caractérisation des zones et sites d'études.....	23
La réserve de Lamto.....	24
Localisation.....	24
Climat.....	24
Végétation.....	25
Sols.....	25
Le département de Oumé.....	28
Localisation.....	28
Climat.....	28
Végétation.....	29
Sols.....	31
Le parc national de Taï.....	31
Localisation.....	31
Climat.....	31
Végétation.....	32
Sols.....	32
Les unités agro-écologiques.....	34
Chapitre 2 : Généralités et critères d'identification des acariens Echantillonnés.....	35
Généralités.....	35
Définition, classification et morphologie.....	35
Reproduction et développement.....	37
Principaux Habitats.....	37
Régime alimentaire.....	38

Rôle écologique.....	38
Importance économique.....	39
Techniques d'études.....	39
Espèces et critères d'identification.....	40
Espèces et critères.....	40
Espèces parasitiformes.....	41
Espèces acariformes.....	41
Espèces morphologiques.....	41
Fiche d'identification.....	43
Partie II : Stratégies d'échantillonnages.....	45
Chapitre 3 : Approche méthodologique.....	47
Echantillonnage des acariens du sol.....	47
Extraction des acariens du sol.....	47
Dépouillement et identification des acariens du sol.....	48
Echantillonnage du sol pour les analyses physico-chimiques.....	49
La teneur en eau du sol.....	50
La densité apparente.....	50
Le potentiel d'hydrogène.....	51
Analyse du carbone et de l'azote.....	51
Traitements des données et analyses statistiques.....	52
Partie III : Results.....	55
Chapitre 4 (Article 1) : Soil mite densities from Ivory Coast.....	59
Abstract.....	60
Introduction.....	61
Material and methods.....	62
Study areas.....	62
Sampling method.....	64
Microarthropods extraction.....	65
Mite identification.....	65
Physico-chemical parameters.....	66

Data analysis.....	66
Results.....	67
Mites density.....	67
Major taxa.....	70
SD ₅₀ and SD ₉₀	70
Physico-chemical parameters.....	73
Mite density and Physico-chemical parameters.....	75
Discussion.....	76
Efficiency of the Berlese-Tullgren Funnels.....	76
Comparison with Lamto results.....	77
Comparison with other data from Africa.....	77
Influences of physico-chemical parameters.....	79
Soil depth ₅₀	79
Acknowledgments.....	80
Chapitre 5 (Article 2) : Soil mite diversity from Ivory Coast.....	83
Abstract.....	84
Introduction.....	85
Material and methods.....	86
The study areas.....	86
Sampling method and mite extraction.....	87
Mite identification.....	87
Mesological parameters.....	87
Data analysis.....	88
Results.....	89
The species accumulation curves.....	89
Species richness.....	90
Species diversity and evenness.....	91
Similarity between sites.....	92
Common and exclusive species.....	93
Beta diversity and depth.....	95

Beta diversity and transects.....	95
Richness and mesological parameters.....	96
Discussion and conclusion.....	98
Site and alpha diversity.....	99
Beta diversity, vertical and horizontal distributions.....	99
Diversity, density and mesological factors.....	100
Acknowledgments.....	101
Chapitre 6 (Article 3) : Indicator species	
in soil mites (Acari) from Ivory Coast.....	105
Abstract.....	106
Introduction.....	107
Materials and methods.....	108
Study sites.....	108
Data analyses.....	109
Results.....	110
Identification of species.....	111
Species indicators of macrohabitats.....	111
Species indicators of microhabitats.....	112
Discussion and conclusions.....	114
Species identification.....	114
Indicator species.....	114
Acknowledgments.....	115
Chapitre 7 (Article 4): Teak plantation vs primary forest	
in Oumé, Ivory Coast.....	121
Abstract.....	122
Introduction.....	123
Material and methods.....	124
Study areas.....	124
Sampling method.....	124
Mite extraction and identification.....	125

Mesological parameters.....	125
Data analysis.....	125
Results.....	126
Mite density.....	126
Alpha diversity.....	127
Similarity and species in common.....	129
Indicator species.....	130
Ordination.....	130
Discussion.....	131
Litter height and decomposition.....	131
Soil disturbance and compaction.....	133
Influence on other biota.....	134
Acknowledgments.....	135
Partie IV : Discussion générale et conclusion.....	137
Discussion générale, conclusion et perspectives.....	139
Bibliographie.....	147
Appendix.....	173

Résumé

En Côte d'Ivoire, le projet CSM-BGBD (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity) avait pour objectif d'identifier les causes de la baisse du potentiel de productivité des sols et de trouver des solutions alternatives aux sites à réhabiliter ou à conserver. La mésofaune et en particulier les acariens du sol jouent un rôle important dans le fonctionnement écologique des écosystèmes. Pour atteindre ces objectifs, plusieurs hypothèses ont été énumérées : (1) l'abondance, la richesse spécifique et la diversité de la faune des acariens du sol sont plus élevées pour des formations végétales anciennes et peu perturbées (2) les rapports d'abondance entre espèces montrent une distribution plus équilibrée lorsque l'habitat est pérenne et peu perturbé (3) les facteurs mésologiques influencent fortement la composition des assemblages d'espèces (4) la présence de certaines espèces peut être indicatrice d'un degré de perturbation du milieu. Afin de tester ces hypothèses, la faune acarologique du sol a été échantillonnée dans 4 sites à physionomies végétales contrastées (forêt primaire de Oumé, forêt primaire de Taï, savane arbustive de Lamto, plantation de teck Oumé) et situés dans deux des trois régions écologiques de la Côte d'Ivoire. Les résultats montrent que la forêt primaire de Oumé renferme la plus grande densité quelque soit la saison. Contrairement à l'hypothèse (1), la plus faible densité est observée dans la forêt de Taï. Plus de 50% de l'abondance des acariens sont repérés dans les couches supérieures du sol et seraient plus sensibles aux variations saisonnières que ceux des couches profondes. La teneur en eau et la densité apparente influencent significativement la distribution verticale des acariens du sol. La richesse spécifique des acariens échantillonnés est plus grande dans la forêt primaire de Oumé où l'habitat est exempt d'activités anthropiques. Par contre la plus faible richesse proviendrait de la plantation de teck qui est soumise à une plus grande perturbation. Un faible taux de recouvrement est observé entre les sites d'études. La variation de la richesse spécifique (bêta

diversité) est plus importante entre les couches que suivant le transect. Les facteurs mésologiques (ρ_{app} , C_{tot} , N_{tot} , Depth and C_{org}) sont corrélés à la richesse spécifique. La composition spécifique est modifiée par la teneur en eau en saison pluvieuse et serait indépendante du pH. Au total 37 espèces d'acariens bioindicateurs du statut écologique des sites d'études ont été répertoriées. Les espèces indicatrices de milieux stables (forêt primaire de Oumé, forêt primaire de Taï, savane arbustive de Lamto) sont plus abondantes que celles indicatrices de milieu perturbé (plantation de teck Oumé). Enfin l'usage des plantations de teck comme solution alternative à la disparition des forêts naturelles n'est pas strictement admis, compte tenu de son caractère monospécifique et des nombreuses activités anthropisantes s'y déroulant et qui limiteraient le bon fonctionnement écologique du sol. En réponse il serait souhaitable d'opter pour un reboisement plurispécifique (source d'une matière organique plus hétérogène) tout en limitant les facteurs perturbateurs.

Partie I

Introduction générale, caractérisation des sites d'études et généralités

Introduction générale

Contexte

En Afrique tropicale et particulièrement en Côte d'Ivoire, plusieurs systèmes de production sous-tendent l'agriculture. La forte pression démographique sur les aires cultivables et les variabilités climatiques ont contribué à réduire le couvert végétal forestier (Floret & Pontanier 2000). Comme conséquence, l'on assiste à une baisse de la productivité et à une dégradation multiforme du milieu naturel (Azontonde *et al.* 1998). Sous les tropiques, la seule fertilisation minérale ne permet pas à long terme de maintenir ou d'accroître le potentiel de productivité des sols (Pieri, 1989) à cause de la dégradation des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Dès lors des solutions alternatives doivent être trouvées. Le recours aux ressources biologiques semble une nécessité. Les organismes vivant jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement écologique des sols et représentent les meilleures indications des conditions du milieu, ce qui favorise le suivi environnemental des types d'habitats à conserver ou à réhabiliter.

Certes sous nos climats le sol constitue un, sinon le réservoir de biodiversité (André *et al.* 2002, Ritz 2009). Cependant pour de multiples raisons, le sol et en particulier sa biodiversité demeure méconnu. L'une des raisons les plus évidentes est la nature même du sol dont l'étude rencontre de nombreux obstacles tant méthodologiques que relatif à la taxonomie des espèces qu'il contient (André *et al.* 2002).

C'est dans le but de mieux comprendre ce fonctionnement et d'acquérir des données et des informations nécessaires sur les organismes du sol et plus particulièrement la mésofaune du sol que le projet CSM-BGBD (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity) a été installé en Côte d'Ivoire et basé particulièrement dans le département de Oumé. Anciennement, ce département était une grande zone de

production du cacao, aujourd'hui, les principales formations végétales naturelles qu'il contient sont dégradées.

Etat de la question

Si en zone tempérée et au USA, de nombreuses données existent sur la faune acarologique, cela semble, ne pas être le cas pour le continent africain où les connaissances sur la mésofaune demeurent insuffisantes (Ghabbour et Davis, 1988 ; André *et al.* 1992). À part quelques études descriptives réalisées par Block (1970) en Ouganda, Belfield (1971) au Ghana, Maldague (1961) et Goffinet (1976) en République Démocratique du Congo, seulement très peu de publications font état des données sur la biodiversité des sols africains. Plus de la moitié de ces travaux ont été réalisés en Afrique du Sud (Loots et Ryke, 1966 ; Den Heyer et Ryke, 1966 ; Van Den Berg et Ryke, 1967 ; Olivier et Ryke, 1970) et ne concernent que des acariens issus des horizons de surface. En Afrique Centrale, les travaux réalisés par Noti *et al.* (1996, 2003) ont permis d'identifier en surface 151 espèces, ignorant ainsi les immatures et les acariens des horizons profonds.

En Afrique tropicale, les travaux effectués par Athias (1975, 1976) en Côte d'Ivoire font références aux microarthropodes de façon globale et ne concernent que la savane arborée de la réserve de Lamto. Aussi la richesse spécifique n'est pas estimée, excepté les Scutacaridae, un groupe mineur qui ne représente que 0,7-1,5% des acariens échantillonnés et regroupant 15 espèces (Athias, 1972 ; 1973).

Au vu de ce qui précède, la diversité des acariens du sol (formes de surface et des horizons minéraux) des zones forestières de la Côte d'Ivoire demeure méconnue.

Perturbations anthropiques

L'impact des activités humaines sur les processus physico-chimiques et biologiques des sols a été démontré par de nombreuses études (Lipiec *et al.*

2006; Morris *et al.* 2007.). En effet la mise en culture des terres se caractérise par une réduction de l'abondance et de la diversité des microarthropodes du sol (Edwards & Lofty, 1969 ; Lebrun & Van Straalen, 1995 ; Behan-Pelletier, 1999), de sorte que chaque milieu aurait des espèces qui lui sont propres. Selon ces auteurs la baisse de l'abondance des acariens serait due à une exploitation intense du sol (pratiques culturales : sarclage et rotation culturale) qui occasionnerait l'élimination de certaines espèces par damage, séchage et destruction des microhabitats, particulièrement celles ayant un cycle de vie supérieur à une année telle que les Oribatides. Les nombreux défrichements, coupes d'arbres (Lindo & Visser, 2003,2004) et les feux de brousse à certains endroits sont perçues par Athias (1975, 1976) comme des facteurs d'érosion de la faune des microarthropodes.

Espèces indicatrices

En Côte d'Ivoire, le massif forestier a connu une réduction drastique. De 16 millions d'hectares de forêts en 1960, il ne reste aujourd'hui que 2,5 millions d'hectares. Dans le but de protéger ces reliques forestiers, plusieurs parcs et réserves ont été créés par l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR). Cependant plusieurs pressions anthropiques clandestines sont constatées sur ces différentes formations végétales, altérant ainsi le fonctionnement écologique des différents habitats (Mertz *et al.* 2007).

L'évaluation de l'état de santé des différents écosystèmes par l'intermédiaire des espèces indicatrices semble une nécessité. Le choix des organismes du sol et plus précisément des microarthropodes est admis par plusieurs auteurs (Lebrun et van Straalen, 1996 ; van Straalen, 1998 ; Behan-Pelletier, 1999 et Parisi *et al.* 2005). Ces organismes sont très sensibles aux modifications de l'habitat.

Enfin ces organismes peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'environnement que ce soit dans un contexte agricole (Stork & Eggleton, 1992) ou dans un cadre d'évaluation de la pollution (Andre *et al.* 1982).

Diversité et fonctionnement des écosystèmes

À l'instar des macroinvertébrés (Lavelle *et al.* 1997 ; Konaté *et al.* 1999 ; Kouassi, 1999 ; Tondoh *et al.* 2007), la mésofaune (organisme de taille comprise entre 0,2 et 2 mm) et en particulier les acariens jouent un rôle important dans le fonctionnement écologique du sol : fragmentation, décomposition, et minéralisation de la matière organique (Lavelle et Spain, 1991). Ces organismes favorisent le recyclage et l'immobilisation des éléments minéraux du sol (Whitford et Parker, 1989). Ils vivent dans la litière et assurent également la régulation de la microfaune et de la microflore du sol (Whitford et Parker, 1989).

Objectifs et hypothèses de l'étude

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer la variation dans la composition et l'abondance de la faune acarologique du sol en fonction du type d'habitat, à savoir leur richesse et leur équitabilité. Cette étude s'inscrit dans le grand cadre de la conservation et la gestion rationnelle de la biodiversité du sol dont l'objectif global est de caractériser la diversité biologique des organismes du sol des zones forestières tropicales en vue de les valoriser. L'étude vise aussi à caractériser les indicateurs de perturbation des sols et de réduction de la diversité des acariens liés aux activités anthropiques. Ce présent travail s'inscrit dans une perspective de développement durable et d'une meilleure gestion des ressources renouvelables.

Pour atteindre ces objectifs plusieurs hypothèses ont été élaborées.

1) la richesse spécifique et la diversité de la faune des acariens du sol sont plus élevées pour des formations végétales anciennes et peu perturbées. Cela devrait être particulièrement le cas pour la forêt tropicale primaire. Par contre, les sites perturbés devraient montrer une réduction de leur diversité.

2) Les rapports d'abondance entre espèces montrent une distribution plus équilibrée lorsque l'habitat est pérenne et peu perturbé. Par contre, des assemblages d'espèces caractérisés par une forte abondance de quelques espèces suivies d'un cortège d'espèces plus rares seraient plus caractéristiques de milieux perturbés récemment.

3) Les caractéristiques climatiques, physico-chimiques et l'importance de la pénétration de la lumière jusqu'à la litière influencent fortement la composition des assemblages d'espèces.

4) En conséquence des trois points précédents, la présence de certaines espèces peut être indicatrice d'un degré de perturbation du milieu.

Pour tester ces hypothèses, la faune acarologique du sol présente dans des sites montrant des types de végétation contrastés (forêts primaires, savane arbustive protégée du feu) a été échantillonnée et comparée à un système de production de bois (plantation de tecks à caractère monospécifique). Les sites ont été choisis dans deux des trois régions écologiques de la Côte d'Ivoire.

Chapitre 1

Caractérisation des zones et sites d'études

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest (5°00 de longitude ouest, 8°00 de latitude nord). Avec une superficie de 322462 km²; sa population est estimée à 16 millions d'habitants avec l'agriculture comme principale activité. Trois zones situées dans deux des trois régions écologiques de la Côte d'Ivoire (secteur ombrophile : Taï ; mésophile : Oumé et zone de transition ou de contact forêt-savane : Lamto) ont été prospectées.

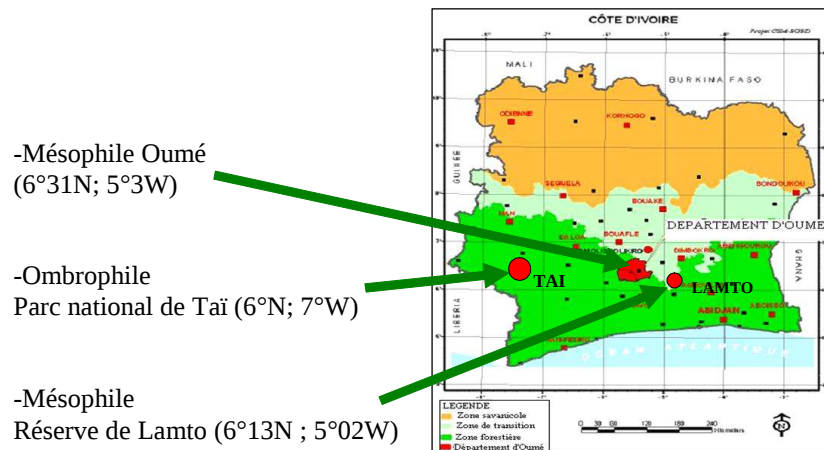


Figure 1 : Situation géographique de la Côte d'Ivoire et zones d'études

1- La réserve de Lamto

1.1- Localisation

Avec une superficie de 2500 ha, la réserve de Lamto se situe à 153 km au nord ouest d'Abidjan (5°02 de longitude ouest, 6°13 de latitude nord). Localisée à l'extrême sud du "V Baoulé" (zone d'avancée de la savane dans la forêt humide), la réserve se situe à 125 m d'altitude. De par cette position, Lamto se trouve dans la zone de transition forêt-savane (écotone). La station est bordée par le fleuve Bandama.

1.2- Climat

Le climat de type intertropical humide est caractérisé par un rythme saisonnier quadripartite (Le Roux, 2006) :

- une grande saison sèche de décembre à février
- une grande saison des pluies de mars à juillet
- une petite saison sèche en août
- une petite saison des pluies de septembre à novembre.

La pluviométrie moyenne mensuelle au cours des dix dernières années précédant la période des travaux a varié de 23,3 (décembre) à 210,63 mm (juin) ; avec une moyenne annuelle de 1270,02 mm. Au cours de cette même période, la température moyenne mensuelle mesurée s'étendait de 31,10 (août) à 37,97°C (février) ; avec une moyenne annuelle de 34,58°C.

En 2008 (année des prélèvements), la pluviométrie mensuelle allait de 0 mm (janvier) à 181,4 mm (octobre) avec un total annuel de 1211,4 mm. Les températures mensuelles enregistrées s'étendaient de 34,7 (juillet) à 40,1°C (février) avec une moyenne annuelle de 36,99°C. En résumé il y a eu moins de pluies et plus de chaleur au cours des prélèvements à Lamto que les dix années précédentes (Figure 2 A, B).

1.3- Végétation

La végétation de Lamto est constituée d'une mosaïque de savanes guinéennes séparées par des forêts galeries de bas-fond (Menaut et César, 1979). On distingue différents types de faciès :

- les forêts occupent partiellement les plateaux,
- les savanes arbustives à Andropogonées (*Hyparrhenia* et *Andropogon*) recouvrent le reste des plateaux et les hauts de pentes,
- les savanes herbeuses à *Loudetia* (Poacée) sont supportées par les bas de pentes,
- la forêt galerie se développe le long des cours d'eau plus ou moins temporaires.

La savane arbustive protégée du feu (site d'échantillonnage) et déjà prospectée par Athias *et al.* (1975) et Athias (1975, 1976) est maintenant dominée par le *Chromolaena odorata* (Asteraceae). Tous les faciès sont caractérisés par la présence de palmiers (*Borassus aethiopum*), distribués assez régulièrement (Barot, 1999).

1.4- Sols

Les travaux de Delmas (1967), Riou (1974) et Mordelet *et al.* (1996) dans la réserve de Lamto et ses environs ont permis de distinguer deux (2) types de sols suivant la nature de la roche mère : les terres noires d'origine amphibolitique et les sols ferrugineux tropicaux d'origine granitique. Le premier type de sol caractérise notre site d'étude.

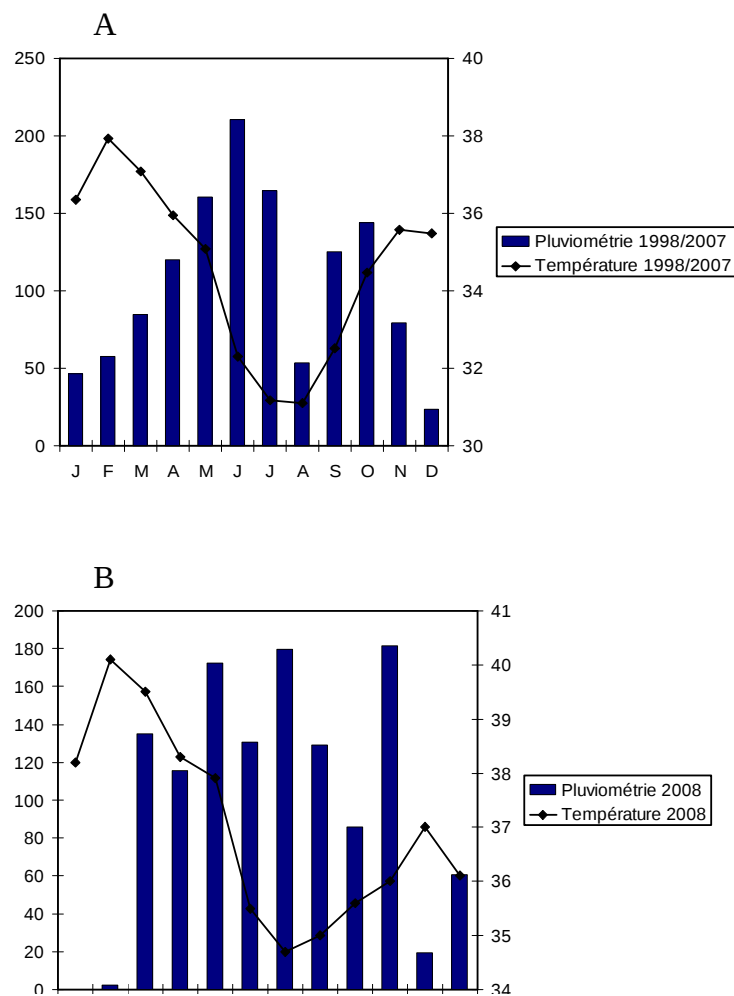


Figure 2. Diagramme ombrothermique des 10 dernières années (A) et de l'année des prélèvements (B) de la station de Lamto. (Source : station géophysique de Lamto).

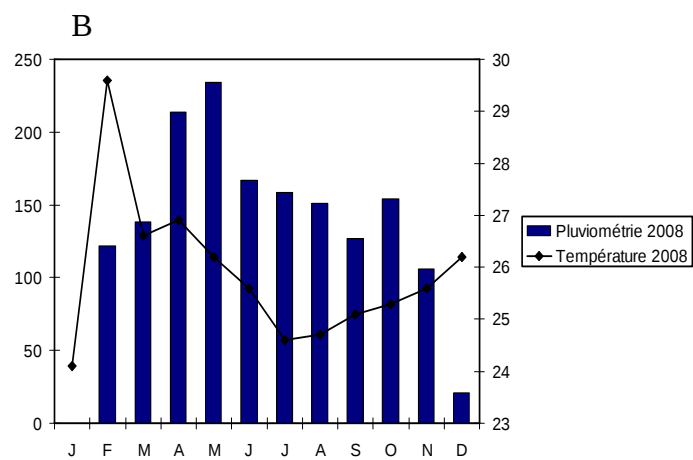
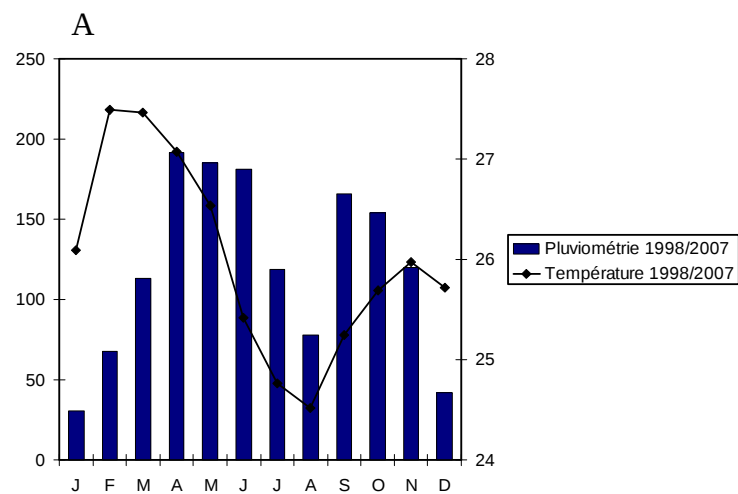


Figure 3. Diagramme ombrothermique des 10 dernières années (A) et de l'année des prélèvements (B) de Oumé. (Source : SODEXAM, station climatologique de Gagnoa).

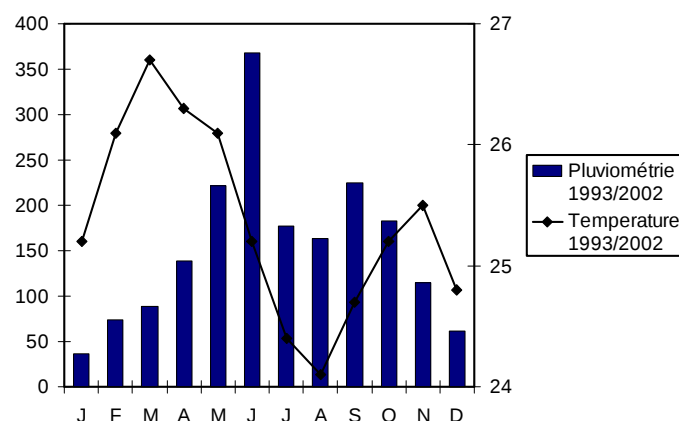


Figure 4. Diagramme ombrothermique des 10 dernières années (1993-2002) de Taï. (Source : SODEXAM, station climatologique de Taï).

2- Le département de Oumé

2.1- Localisation

Le département de Oumé est situé à 200 m d'altitude dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire (5°30 de longitude ouest ; 6°31 de latitude nord). Ancienne boucle de production du cacao, le département de Oumé regroupe plusieurs sous-préfectures et villages. Les prélèvements se sont déroulés dans le domaine de la SODEFOR (Société de Développement des Forêts) situé à environ 7 km du village de Goulikao, siège du projet CSM-BGBD « Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity ».

2.2- Climat

La région de Oumé est caractérisée par un climat de type sub-équatorial (Attiéen), à pluviométrie bimodale. Ce climat est structuré par deux saisons de pluie et deux saisons sèches (Bongoua, 2002) qui se répartissent comme suit :

- novembre à février, la grande saison sèche
- mars à juin la grande saison de pluie
- juillet à août la petite saison sèche
- septembre à octobre, la petite saison des pluies.

La pluviométrie moyenne mensuelle au cours des dix dernières années précédant la période des travaux a varié de 30,5 (janvier) à 191,7 mm (avril) ; avec une moyenne annuelle de 1447,9 mm. Durant cette même période, les températures moyennes mensuelles mesurées s'étendaient de 24,52 (août) à 27,49°C (février) ; avec une moyenne annuelle de 26°C.

Pendant les prélèvements (2008), la pluviométrie mensuelle variait de 0 mm (janvier) à 234,3 mm (mai) avec un total annuel de 1592 mm. Les températures mensuelles enregistrées s'étendaient de 24,1 (janvier) à 29,6°C (février) avec une moyenne annuelle de 25,9°C. La pluviométrie et la température au cours des prélèvements étaient sensiblement égales à celles des dix années précédentes (Figure 3 A, B).

2.3- Végétation

Le domaine de la SODEFOR renferme différentes formations végétales :

- La forêt primaire (FP) est une forêt semi décidue dans laquelle les activités anthropiques sont très faibles et se limitent à des pistes réalisées à l'intérieur de la parcelle. Le couvert végétal est très dense et le sous-bois est faiblement dégagé avec des lianes et des bois morts. On y trouve plusieurs essences dont *Griffonia simplicifolia* (Caesalpiniaceae), *Marantochloa leucantha* (Marantaceae), *Anthiaris toxicaria* (Moraceae).
- La forêt secondaire (FS) est une forêt semi décidue qui a subi un incendie de forêt en 1983 et qui depuis lors est restée protégée. Le couvert est dense avec un sous-bois riche en lianes, en bois morts et en arbustes. L'omniprésence de *Chromolaena odorata* (Asteraceae) caractérise l'état de perturbation de cette forêt.

- Les reboisements plurispécifiques (RPS) sont des parcelles plantées avec des essences locales et exotiques : *Terminalia ivorensis* et *Terminalia superba* (Combretaceae), *Cedrela toona* (Meliaceae), *Tectona grandis* (Verbenaceae), *Gmelina arborea* (Verbenaceae). L'adventice *Chromolaena odorata* est fortement représenté.
- Le reboisement de Teck de 14 ans d'âge (TK94) est une parcelle de Teck plantée en 1994. Le couvert végétal est important. Le sous-bois est dégagé avec une litière riche en feuilles mortes.
- Le reboisement de Teck de 8 ans d'âge (TK00) est une parcelle de Teck plantée en 2000. Le couvert végétal est faible.

Le domaine rural, adjacent au domaine de la SODEFOR se caractérise par 3 types de végétation.

- Les plantations de cacaoyers sont situées à la périphérie de la forêt. Les espèces dominantes issues des relevés floristiques sont les suivantes : *Elaeis guineensis* (Arecaceae), *Chromolaena odorata* (Asteraceae), *Axonopus compressus* (Poaceae), *Albizia adianthifolia* (Mimosaceae).
- Les cultures vivrières sont en général des parcelles de moins d'un hectare dominées par : *Chromolaena odorata* (Asteraceae), *Trichilia monadelpha* (Meliaceae), *Theobroma cacao* (Sterculiaceae), *Sterculia tragacantha* (Sterculiaceae), *Solanum torvum* (Solanaceae), *Panicum laxum* (Poaceae).
- Les jachères sont des milieux forestiers dont la végétation détruite par les actions anthropiques a été remplacée par des brousses secondaires. Elles sont vieilles de 2 à 5 ans. On y rencontre les espèces suivantes : *Chromolaena odorata* (Asteraceae), *Panicum laxum* (Poaceae), *Griffonia simplicifolia* (Caesalpiniaceae), *Anthiaria toxicaria* (Moraceae), *Motendra guineensis* (Apocynaceae), *Parquetina pubescens* (Periplocaceae). Après inventaire floristique de cette grille sur une surface de 400 ha (projet CSM-BGBD), 471 espèces végétales ont été répertoriées (N'Guessan *et al.* 2005). Les familles les plus importantes numériquement sont les Rubiaceae (30 espèces) et les Poaceae (25 espèces). Le nombre d'espèces identifiées sur la grille

décroît de la forêt primaire (163 espèces) aux milieux plus ou moins perturbés (N'Guessan *et al.* 2005). La densité des légumineuses sur le site croît de la forêt primaire aux milieux perturbés. *Chromolaena odorata* est l'espèce la plus fréquente du site d'étude (96%).

2.4- Sols

Les sols de la zone d'étude sont des sols ferralitiques répartis de manière homogène (Angui *et al.* 2005 ; Assié *et al.* 2008) sur tout le paysage avec cependant une topographie très marquée (les plateaux, les pentes faibles, moyennes et élevées). Les sols sont de teinte rouge en général sur les pentes. La densité apparente croît des écosystèmes naturels aux milieux anthropisés. Cependant le taux d'argile et de matière organique diminuent des écosystèmes naturels vers les milieux perturbés (Kouadio *et al.* 2005).

3- Le parc national de Taï

3.1- Localisation

Situé à 623m d'altitude dans le sud-ouest (7°07 de longitude ouest ; 5°45 de latitude nord) de la Côte d'Ivoire, le parc national de Taï (450 000 ha) est la plus grande forêt tropicale de l'Afrique de l'ouest. Il est à cheval sur sept sous-préfectures appartenant à quatre départements (Guiglo, Soubré, San Pedro et Tabou). Depuis 1982 le parc national de Taï a été classé réserve de biosphère et inscrit sur la liste de l'héritage mondial en 1984 par l'UNESCO (Koné, 2004).

3.2- Climat

Le climat est du type subéquatorial, humide toute l'année (Kouadio 2006, OIPR 2006). Ce climat est caractérisé par deux saisons de pluies, une grande (mi-mars à juillet) et une petite (septembre à novembre). Elles alternent avec

une grande saison sèche (décembre à mars) et une petite saison sèche (juillet à août).

La pluviométrie moyenne annuelle sur les dix dernières années (1993 à 2002) de relevés était de 1853,2 mm, avec un minimum de 36,3 (janvier) et un maximum de 368,4 mm (juin). La température moyenne annuelle au cours de cette période était de 25,35°C, avec un minimum de 24,1 (août) et un maximum de 26,7°C (mars). Il pleut plus et il fait moins chaud à Taï que sur les deux précédentes zones d'études (Figure 4).

3.3- Végétation

Le parc national de Taï est constitué de forêts à *Eremospatha macrocarpa* et *Diospyros mannii*. Dans le sud du parc, les forêts à *Diospyros sp* et *Mapania sp* constituent la formation de climax (Guillaumet *et al.* 1984). La forêt du parc est caractérisée par la présence de grands arbres (40 à 60 m de hauteur) avec d'énormes racines contreforts (*Piptadenistrum africanum* (Hook.f.) Brenan (Mimosaceae), *Klainedoxa gabonensis* Pierre ex Engl. (Irvingiaceae)) ou des racines échasses à leur base comme chez *Uapaca spp* (Euphorbiaceae). La grande densité de la végétation limite la visibilité à environ 20 à 25 m. Elle diminue considérablement la lumière incidente atteignant le sol (Alexandre 1982a, b ; Koné, 2004). La flore du parc national de Taï est constituée de 1231 espèces (Adou *et al.* 2005).

3.4- Sols

Les sols dominants sont de types ferralitiques fortement désaturés. On rencontre des sols hydromorphes à texture hétérogène assez grossière dans les fonds de vallées des cours d'eau (Avenard *et al.* 1971 ; Moreau, 1983).

Tableau 1: synthèse relative aux données écologiques des sites d'études
(LAS : Savane de Lamto, OPF : Forêt primaire de Oumé, OTK : Oumé
Teck, TPF : Forêt primaire de Taï)

	LAS	OPF	OTK	TPF
Climat	Intertropical humide	Sub équatorial (attiéen)	Sub équatorial (attiéen)	Sub équatorial (humide)
Température (1998-2007)	34,58°C	26°C	26°C	1993-2002 25,35°C
Température (année de l'étude : 2008)	36,99°C	25,9°C	25,9°C	-----
Pluviométrie (1998-2007)	1270,02 mm	1447,9 mm	1447,9 mm	1993-2002 1853,2 mm
Pluviométrie (année de l'étude : 2008)	1211,4 mm	1592 mm	1592 mm	-----
Végétation	Savane arbustive avec omniprésence du <i>Chromolaena odorata</i> .	Forêt semi décidue	Plantation de teck de 14 ans d'âges à caractère monospécifique	Forêt dense humide
Sol	Terre noire d'origine amphibolitique	Sols ferralitiques	Sols ferralitiques	Sols ferralitiques fortement désaturés
Niveau de perturbation	Faiblement perturbé	Légèrement perturbé	Très perturbé	Stable

----- Non parvenu

4- Les unités agro-écologiques

Quatre unités écologiques situées dans les trois zones d'études ont été échantillonnées au cours des deux campagnes. Il s'agit de la forêt primaire et des plantations de teck de 14 ans d'âges pour le département de Oumé ; de la savane arbustive protégée du feu (Lamto) et de la forêt primaire du parc national de Taï. Le choix de ces sites était dû au fait qu'ils sont situés dans des zones écologiques assez distinctes. De part leur statut de protection, ces sites sont supposés renfermer une plus grande richesse spécifique. La savane arbustive de Lamto servant de transition entre les deux formations forestières, offrait des possibilités de comparaison, par rapport aux données de Athias *et al.* (1975), Athias (1975, 1976). Enfin la plantation de teck reflétant l'habitat le plus perturbé a permis l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la diversité biologique des acariens du sol.

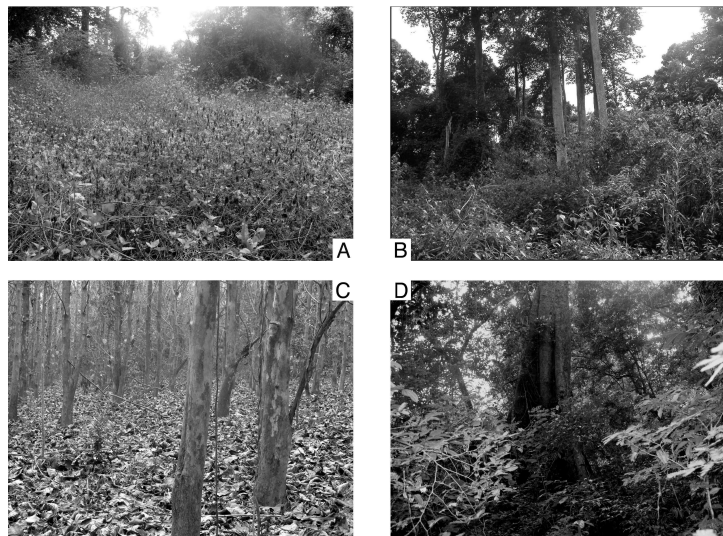


Figure 5. Sites d'études. (A) Savane arbustive de Lamto, (B) Forêt primaire de Oumé, (C) Plantation de teck Oumé, (D) Forêt primaire de Tai, (Photo N'Dri 2008, in a dry season)

Chapitre 2

Généralités et critères d'identification des acariens échantillonnés

1- Généralités

1.1- Définition, classification et morphologie

Les acariens sont des arthropodes chélicérates évolués faisant partie de l'une des sous classe des arachnides et ayant subi l'acarisation (processus évolutif complexe conduisant à la forme biologique de l'acarien). Leur taille dépasse rarement 1 mm de long, à l'exception des tiques qui peuvent atteindre 1 à 2 cm (Athias-Binche, 1994). Le corps est constitué de deux grands tagmes (opisthosoma non segmenté et gnathosoma), séparés par le sillon das (disjugal, abjugal et sejugal). Ils diffèrent des arachnides par l'absence de mobilité entre ces deux parties (Bachelier, 1972).

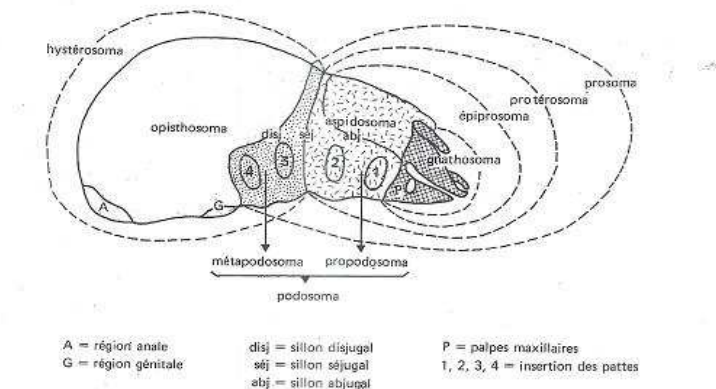


Figure 6 : représentation générale d'un acarien (Bachelier, 1972)

Les acariens se divisent en deux groupes, les Acariformes ou Actinotrichides d'une part et les Parasitiformes ou Anactinotrichides d'autre part. Généralement les acariens Actinotrichides sont caractérisés par l'absence de coxae et de sternum, la présence d'épimères et d'un sillon séjugal, la division fémorale des pattes, la perte du segment terminal du palpe (apotèle), la présence d'un canal podocéphalique (recevant des ductiglandulaires), la présence d'actinopiline dans l'axe des poils ordinaires et la présence de trichobothridies (Bertrand, 1988). Les représentants de ce groupe sont les Cryptostigmates (oribates), les Astigmates (acaridides) et les Prostigmates (actinedides). Contrairement aux acariformes, les parasitiformes sont caractérisés par des poils dépourvus d'actinopiline, la présence de coxas sur les pattes, d'une plaque sternale et d'un tritosternum etc. Les principales composantes des parasitiformes sont les Mesostigmates (gamasides), les tiques, les opilioacarides et les holothyrides. Les pattes des acariens sont constituées d'un nombre variable de podomères. Théoriquement, l'ordre des podomères est le suivant : (coxa) – trochanter – fémur – génual – tibia – tarse – apotèle.

Tableau 2: Classification synoptique des grands groupes d'acariens

Acariens						
Anactinotrichides				Actinotrichides		
Parasitiformes			Opilioacarides	Acariformes		
Mesostigmates	Tiques Ixodides Argases	Holothyrides		Prostigmates Trombidiformes	Astigmates Sarcoptiformes	Cryptostigmates

1.2- Reproduction et développement

D'une manière générale les acariens pratiquent la reproduction bisexuée (Schuster, 1962) avec un dimorphisme sexuel prononcé au stade adulte. Cet accouplement est toutefois précédé de parades nuptiales (Grandjean, 1966 ; Schuster, 1962). La copulation peut se faire par l'intermédiaire d'un spermatophore pédicellé déposé sur le sol par le mâle. Une femelle passe ensuite, volets génitaux ouverts, au dessus du spermatophore et s'empare de la gouttelette de sperme qui surmonte le pédicelle (Travé *et al.* 1996). Enfin la parthénogenèse thélytoque signalée chez les acariens (Palmer & Norton, 1990 ; Norton & Palmer, 1991) est couramment pratiquée chez les Tetranychidae. La plupart des acariens sont ovipares. Les larves sont hexapodes tandis que les nymphes et les adultes sont octapodes. Le développement de l'œuf à l'adulte passe par 6 stades chez les Actinotriches: la prélarve, la larve, la protonymphe, la deutonymphe, la tritonymphe et l'adulte. On compte 4 stades chez les Anactinotriches : la larve, la protonymphe, la deutonymphe, et l'adulte (Athias-Binche, 1987, 1989b).

1.3- Principaux habitats

De par leur taille minuscule, les acariens ont envahi tous les compartiments de la biosphère et ce à partir des différents mécanismes de la dispersion passive (Travé *et al.* 1996). Les principaux agents de cette dispersion passive sont les courants aériens et le vent (Bernini, 1991), les courants marins et océaniques (Schatz, 1991) et les animaux (Norton, 1980 ; Athias-Binche, 1994). En fonction des habitats on distingue des acariens arboricoles, des savanicoles, des déserticoles, des cavernicoles, des monticoles ou montagnards (jusqu'à 5000 m d'altitude), associés aux cultures et aux denrées stockées etc. Des études liées aux microhabitats des acariens ont été effectuées par Walter & Behan-Pelletier (1993).

1.4- Régime alimentaire

Les acariens sont caractérisés par une plasticité trophique en terme de régime alimentaire. Les aliments ingérés varient en fonction des ordres, des familles et des stades de développement. Les Opilioacarides, les Holothyres ainsi que certains Gamasides sont des carnivores. Par contre les Tiques ou Ixodes sont des ectoparasites hématophages tout comme les Gamasés (dermanyssides et rhinonyssides), très communs sur les animaux domestiques ou le bétail (Athias-Binche, 1994). Parmi les Actinotriches, les Actinédides (bdellidés, cunaxidés et caeculides) sont des prédateurs tandis que les tétranyques sont de petits piqueurs-suceurs causant des dégâts dans les cultures. Les Thrombidions sont des carnivores actifs, dont la larve est parasite d'insectes ou de vertébrés. Présents dans la matière organique en décomposition, fruits pourris, bouses ou cadavres, les acaridides sont à l'origine des fongivores (Athias-Binche, 1994). Le régime alimentaire observé chez les oribates se répartit en deux groupes (biophages et saprophages). Les biophages sont constitués de phytophages (bactériophages, phycophages, lichénophages et mycophages) et de zoophages (nématophages et entomophages). Les saprophytophages, coprophages et nécrophages sont les principales composantes des saprophages (Travé *et al.* 1996).

1.5- Rôle écologique

Comme la plupart des organismes du sol (Tondoh, 1992 ; Lal, 1988 ; Blanchart *et al.* 1997 ; Lavelle *et al.* 1997 ; Konaté *et al.* 1999 ; Kouassi, 1999 ; Tondoh *et al.* 2007), les acariens jouent un rôle important dans le fonctionnement écologique des sols. D'une manière générale les microarthropodes sont reconnus pour leur activité de fragmentation, de décomposition (Santos et Whitford, 1981 ; Seastedt, 1984 ; Lavelle & Spain 1991, Coleman *et al.* 2004, Gobat *et al.* 2004, Bardgett 2005) et de minéralisation (Tian *et al.* 1998) de la matière organique. Ces organismes favorisent le recyclage et l'immobilisation des éléments minéraux du sol

(Whitford et Parker, 1989). Ils vivent dans la litière et assurent également la régulation de la microfaune et de la microflore du sol (Whitford et Parker, 1989).

1.6- Importance économique

Les acariens sont extrêmement abondants et variés. On compte environ 55000 espèces décrites, mais les spécialistes s'accordent pour estimer à plus d'1 million le nombre d'espèces (André 2006). La quantité et la variété des niches exploitées au cours de leur histoire témoignent d'un succès évolutif tout à fait comparable à celui des insectes. Ainsi les acariens sont utilisés comme agent biologique de contrôle de certains insectes, de nématodes, de champignons, de ravageurs et de végétaux. A titre d'exemples, l'espèce *Varroa sp*, phorétique est parasite des abeilles (Athias-Binche, 1994) ; l'oribate *Orthogalumna terebrantis* (Gerson & Smiley, 1990) permet de limiter la pullulation de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Enfin ces organismes peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'environnement que ce soit dans un contexte agricole (Stork & Eggleton, 1992) ou dans un cadre d'évaluation de la pollution (Andre *et al.* 1982).

1.7- Techniques d'études

Travé & Coineau (1984) recommandent que les techniques utilisées soient adaptées aux objectifs envisagés qui peuvent être :

- l'inventaire faunistique d'une région donnée,
- une étude écologique quantitative exhaustive visant à connaître la structure d'une biocénose,
- une étude d'écologie dynamique ayant pour but de connaître l'évolution spatiotemporelle d'une biocénose ou d'une population,
- une étude morphologique ou biologique nécessitant la récolte d'espèces bien définies, en nombre suffisant et le plus souvent vivantes.

Les récoltes des acariens sur le terrain peuvent être directes (récoltes à vue, brossages, battages, fauchages) ou globales (prélèvements de sols et litières avec une sonde), suivie d'une extraction au laboratoire à partir de méthodes différentes. Les méthodes dites actives ou dynamiques les plus utilisées sont les entonnoirs de Berlese-Tullgren et l'extracteur à gradient de Macfadyen (Travé *et al.* 1996), qui présenteraient une efficacité assez moyenne (André *et al.* 2002) et variable selon les espèces, le stade de développement et le milieu prospecté. D'autres méthodes, dites passives ou mécaniques (lavage et flottation de D'aguilar *et al.* (1957), André & Noti (1993) ; l'extraction par film graisseux proposée par Aucamp et Ryke (1964) et modifié par Belfield en (1976)) ont été élaborées. Le tri et le comptage s'effectuent généralement dans des boîtes de pétri sous une loupe binoculaire. Les observations microscopiques s'effectuent d'une part en montage temporaire (acarien fixé sur une lame concave contenant de l'acide lactique 85 ou 88 % et semi ouvert), et d'autre part en montage permanent (acarien fixé dans du Hoyer sur une lame pleine). Il est conseillé de chauffer sur une platine chauffante les acariens sombres ou sclérifiés pour ce qui est des montages temporaires.

2- Espèces et critères d'identification

Les acariens échantillonnés au cours des prélèvements sont issus de quatre ordres (Gamasides, Oribates, Actinedides et Acaridides). L'emplacement des stigmates (mesostigmates, cryptostigmates, prostigmates et astigmates) permet leur distinction. Toutefois ces microarthropodes ont été identifiés suivant deux approches : selon que l'espèce soit parasitiforme ou acariforme.

2.1- Espèces et critères

Les acariens ont été identifiés jusqu'aux familles, genres, quelquefois jusqu'aux espèces et pour la plupart des cas en morphoespèces. Les critères retenus pour l'identification des acariens sont résumés en dessous.

2.1.1- Espèces parasitiformes

- morphologie générale
- chaetotaxie des phanères sur la plaque anale
- forme de la plaque anale et sternale
- distance entre la plaque anale et génitale
- chaetotaxie des phanères sur les podomères et l'opisthosome
- longueur et forme des chélicères
- tritosternum (simple, bifide ou denté)
- forme des phanères

2.1.2- Espèces acariformes

- morphologie générale
- chaetotaxie des phanères sur la plaque anale et génitale
- forme de la plaque anale
- distance entre la plaque anale et génitale
- chaetotaxie des phanères sur les podomères et le notogaster
- forme du sensillus (simple, en peigne ou en massue)
- nombre de griffes en bout de tarse
- microsculpture du tégument
- forme des ptéromorphes (si présents)
- absence ou présence d'aires poreuses
- description des épimères et des papilles génitaux

2.2- Espèces morphologiques

En Afrique, à part quelques études descriptives réalisées par Block (1970) en Ouganda, Belfield (1971) au Ghana, Maldague (1961) et Goffinet (1976) en République Démocratique du Congo, très peu de publications font état des données sur la diversité biologique des acariens du sol. Le manque de données taxonomiques suffisantes sur ces microarthropodes oblige les chercheurs à opter pour une identification morphologique.



Cosmochthonius sp1 with setae in peigne



Sphaerochthonius sp1 with setae in silk and thick



Paralophremaeus sp2 with dorsal microsculpture



Setae thick of *Sabahtritia* sp1



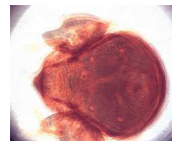
Ano-genital shield contiguous of *Paralophremaeus* sp1



Trichobothrid and exobothrid interne setae of *Epilohmannia* sp1



Ano-genital shield distant of *Oribatulidae* sp2. Presence of small pteromorphs



Galumna sp7 with a large pteromorph and four dorsal setae

Figure 7. Quelques critères morphologiques utilisés pour la description des acariens, spécimens issus de la collection N'Dri (Photo N'Dri 2010).

Dans le cadre d'une étude d'écologie dynamique ayant pour but de connaître l'évolution spatiotemporelle d'une biocénose ou d'une population, l'approche sur base de morphoespèce est souhaitable pour une estimation de la richesse spécifique.

2.3- Fiche d'identification

La base de données acarologique a été constituée à l'aide du programme File Maker Pro11. Ce programme a toutefois été configuré (DB Picture) afin d'intégrer les paramètres suivants :

- code de la lame de montage (variant de 1 à 1300)
- nom initial de l'espèce
- nom final de l'espèce
- famille
- stade de développement
- groupe majeur
- rôle fonctionnel
- site d'échantillonnage
- saison
- profondeur du sol
- caractéristiques descriptives
- remarques
- 1 à 5 photos par espèces sont associées à la base de données.

De manière exhaustive, 177 espèces d'acariens ont été encodées.

En pratique, sur chaque spécimen issu de la collection de références, une série de photographies est réalisée à différente profondeur et grossissement avec une caméra (Leica TC200 digital) montée sur un microscope optique (Leica DM LB) muni d'une phase de contraste. Ces séries de photographies ont été effectuées au laboratoire « Centre de recherche sur la biodiversité » de l'institut « Earth and Life Institut ». Les photos sont gravées à la fin de chaque séance et recombinaées (André *et al.* 2010) à la section des Invertébrés non insectes du Musée Royal de l'Afrique Centrale de Tervuren avec un programme d'automontage (version 5.00.0777 by Synoptics Ltd). Les séries de photographies automontées sont ensuite importées et stockées

dans le programme File Maker Pro11, installé sur un ordinateur portable PC.
La collection de référence est déposée au Musée de Tervuren.

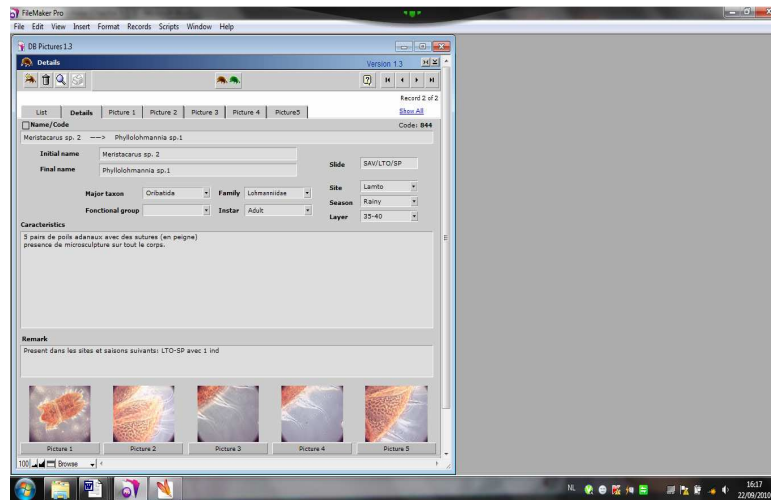


Figure 8. File Maker Pro 11 design utilisé pour stocker les photos
automontées des acariens du sol.

Partie II

Stratégies d'échantillonnages

Chapitre 3

Approche méthodologique

1- Echantillonnage des acariens du sol

Les prélèvements définitifs des échantillons du sol ont été effectués selon toute la profondeur utile (0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-15 cm ; 15-20 cm ; 20-25 cm ; 25-30 cm ; 30-35 cm ; 35-40 cm) et à l'aide d'une tarière de 3,5 cm de diamètre. Des échantillons de 48 cm³ de sol et des échantillons de litières de volume variable sont prélevés (Noti *et al.* 1996, 2003 ; Ducarme *et al.* 2004a). Les prélèvements ont été réalisés suivant une ligne de 14 m sur une surface homogène au plan floristique où les points échantillonnés sont distants d'un mètre l'un de l'autre. Par site d'étude 15 points ont été échantillonnés. A chaque point d'échantillonnage la litière et 8 carottes de sol ont été prélevées, soit 135 échantillons par site d'étude et par campagne (saison). Au total, 960 échantillons de 48 cm³ de sol et 120 échantillons de litière ont été prélevés au cours des 2 saisons (saison sèche : janvier à mars 2008 ; saison pluvieuse : août à octobre 2008 pour la plupart des sites et décembre 2008 pour la forêt primaire de Taï).

2- Extraction des acariens du sol

Plusieurs méthodes permettent d'extraire les acariens du sol, notamment l'extraction par lavage et flottation de D'aguilar *et al.* (1957) ; l'extraction par film graisseux proposée par Aucamp et Ryke (1964) et modifiée par Belfield en (1976). Cependant pour des contraintes d'ordres techniques la méthode d'extraction utilisée est celle de Berlese-Tullgren (Athias, 1975, 1976 ; Noti *et al.* 1996, 2003 ; Ducarme *et al.* 2004a) qui présente une efficacité assez moyenne (André *et al.* 2002). Des ampoules de 25 watts situées à environ 25 cm au-dessus des entonnoirs (2 ampoules pour 6

entonnoirs) permettent de dessécher progressivement les échantillons de sol pendant 7 jours. L'allumage des ampoules s'est fait systématiquement après la mise des échantillons au Berlese. La durée d'extraction et la période d'allumage des lampes ont été adoptées après des préliminaires réalisés en 2007.



Figure 9. Dispositif d'extraction des acariens du sol (Berlese-Tullgren modifié).

3- Dépouillement et identification des acariens du sol

Le tri et le comptage des acariens après récolte ont été réalisés en boîte de pétri sous loupe binoculaire. Les acariens sont fixés dans de l'acide lactique (85%) ou du Hoyer et ensuite identifiés sous un microscope optique muni d'une lumière de contraste. Contrairement à la pratique courante, toutes les stases (stades de développement) ont été identifiées. Dans la plupart des cas, les acariens sont identifiés au niveau de l'espèce sur la base de morphoespèces. Cependant, la plupart des espèces n'ont pu être identifiées avec précision, soit parce que des individus immatures ont été trouvés, soit parce que les données taxonomiques pertinentes manquaient. Toutefois le

taux d'immatures (1,65% des acariens) extrêmement faible n'affecte pas considérablement les résultats obtenus. Au niveau spécifique il n'y a pratiquement pas de documents taxonomiques disponibles pour les espèces africaines. Les clés offertes par Balogh et Balogh (1992) ont permis d'identifier les différents genres des oribates. Quant aux familles celles de Krantz (1978), Dindal (1990) et Krantz & Walter (2009) ont été consultées.

4- Echantillonnage du sol pour les analyses physico-chimiques

Les prélèvements de sol ont été réalisés suivant une méthode qui s'inspire de celle recommandée par Anderson & Ingram (1993). L'estimation des teneurs des sols en différents éléments chimiques a été effectuée sur des échantillons issus de 5 réplicats pris en même temps et à proximité des prélèvements de sol pour l'extraction des acariens.

Une quantité de 100 g d'échantillons de sol tamisés à 2 mm après séchage des échantillons à l'air ambiant a été utilisée pour mesurer les propriétés chimiques du sol. Les mesures du C_{org} , C_{tot} , N_{tot} , et la M_{org} ont été réalisées sur des échantillons prélevés aux profondeurs extrêmes (0-5 cm et 35-40 cm) et analysés au Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité de la Hulpe (Belgique). Les mesures du pH ont été effectuées suivant toute la profondeur utile au Laboratoire d'écologie du sol de l'Université d'Abobo Adjamé (Côte d'Ivoire). Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une sonde cylindrique de 5 cm de diamètre et communément utilisée pour les sols tropicaux (Gilot, 1994). Deux autres prélèvements effectués selon toute la profondeur utile (0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-15 cm ; 15-20 cm ; 20-25 cm ; 25-30 cm ; 30-35 cm ; 35-40 cm) et à proximité de chaque point d'échantillonnage ont permis la mesure de la teneur en eau et de la densité apparente du sol. Ces mesures sont réalisées au cours de la grande saison sèche et la grande saison des pluies.

4.1- La teneur en eau du sol

Les échantillons prélevés à l'aide d'une tarière de 3,5 cm de diamètre à différentes profondeurs (0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-15 cm ; 15-20 cm ; 20-25 cm ; 25-30 cm ; 30-35 cm ; 35-40 cm) sont pesés pour obtenir le poids frais (Pf), puis mis à sécher dans une étuve à 105°C pendant 48 h jusqu'à poids constant (Ps). La mesure de la teneur en eau (%E) a été faite sur un total de 120 échantillons par site d'étude et par saison. La teneur en eau du sol a été déterminée par la formule suivante :

$$\%E = ((Pf - Ps) / Ps) \times 100$$

4.2- La densité apparente

La densité apparente est la densité du sol sec et prend en compte l'ensemble fraction solide et pore (Duchaufour, 1991). Pour la majorité des sols, la densité apparente varie de 1 à 2. Elle représente un critère essentiel dans l'étude du fonctionnement du sol, car sa valeur est inversement proportionnelle à celle de la porosité du sol. Une faible valeur de la densité apparente indique une forte porosité du sol (Harmand & Njiti, 1998).

La détermination de la densité apparente a été réalisée à l'aide d'une méthode qui s'inspire de celle utilisée par Gilot (1994). Une tarière de 3,5 cm de diamètre a permis de prélever des carottes de sol à différentes profondeurs (0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-15 cm ; 15-20 cm ; 20-25 cm ; 25-30 cm ; 30-35 cm ; 35-40 cm). Le volume de sol contenu dans la sonde (tarière) est récupéré dans une enveloppe pour être séché dans une étuve à une température de 105°C. Au total 120 échantillons sont prélevés par site d'étude et par saison. Au bout de 48 heures, l'ensemble est pesé pour la mesure du poids du sol sec (Baize, 1988 ; Duchaufour, 1991 ; Harmand & Njiti, 1998). La densité apparente est calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{Densité apparente} = \text{Poids du sol sec (g)} / \text{Volume de sol (cm}^3\text{)}$$

4.3- Le potentiel d'hydrogène

La méthode utilisée pour l'analyse du pH est le pH eau. Le pH représente la concentration en ion H^+ libres dans une solution du sol (Duchaufour, 1991). Le pH exprime donc l'acidité instantanée d'un sol. Il permet de définir de manière approximative, l'état du complexe absorbant d'un sol. Le complexe absorbant désigne l'ensemble des colloïdes (composé humiques et argiles) dotés de charges négatives susceptibles de retenir les cations sous la forme échangeable, c'est-à-dire pouvant être remplacés par d'autres cations, dans certaines conditions précises. Les ions échangeables du complexe absorbant sont en équilibre avec les solutions du sol : toute modification de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par « échange ». Les ions générateurs d'acidité sont les ions H^+ et Al^{3+} ; les ions dits « basiques » sont Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Lorsque l'ensemble du complexe est saturé par ces ions, le milieu est neutre ou légèrement alcalin.

Après prélèvement de 20 g de terre fine dans un bêcher de 100 ml, l'on ajoute 50 ml d'eau distillée (Baize, 1988). Le mélange est brassé énergiquement avec un agitateur magnétique afin d'obtenir une suspension durant quelques minutes (15 à 20 Min). Ensuite on laisse la suspension de sol décanter pendant 2 heures. La mesure du pH eau s'est effectuée après étalonnage du pHmètre.

Avant la mesure du pH, il faut agiter à nouveau la solution de terre décantée. La lecture du pH s'effectue lorsque l'affichage digital de l'appareil est stabilisé (4 à 5 Min). Après chaque mesure, on prend soin de rincer l'électrode avec de l'eau distillée et de l'essuyer avec du papier Joseph afin d'éviter les mélanges de solution. Par site d'étude et par saison, 120 mesures en rapport aux 120 échantillons prélevés sont réalisées.

4.4- Analyse du carbone et de l'azote

Les dosages du carbone et de l'azote ont été réalisés par le laboratoire d'analyse des sols du centre provincial de l'agriculture et de la ruralité de la

Hulpe (Belgique). La mesure du carbone organique est réalisée par combustion sèche (norme ISO 10694). L'échantillon subit un prétraitement avant la combustion, à l'aide d'HCl 37% dilué 2 fois, conformément à la norme ISO 10694. L'attaque acide dure 4 heures, elle est destinée à éliminer les carbonates (CaCO_3) présents dans l'échantillon. L'échantillon est alors séché 16 heures entre 60 et 70°C puis analysé par combustion sèche. Le résultat obtenu est alors le carbone organique (carbone total - quantité de CaCO_3 éliminée par l'acide lors du prétraitement de l'échantillon). Le dosage de la teneur totale en azote est fait par combustion sèche. Le carbone total et l'azote total sont dosés via la norme NF ISO 13878. L'échantillon complet subit une combustion à 1350°C. Après piégeage des résidus de poussière et d'eau, le quantité de CO_2 dégagée est mesurée par une cellule infra-rouge afin de déterminer la teneur en carbone total. La quantité de gaz NO_x dégagée est transformée en N_2 via un piège à cuivre. La mesure de la quantité de N_2 se fait par mesure de thermoconductivité des gaz grâce à un catharomètre. Un circuit d'He donne une référence à la mesure d'azote. Le déséquilibre électrique mesuré entre les deux circuits permet de déterminer la quantité d'azote dans l'échantillon. Cinq échantillons prélevés par transect aux profondeurs extrêmes (0-5 cm et 35-40 cm) et par saison ont été analysés.

4.5- Traitements des données et analyses statistiques

Sur l'ensemble des sites, l'abondance des acariens du sol a été exprimé par l'intermédiaire de la densité, exprimée d'une part Nbre d'ind / dm^3 et d'autre part en Nbre d'ind / m^2 .

La comparaison des densités entre couches et entre sites a été réalisée avec le test non paramétrique (Mann-Whitney), car les erreurs standard associées aux valeur moyennes étaient assez grandes. Les comparaisons entre sites des densités, ainsi que l'effet saison sont stoppées lorsqu'on n'observe plus de différence significative. Suivant l'approche proposée par André *et al.*,

(2002), la profondeur du sol dans laquelle vivent 50 ou 90% des acariens échantillonnés (respectivement SD_{50} et SD_{90}) a été estimé graphiquement. Le test d'Anova 1 a permis de comparer les valeurs moyennes des paramètres physico chimiques du sol. La corrélation de Pearson a été utilisée pour étudier la relation entre la densité des acariens et les paramètres physico-chimiques du sol. Tous ces tests ont été effectués en utilisant le logiciel Statistica 7.1 (Statsoft, Tulsa, USA).

La diversité alpha (diversité au sein des communautés) (Whittaker, 1972) a été estimée dans chaque site par la richesse spécifique S. La diversité locale a été mesurée par l'intermédiaire de l'indice de Shannon (1962), et l'équitabilité avec l'indice de Pielou (1969) a travers le ratio $H'/H'max$. Le programme SpeDiv (André, 1997) a été utilisé pour calculer ces indices. L'indice de Jaccard (1901) a été utilisé pour mesurer la similarité entre les sites d'études via la formule ci-dessous :

$$S_j = A / A+B+C$$

Où A = le nombre d'espèces communes aux deux sites; B = le nombre d'espèces observé dans le premier site ; C = le nombre d'espèces observé dans le second site.

La similarité a été calculée a partir d'une matrice de présence / absence composée de 177 espèces. La distance de Jaccard (dissimilarité entre site) est obtenue par soustraction de l'indice de Jaccard (en %) de 100.

La diversité bêta a été estimée par l'écart-type observé dans un site donné, telle que défini à l'origine par Whittaker (1960, 1972). Deux approches ont été utilisées : (1) la diversité bêta entre les couches (distribution vertical) et (2) la diversité bêta observé le long du transect (distribution suivant le transect).

Les richesses spécifiques moyennes ont été comparées en utilisant des test-t et des Anova 1.

La relation entre la richesse spécifique des acariens et les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol a été étudiée par la corrélation de Pearson. Tous ces tests ont été effectués en utilisant le logiciel Statistica 7.1 (Statsoft, Tulsa, USA).

L'effort d'échantillonnage a été estimé en utilisant Estimates (Colwell 1997). Un intervalle d'estimateur a été obtenu grâce aux estimateurs discutés par Colwell & Coddington (1994). L'ACE (abundance-based coverage estimator) (Chao et al. 1993) a été utilisé pour évaluer le niveau de l'effort d'échantillonnage. Avant la plupart des analyses, les données issues des deux campagnes ont été fusionnées et ce dans le souci d'éliminer les zéros. Néanmoins les Analyses Factorielles de Correspondances (AFC) et les tests de corrélation ont été appliqués aux paramètres physico-chimiques sur la base des deux campagnes, compte tenu de la variation de la teneur en eau au cours des deux saisons. L' AFC a été effectuée avec le progiciel R (Casgrain and Legendre 2001).

Le programme Indval (Dufrêne & Legendre, 1997) a été utilisé pour identifier des espèces indicatrices de l'état de santé des différents habitats échantillonnés.