



## **FORETS DE FAILLES ET FORETS GALERIES AU SUD DU MALI : DEUX VOIES POUR LA PERENNITE DES REFUGES GUINEENS EN ZONE SOUDANIENNE**

## **RAVINE FORESTS AND GALLERY FORESTS OF SOUTHERN MALI : TWO WAYS FOR THE MAINTENANCE OF GUINEAN DIVERSITY IN SUDANIAN AREA**

**Programme Ecosystèmes Tropicaux  
Rapport de fin de contrat**

**Laurent GRANJON**  
UR 022 CBGP-Bel Air  
IRD, BP 1386,  
Dakar CP 18524  
Sénégal  
Tel : (+221) 33 849 36 66  
Fax : (+221) 33 832 16 75  
E-mail : [laurent.granjon@ird.fr](mailto:laurent.granjon@ird.fr)

**Philippe BIRNBAUM**  
CIRAD, UMR AMAP  
TA-A51/PS2, Boulevard de la Lironde  
34398 Montpellier cedex 5  
France  
Tél : (+33) (0)4.67.61.75.83  
Fax : (+33) (0)4.67.61.56.68  
E-mail : [philippe.birnbaum@cirad.fr](mailto:philippe.birnbaum@cirad.fr)

Date : 01/09/2010.

N° de contrat : **Convention de Recherche 0000337** entre le MEDD et l'IRD  
Date du contrat : **21 DECEMBRE 2006**

# TABLE DES MATIERES

Remarques concernant ce document.....	3
Synthèse destinée à publication .....	4
Résumés .....	13
Rapport scientifique .....	15
Annexe : copie des publications.....	61
Annexe : partie confidentielle .....	62

## REMARQUES CONCERNANT CE DOCUMENT

- ❖ La mise en forme de ce rapport, hormis sa partie scientifique et les annexes, doit être respectée. Ce format imposé permettra au Service de la recherche une copie automatique vers d'autres documents à usage interne ou externe.
- ❖ Merci de limiter la taille de votre document à 5Mo (merci de réduire le poids des photos notamment).
- ❖ Votre rapport doit nous parvenir sous forme électronique ainsi que sous format papier en 3 exemplaires en recto-verso, interligne simple, sans couverture plastique ni spirales. Des exemplaires supplémentaires, à la charge du ou des bénéficiaire(s), seront éventuellement demandés (art. 4 de la convention).
- ❖ Les versions électroniques des **résumés** et de la **synthèse** de votre rapport doivent impérativement nous parvenir sous format modifiable rtf afin de pouvoir être réutilisés pour valorisation ou publiés (après relecture de votre part), ainsi que sous format pdf (art. 4 de la convention).
- ❖ Les documents de ce rapport, en dehors de l'éventuelle partie confidentielle, serviront aussi bien pour l'évaluation du projet que pour la valorisation des résultats.

# **SYNTHESE DESTINEE A PUBLICATION**

## **TITRE DU PROJET**

**Forêts de failles et forêts galeries au sud du Mali : deux voies pour la pérennité des refuges guinéens en zone soudanienne**

## **NOM DU PROGRAMME**

**Ecosystèmes Tropicaux**

## ASPECTS ADMINISTRATIFS ET OBJECTIFS DES RECHERCHES

### ASPECTS ADMINISTRATIFS

**Date d'engagement : 21 DECEMBRE 2006 (date de signature de la Convention de Recherche 0000337 entre le MEDD et l'IRD)**

**Montant du budget : 80.000€ TTC**

**Cofinancements obtenus :** (organisme, montant, durée)

- *Helvetas Mali (ONG suisse) : 4500€, janvier-juillet 2008*
- *Audiovisuel IRD-CIRAD : 68997€ pour la co-production du film « Yiriba, sources de vie au Mali », 2009*
- *Programme Biota, Allemagne : 3000€ (voyages N. Weber, J. Fahr 2009-2010)*
- *programme PPF du MNHN « Etat et structure phylogénétique de la biodiversité actuelle et fossile », projet : Diversité et écologie du genre Carapa en forêt tropicale (resp. P.-M. Forget) : 2500€, novembre 2007.*

**Participants au projet :**

**Responsable scientifique du projet : nom et coordonnées**

**Laurent GRANJON**  
UR 022 CBGP-Bel Air  
IRD, BP 1386,  
Dakar CP 18524  
Sénégal  
Tel : (+221) 33 849 36 66  
Fax : (+221) 33 832 16 75  
E-mail : laurent.[granjon@ird.fr](mailto:granjon@ird.fr)

**Philippe BIRNBAUM**  
CIRAD, UMR AMAP  
TA-A51/PS2, Boulevard de la Lironde  
34398 Montpellier cedex 5  
France  
Tél : (+33) (0)4.67.61.75.83  
Fax : (+33) (0)4.67.61.56.68  
E-mail : [philippe.birnbaum@cirad.fr](mailto:philippe.birnbaum@cirad.fr)

**Noms et organismes des autres partenaires scientifiques bénéficiaires**

Patrick Blanc (CNRS, Paris), Marie-Hélène Chevallier (Cirad, La Réunion), Jean-François Cosson (INRA, Montpellier), Jean-Marc Duplantier (IRD, Montpellier), Chris Duvall (Université du Wisconsin, Madison), Jakob Fahr (Université d'Ulm, Allemagne), Jacques Florence (MNHN, Paris), Pierre-Michel Forget (MNHN, Paris), Denis Gautier (Cirad, Montpellier), Laurent Gazull (Cirad, Montpellier), Emilie Lecompte (Université Paul Sabatier, Toulouse), Bourama Niagaté (DNCN, Bamako, Mali), Jean-François Trébuchon (Cirad, Montpellier).

**MOTS CLES : BIODIVERSITE, FRAGMENTS FORESTIERS, CONSERVATION, RESSOURCES, AFRIQUE DE L'OUEST, ARBRES, RONGEURS, CHAUVES-SOURIS**

**OBJECTIFS DES RECHERCHES :** Evaluer l'extension des zones de forêt humide au sud du Mali ; montrer que la durabilité de l'écosystème fragmenté représenté par ce réseau de forêts de failles et forêts-galeries est conditionnée par d'une part le maintien de la structure et de la dynamique de chaque îlot et d'autre part le maintien des relations entre les îlots et avec la forêt guinéenne actuelle ; évaluer l'intérêt en terme de ressources pour les populations humaines de ces milieux ainsi que les menaces qui pèsent sur eux.

## I. PRESENTATION DES TRAVAUX

### INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers tropicaux disparaissent à un rythme élevé dans un grand nombre de régions et particulièrement en Afrique de l'Ouest, comme au Mali, où la forêt humide persiste seulement sous une forme très fragmentée de forêts-galeries ou de forêts de failles incluses dans une matrice de savane de plus en plus anthropisée. Dans ce contexte, les objectifs de notre projet de recherche sont i) de mesurer l'étendue et préciser l'intégrité des ces zones de forêt humides au sud du Mali ii) de caractériser la diversité biologique de groupes cibles dans ces îlots forestiers et d'en préciser les affinités biogéographiques, iii) d'étudier les relations que ces milieux entretiennent entre eux et avec la forêt continue située plus au sud via des méthodes génétiques, iv) d'évaluer les ressources utilisables de façon durable par l'homme dans ces habitats ainsi que les éventuelles menaces que les effets des changements globaux font peser sur eux.

### MATERIELS ET METHODES

Les sites choisis et échantillonnés au cours de ce projet se localisent au Sud du Mali dans la zone soudano-guinéenne soumise à une pluviométrie annuelle supérieure à 1000mm le long des frontières de Guinée, de Côte d'Ivoire et du Burkina Faso. Ils se regroupent en 4 grandes régions, d'ouest en est : région du Bafing, des Monts Mandingues, du Baoulé-sud et de Sikasso. L'extension et la fragmentation des zones forestières ont été cartographiées sur des images satellitaires en combinant plusieurs indices à un modèle numérique d'élévation. Les inventaires biologiques ont été réalisés pour 3 groupes cibles, les ligneux (arbres et arbustes principalement), les rongeurs et les chauves-souris, par les méthodes classiques : lignes et points d'inventaires pour les ligneux, piégeages et observations pour les petits mammifères. Des collections de références et des prélèvements biologiques ont été effectués, en vue des analyses phylogénétiques et phylogéographiques et de génétique de populations réalisées. Ces analyses génétiques se sont focalisées sur des modèles cibles au sein de chaque groupe : l'espèce *Carapa procera* pour les arbres, l'espèce *Praomys rostratus* pour les rongeurs, et le complexe d'espèces *Hipposideros caffer/ruber* pour les chauves-souris. Enfin les interactions entre l'homme et les ressources (intérêt, usages, menaces...) ont été abordées au travers d'une revue bibliographique axée sur la zone d'étude et les régions limitrophes soumises à des contraintes analogues. Par ailleurs, l'espèce d'arbre *Carapa procera* a servi de modèle pour évaluer la relation directe entre l'homme et les ressources biologiques de ces îlots au travers d'enquêtes de terrain portant sur l'extraction et l'utilisation traditionnelle de l'huile produite par les graines. Cette pratique a en effet été remise au devant de la scène en raison de l'intérêt économique de cette huile en tant qu'insecticide naturel dans le cadre de la filière « coton biologique » actuellement en plein essor en Afrique de l'Ouest et particulièrement au Mali.

### RESULTATS

Les analyses satellitaires de cinq images Landsat (ETM+) couvrant 3 des 4 régions d'étude (Bafing, Mts Mandingues et Sikasso) par l'indice NDWI associé à un modèle numérique d'élévation de résolution 90m révèlent que globalement les surfaces de forêt humide mesurées sont nettement plus importantes dans la région du Bafing tandis que localement, le massif forestier du site de Farako, situé dans la région de Sikasso, est le moins fragmenté.

Dans ces fragments de forêt, l'inventaire des ligneux regroupe 240 espèces, dont plus de 20 espèces nouvelles pour le Mali, appartenant à 168 genres et 47 familles avec une nette prédominance des Rubiaceae et des Leguminosae forestières mais également des Combretaceae qui attestent d'une insertion de la flore de savane. La diversité inter-site mesurée par des analyses multivariées met en évidence 3 grands groupes d'après leur composition

floristique : les failles à écoulement temporaire dans le Bafing composées d'espèces adaptées à une forte saisonnalité, les failles à écoulement permanent (sud Bafing, Mts Mandingues, est de la région de Sikasso), les plus diversifiées, et les forêts-galeries à écoulement permanent ou non. Par ailleurs, la flore des failles temporaires est la plus homogène même si cette similitude floristique décroît significativement avec la distance. Cette homogénéité peut en partie s'expliquer par la dominance des taxons à dissémination passive (diaspores anémoches ou barochores) mieux adaptés à la dispersion dans un environnement fragmenté. Au contraire, les deux autres groupes présentent une flore très hétérogène, composée majoritairement de taxons à dispersion zoochore, aérienne ou terrestre.

Dans tous ces groupes forestiers, la faune reste relativement riche localement. L'inventaire des rongeurs a mis en évidence 24 espèces appartenant à 6 familles dont la principale est celle des Muridae, avec quelques espèces à affinités guinéennes notamment dans la région de Sikasso. Les régions du Bafing et des Mts Mandingues présentent les communautés de rongeurs les plus similaires. L'analyse par habitat fait apparaître une nette dominance de l'espèce *Praomys rostratus* dans les forêts-galeries alors que *Praomys daltoni* caractérise les forêts de faille. De la même manière que les Combretaceae signent chez les ligneux une insertion de la flore de savane, l'espèce ubiquiste *Mastomys erythroleucus* apparaît localement dans tous ces habitats tandis qu'elle domine dans la savane voisine. L'inventaire des chauves-souris a fourni un total de 47–48 espèces, incluant 30-31 espèces nouvelles pour le pays ce qui représente 86% du total d'espèces actuellement connues au Mali. La région de Sikasso présente un taux élevé d'espèces à affinités guinéennes tandis que le Bafing et les Mts Mandingues révèlent des espèces partiellement ou strictement dépendantes des grottes (gîtes diurnes). Enfin, le fort renouvellement d'espèces (diversité bêta) entre les trois régions suggère une décroissance de similarité des communautés en lien avec la distance.

Les analyses génétiques confirment pour tous les groupes la fragmentation et la relative insularité des sites. A l'échelle transcontinentale le modèle *Carapa* montre une différenciation entre les échantillons de Guyane et ceux du Mali en dehors d'un haplotype moins divergent. A l'échelle africaine, l'étude de 8 locus microsattellites révèle une hétérozygotie importante et relativement peu variable entre les cinq pays étudiés (Sénégal, Mali, Burkina-Faso, Gabon et Cameroun) avec toutefois une plus forte diversité au Cameroun et une différenciation significative entre les populations d'Afrique Centrale et celles d'Afrique de l'Ouest. A l'échelle régionale une différenciation faible mais significative permet de distinguer les populations de l'est et de l'ouest du Mali sans lien avec les distances géographiques. L'analyse phylogéographique (séquences d'ADN mitochondrial) de *Praomys rostratus* montre une forte structuration génétique de l'espèce, en relation avec les bassins versants et l'histoire climatique du Pleistocène de la région. L'étude fine basée sur 14 locus microsattellites révèle une structuration longitudinale entre les groupes génétiques ouest (globalement plus structuré) et est (à sous-structure moins nette). En limite nord de sa distribution, la diversité génétique est variable, relativement faible dans le Bafing et dans les Mts Mandingues, mais très bien préservée dans la région de Sikasso. Enfin les analyses phylogénétiques des chauves-souris (gène mitochondrial du cytochrome *b*), menées dans le complexe d'espèces *Hipposideros caffer/ruber*, confirment l'existence de clades distincts qui pourraient représenter 4 espèces valides qui se seraient différenciées au cours du Pleistocène (entre 1 et 2 Ma). Une certaine structuration géographique de cette diversité génétique apparaît à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest dans ces groupes, avec une zone de discontinuité entre l'est et l'ouest du Mali qui apparaît dans deux cas au moins.

Par ailleurs, les interactions entre les activités humaines et les processus écologiques prennent des formes diverses, du fait de la variété de ces activités et des caractéristiques environnementales. Les données de la littérature, le cadre légal et les modes d'utilisation des ressources, convergent pour montrer que le façonnage des paysages par les activités humaines

ne répond pas à un schéma unique. Cependant, les approches interdisciplinaires permettant d'analyser finement ces interrelations dans les contextes socio-économiques et politiques officiels et locaux restent trop rares pour fournir une compréhension complète de cette dynamique d'usage des terres. Les changements de tous ordres auxquels les communautés locales sont confrontées les poussent à infléchir leurs pratiques traditionnelles de façon à assurer leur subsistance. Toutefois, la connaissance que ces communautés ont de leurs paysages, et en particulier de la forêt, fait que le renforcement de systèmes traditionnels d'utilisation des terres et l'accès plus grand de ces populations à la gestion de ces ressources apparaissent indispensables à l'implémentation de systèmes de gestion à petite échelle, en parallèle des lois de politique générale. L'exemple de la fabrication et de l'utilisation traditionnelle de l'huile de *Carapa* montre que les ressources forestières restent très importantes à une échelle locale, même si pour le moment il n'existe pas de filières commerciales ni d'organisation autour des processus de plantation/extraction/exploitation. Seules les femmes âgées continuent de produire de l'huile pour les besoins de la famille voire du village tandis que ce savoir tend à disparaître au point que plusieurs villages sont devenus consommateurs sans être producteur malgré la présence de l'espèce dans les forêts voisines.

## DISCUSSION

Les cours d'eau et autres biotopes humides (incluant les failles) de la région du Bafing abritent la plus grande superficie forestière de nos zones d'étude au sud du Mai. Les failles caractéristiques de cette région rocheuse montrent une forte homogénéité dans la composition floristique des ligneux, et cette zone montre également de fortes affinités avec celle des Mts Mandingues pour ce qui est de ses communautés de petits rongeurs et de chauves-souris, ces deux régions étant riches en grottes représentant des gîtes diurnes privilégiées pour les représentants de ce dernier groupe. En dehors de cette région, seul le massif forestier de Farako conserve une certaine intégrité structurelle qui s'accorde par ailleurs avec la présence d'espèces à affinités guinéennes dans les tous les groupes échantillonnés. Les communautés révèlent une forte structuration longitudinale (ouest-est) entre les massifs forestiers, tendance qui se retrouve par ailleurs dans l'organisation génétiques des trois modèles étudiés en détail (*Carapa*, *Praomys*, *Hipposideros*). L'ensemble atteste d'une zone de rupture entre les bassins versants du fleuve Sénégal à l'ouest et du fleuve Niger à l'est, même s'ils prennent naissance tous les deux dans le massif du Fouta Djallon guinéen. A une échelle plus petite et variable selon le modèle considéré, les résultats génétiques obtenus montrent également une relativement forte hétérogénéité, justifiant amplement de l'utilisation du terme îlots forestiers pour caractériser ces fragments forestiers reliques de périodes anciennes plus humides. Le savoir traditionnel s'accorde avec ce fonctionnement insulaire et les pratiques villageoises s'adaptent prioritairement aux ressources locales sans qu'il y ait de contacts forts ni entre les régions, ni dorénavant, entre les générations. Globalement les hommes, les petits mammifères et les plantes présents dans ces fragments de forêt représentent des communautés originales, en limite de distribution d'un écosystème très perturbé, et où les échanges entre les éléments du système ainsi qu'avec la forêt continue plus au sud, quoiqu'encore présents, sont certainement en train de décliner.

## CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Cette étude montre que les îlots forestiers dispersés dans la matrice bioclimatique de savane soudanienne renferment des espèces particulières, différentes de celles typiques de la savane. Ces fragments de forêt révèlent une faune et une flore relativement méconnues au niveau national puisqu'au total plus de 50 espèces nouvelles pour le pays ont été recensées au cours de ce projet. Ils sont par ailleurs relativement isolés les uns des autres, avec des contacts et transferts faibles voire absents pour certains groupes. Par ailleurs même si ces fragments

révèlent des affinités biologiques avec les forêts situées plus au Sud, de nombreuses intrusions biologiques en provenance de la matrice bioclimatique changent progressivement leur composition au profit des espèces adaptées aux conditions plus arides et démontrent qu'ils sont globalement en cours de déstructuration. Dès lors que ces fragments forestiers perdent leur intégrité et que la savane gagne du terrain, on peut craindre un risque d'homogénéisation après un état transitoire à diversité élevée lié à la juxtaposition de communautés forestières et savanicoles. Parallèlement le risque est que les organismes perdent l'usage de ressources parfois importantes pour leur développement. Ces dynamiques méritent d'être suivies, de même que l'adaptation des populations humaines à ces changements environnementaux par la transformation de leur mode de vie et leurs pratiques traditionnelles.

## II. ACQUIS EN TERMES DE TRANSFERT

Les inventaires que nous avons réalisés dans des milieux aussi confinés que ceux des îlots forestiers ont révélé une diversité biologique peu connue dans un pays comme le Mali, généralement présenté comme un pays sahélien où les études se focalisent essentiellement dans la zone des savanes arides. Dans le domaine de la biodiversité par exemple, la plupart des programmes de recherches insistent sur la conservation de la biomasse et de la diversité biologique en relation avec les processus de désertification. En revanche, notre projet aborde et met en avant des aspects moins connus relatifs à la biodiversité et à son érosion. Nos inventaires floristiques et faunistiques révèlent des taxons jusqu'alors inconnus du Mali et nous sommes certains que de nombreuses autres espèces nouvelles (au moins pour le pays) persistent dans des îlots ou dans des groupes que nous n'avons pas inventoriés dans le cadre de cette étude. Ces résultats montrent que la diversité biologique d'un pays comme le Mali ne peut pas se déduire de la seule analyse de sa pluviométrie. La pluviométrie permet de définir la matrice des paysages, alors que les besoins des organismes dépendent plus directement de la disponibilité hydrique locale, paramètre plus complexe que la quantité d'eau reçue en un point donné de la surface du sol. Au-delà de la quantité absolue d'eau disponible, cette disponibilité hydrique intègre la circulation de cette eau, autant en surface que dans le sol, et la durée durant laquelle elle reste accessible aux organismes. Au Mali, même dans les zones où les pluies sont rares, la disponibilité hydrique peut être très importante, notamment en raison de la présence des deux grands bassins versants des fleuves Sénégal et Niger ou des eaux souterraines dont les nappes affleurent dans plusieurs secteurs de la zone soudanienne notamment dans les failles rocheuses des Mts Mandingues. La présence de ces points d'eau permet aux organismes de se maintenir indépendamment des quantités de pluies. Ainsi une des principales recommandations que nous pouvons émettre à l'issue de ce programme serait de considérer cette diversité dans sa composante locale et de multiplier les programmes de recherches en lien avec l'analyse de la biodiversité à cette échelle.

Pour les plantes comme pour les animaux, il n'existe pas d'Institut au Mali en charge de constituer et de conserver à long terme une collection de références des espèces. Aucune flore n'a jamais été produite au Mali et aucun herbier national n'existe dans ce pays, ce qui constitue une exception sur le continent africain puisque en se référant au New York Botanical Garden qui recense tous les herbiers africains, seuls le Mali, le Tchad et l'Erythrée ne possèdent pas d'herbier national. Dans le cadre de ce projet nous avons récolté plus de 700 échantillons d'herbiers et malgré le fait que nous avons formé un technicien de l'Institut d'Economie Rurale à la conservation et au montage des planches d'herbier nous sommes dans l'obligation de déposer ces récoltes dans des herbiers situés hors du Mali, à Paris, à Bruxelles, à Londres et à l'IFAN de Dakar. La problématique est la même pour les collections animales. Nous suggérons donc que les instances nationales ou internationales ainsi que les programmes en charge du

développement prennent conscience que sans ces instruments de recherche, la flore et la faune de ce pays resteront mal connues, peu accessibles aux scientifiques et étudiants locaux, et que certaines espèces pourraient disparaître avant d'avoir été inventoriées.

Afin de promouvoir cette richesse auprès des populations et des autorités locales nous avons élaboré plusieurs actions visant à transmettre la connaissance acquise au sein de ce projet de recherche. En collaboration avec le jardin botanique de Kew à Londres, nous avons soumis auprès de l'IUCN deux notices concernant deux espèces endémiques méconnues du Mali, *Gillettiodendron glandulosum* et *Acridocarpus monodii*. Le niveau vulnérable a été jugé approprié pour *G. glandulosum* en considérant la mise en place d'une application active et efficace de la législation forestière malienne et en réduisant l'exploitation des forêts où vit cette espèce. Si ces mesures de conservation sont correctement mises en place les populations de cette espèce sont susceptibles de voir leur densité augmenter rapidement en raison de son apparente résilience face à la coupe à petite échelle, le grand nombre de graines produites régulièrement, leur fort taux de germination et la rusticité des plants. Dans ces conditions il serait alors possible de déclasser cette espèce du statut de vulnérable au statut de « quasi menacé ». En revanche l'espèce *A. monodii* est très proche du statut de « danger critique d'extinction » en raison de sa très faible distribution actuelle et de la diminution très nette de son aire de distribution (réduction de 40%) durant les 50 dernières années en lien avec les changements climatiques notamment. Cependant, en raison de sa forte abondance dans les quelques sites où elle survit et du fait qu'elle n'est pas menacée par les activités humaines, cette espèce a été classée selon le statut « menacé » et en voie de disparition selon les critères B1ab (iii) et B2ab (iii) de l'UICN.

Par ailleurs, afin de promouvoir la richesse de ces zones forestières auprès des populations humaines mais également auprès des jeunes et des étudiants nous avons réalisé en relation avec les services audiovisuels de l'IRD et du Cirad un film documentaire scientifique d'une durée de 43 minutes intitulé « Yiriba, sources de vies au Mali » qui est dorénavant inscrit au catalogue de ces deux organismes. Première co-production audio-visuelle entre ces deux instituts, ce film a été largement distribué aux autorités maliennes et à toutes les instances en charge de la conservation de la nature. Il nous a permis de transmettre et discuter des informations sous une forme facilement assimilable dans trois villages du sud Mali où nous avons réalisé des séances de projection-débats itinérantes (février 2010). Dans chacun de ces villages, environ 300 spectateurs de tous âges et catégories sociales ont assisté à la projection de ce documentaire qui illustre à la fois la fragilité, la richesse et l'utilisation de ces milieux dans un contexte rationnel. Des débats ont eut lieu sur l'importance de ces forêts pour les populations humaines mais également en tant qu'héritage biologique qu'il est important de conserver. Enfin une projection-débat a également été organisé au centre culturel français (CCF) de Bamako en présence de nombreuses personnes et officiels qui œuvrent pour la conservation de la nature au Mali. Parmi elles, notons notamment le grand intérêt porté par la représentante locale de l'UICN pour l'Afrique de l'Ouest, Madame Rokia Diarra qui souhaite lancer un projet au sein des programmes de l'éducation nationale au Mali pour promouvoir la science dans les écoles. Très récemment (juillet 2010) Madame Diarra nous indiquait que «*Nos activités d'éducation environnementale démarreront au second semestre à la reprise des classes. Nous avons déjà choisi deux écoles pilotes dans le cadre de nos activités et qui bénéficieront de la projection du film* ». Par ailleurs, ce film est aujourd'hui inscrit dans de nombreux festivals en France et en Europe et nous espérons qu'il contribuera également à la promotion de la conservation de la biodiversité dans les programmes de recherches et de développement menés en Afrique de l'Ouest par les instances internationales. A ce titre, il sera présenté auprès du CCF de Ouagadougou au Burkina Faso, fin Octobre 2010, dans le cadre de la Semaine du film scientifique co-organisée par le CCF et l'IRD sur le thème de la Biodiversité.

Toujours dans le cadre de ces activités de promotion nous avons réalisé, le 25 juin 2008 une journée de formation botanique auprès des jeunes de l'association éco-touristique de la cascade de Siby, lieu régulièrement visité par les touristes. Nous avons montré les espèces les plus importantes des Mts Mandingues et insisté sur leur fragilité mais également sur leur importance pour les populations humaines

En relation avec nos travaux sur le modèle *Carapa* et dans le but de nous rapprocher d'acteurs de terrain dans un domaine appliqué où nos résultats pouvaient se montrer utiles, nous avons contacté la coopération Suisse (Helvetas) et l'ONG Mobiom au Mali. En effet, ces structures sont en charge de la promotion de la culture du coton biologique au Mali, qui repose notamment sur l'utilisation d'un insecticide naturel basé sur l'huile de *Carapa procera* (Kobi en Bambara). Nous avons notamment attiré l'attention sur le fait qu'il était nécessaire de s'assurer d'un prélèvement durable des fruits de Kobi pour conserver l'appellation biologique au risque de procéder à une spoliation des ressources locales et à une destruction des forêts à *Carapa*, essence qui ne se développe que dans les îlots forestiers à disponibilité hydrique permanente. Cette collaboration s'est traduite par un cofinancement de la part d'Helvetas nous permettant de faire une évaluation à partir d'enquêtes dans les villages et d'inventaires sur le terrain de la quantité de la ressource disponible au Mali et de la meilleure façon de produire de l'huile de *Carapa* sans dégradation forestière. Cette étude d'une durée de deux mois a été réalisée avec deux étudiants de l'Institut Polytechnique Rurale (IPR) qui ont soutenu leur mémoire de fin d'étude sur l'utilisation de l'huile de Kobi dans les forêts du Sud Mali. Elle a démontré que dans l'état actuel de la production de coton biologique, le Mali pourrait subvenir à ses propres besoins en termes de quantité d'huile nécessaire, alors même que cette huile est aujourd'hui exclusivement achetée en Guinée. Enfin sur cette même thématique, nous avons organisé en octobre 2008 un atelier de travail à Ulm (Allemagne) afin de débattre de la promotion de coton biologique en Afrique de l'Ouest en relation avec les activités du programme de recherche Biota, notamment au Bénin.

Enfin il nous semble important de mettre à la disposition du plus grand nombre une partie des résultats de ce projet de recherche grâce à Internet afin que les acteurs qui s'occupent de la conservation de la nature en Afrique de l'Ouest puissent s'appuyer sur nos conclusions et nos préoccupations pour promouvoir l'intérêt de la conservation de la biodiversité. Pour cela nous allons publier nos résultats sur le Centre d'échange d'information du Mali sur la Convention sur la Diversité Biologique (<http://www.biodiv.be/mali>), ainsi que toutes nos photos de plantes sur le site allemand West African Plants - A Photo Guide (<http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php>). De la même façon, les données d'inventaires sur les petits mammifères ont par ailleurs alimenté les bases de données actuellement actives sur les rongeurs ouest-africains (dont une partie est disponible publiquement à [http://www.bdrss.ird.fr/bdrsspub\\_form.php](http://www.bdrss.ird.fr/bdrsspub_form.php)) et sur les chauves-souris africaines. Les données « rongeurs » ont également été intégrées à un ouvrage sur les rongeurs sahélo-soudanais, parus fin 2009 et assez largement distribué dans la sous-région et nous allons prochainement publier un livre sur les forêts du Mali.

### III. LISTE DES PRINCIPALES VALORISATIONS DES RECHERCHES

- Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation.  
**Weber, N., Birnbaum, Ph., Forget, PM,** Gueye, M. & Kenfack, D., L'huile de carapa (*Carapa* spp., Meliaceae) en Afrique de l'Ouest: utilisations et implications dans la conservation de l'environnement. *Fruits* (sous presse)
- Bryja, J., Patzenhauerová, H., **Granjon, L.**, Dobigny, G., Konečný, A., **Duplantier, J.M.**, Gauthier, P., Colyn, M., Durnez, L., Lalis, A. & Nicolas, V., Plio-Pleistocene history of West African Sudanian savanna and the phylogeography of the *Praomys daltoni* complex (Rodentia): The environment / geography / genetic interplay. *Molecular Ecology* (sous presse)
- Granjon, L. & Duplantier, J.-M.** - Guinean biodiversity at the edge: Rodents in Southern Mali forest fragments. Soumis à *Mammalian Biology*
- Nicolas V., Bryja J., Akpatou B., Konecny A., **Lecompte E.**, Colyn M., Lalis A., Couloux A., Denys C. & **Granjon L.** 2008. Compared phylogeography of two forest rodent sibling species (*Praomys rostratus* and *P. tullbergi*) in West Africa: a Pleistocene history of divergence. *Molecular Ecology*, 17: 5118–5134.
  
- Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation.  
**Birnbaum, P.**, 2010, Yiriba, des sources de vie au Mali. AMAP Info n°17, janvier-mars 2010.
  
- Participations aux colloques nationaux ou internationaux (communication orale et poster).  
**Birnbaum, P., Duval, C & Florence, J.**, 2010. *Les points chauds* de la diversité floristique des forêts soudaniennes du Mali AETFAT, 26 avril – 1<sup>er</sup> mai 2010
- Birnbaum P.**, 2008. Biological conservation and economic development: the case of *Carapa* in Malian's forests. ULM University, 21-22 october 2008 Workshop "Organic cotton in West Africa".
- Lecompte, E.**, Konecny, A., Bryja, J. & **Granjon, L.**, 2007. Preliminary study of *Praomys rostratus* (Rodentia: Muridae) population structure in forest fragments from the northern limit of its distribution in West Africa. *Communication orale au 10th International African Small Mammal Symposium, Abomey-Calavi, Bénin, 20-25 Août 2007.*
- Weber, N., Granjon, L. & Fahr, J.**, 2010. Gallery forests boost bat diversity in southern Mali, West Africa. *Communication orale au 15<sup>th</sup> Bat Research Conference, Prague, 23-27 Août 2010.*
  
- Rapports de fin d'étude (mémoires de master, de DEA, thèses...)  
Chollet S., 2008. Position phylogénétique et phylogéographie comparée de chauves-souris d'Afrique de l'Ouest. Mémoire de Stage de M1, Master Sciences et Technologies, Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement, Spécialité Biodiversité, écologie, évolution, Université Montpellier 2 (Encadrement **J.-F. Cosson & L. Granjon**)
- 2 rapport de fin d'études réalisées à l'Institut Polytechnique Rural (IPR) de Katibougou sous la directions de A K. Coulibaly
  
- Communications dans les médias...  
Information sur le projet sur le site Carapa.org (géré par **P.-M. Forget**, MNHN) [http://www.carapa.org/fr/etudes/galeries\\_forestieres\\_mali.htm](http://www.carapa.org/fr/etudes/galeries_forestieres_mali.htm), et sur le site SimMasto, Centre d'Informations sur les petits rongeurs hôtes et leurs parasites (géré par J. le Fur, IRD) : <http://simmasto.org/GetInfo.html?id=005>
  
- Autres  
**Granjon, L. & Duplantier, J.M.**, 2009 - Les Rongeurs de l'Afrique sahélo-soudanienne. Editions de l'IRD (Collection Faune et Flore tropicales), Marseille, 216p.
- Birnbaum, P.** 2011 – Les forêts du Mali. Editions QUAE (accepté)

# RESUMES

## En français

---

### RESUME

Le sud du Mali appartient à la zone bioclimatique soudanienne, caractérisée essentiellement par la savane arborée. Dans cette matrice environnementale, la forêt humide se maintient sous la forme de forêts galeries ou de forêts de failles dans les zones rocheuses. Les objectifs de ce projet étaient : 1) de mesurer l'extension de ces zones de forêt humide au sud du Mali, 2), d'en caractériser la diversité biologique par rapport à la savane environnante à travers l'inventaire des arbres, des rongeurs et des chauves-souris, 3) d'étudier les relations entre ces zones forestières ainsi qu'avec la forêt humide située plus au sud via des analyses génétiques de taxons-cibles, et enfin 4) d'évaluer l'intérêt en terme de ressources de ces formations pour les populations humaines, ainsi que les menaces pesant sur cet écosystème particulier. Les analyses cartographiques ont montré une extension variable de la forêt humide selon les régions considérées, avec des surfaces relativement fortes dans le Bafing (sud ouest), mais dans tous les cas une fragmentation importante de cette formation, légèrement moindre sur le site de Farako (région de Sikasso). Les inventaires de flore et de faune ont montré une diversité élevée dans les groupes d'intérêt. Les communautés d'arbres définissent 3 types de milieux : les failles à écoulement permanent, les failles à écoulement temporaires et les forêts galeries. Les communautés de petits mammifères apparaissent similaires dans les régions du Bafing et les Mts Mandingues, représentant les contreforts du massif guinéen du Fouta Djallon. C'est dans la région de Sikasso que se rencontrent le plus d'espèces à affinités guinéennes typiques de la grande forêt humide. Les analyses génétiques montrent systématiquement une différenciation nette en plusieurs lignées, généralement selon un axe longitudinal. C'est le cas chez l'arbre *Carapa procera*, chez le rongeur *Praomys rostratus* et, dans une moindre mesure, dans certains clades du complexe d'espèces *Hipposideros caffer/ruber* (chauves-souris). Cette structuration témoigne de l'organisation insulaire de ces zones forestières, entre lesquelles les flux d'individus et de gènes apparaissent très ralentis, de même qu'entre elles et la forêt continue du sud. L'ensemble des données d'inventaires des communautés et de génétique intraspécifique semble mettre en évidence une différenciation ouest-est associée aux bassins versants des fleuves Sénégal et Niger, respectivement, sur laquelle se superpose une différenciation plus fine et liée à des événements plus récents. Les ressources hébergées par cet habitat forestier sont multiples, et exploitées de façon très variable par les populations locales selon les contextes environnementaux et socio-culturels. L'exemple de l'extraction et l'utilisation traditionnelle de l'huile de *Carapa procera* est révélateur des potentialités qu'offrent ces forêts humides en terme de développement durable, mais leur état de fragmentation et les menaces qui pèsent sur elles dans cette zone représentant leur limite septentrionale de distribution rend leur maintenance à long terme problématique.

### MOTS CLES

Biodiversité, Fragments forestiers, Conservation, Ressources, Afrique de l'Ouest, Arbres, Rongeurs, Chauves-souris

## In English

---

### ABSTRACT

*1/2-1 page*

Southern Mali belongs to the Sudanian bioclimatic zone, characterized by the presence of wooded savanna. In this environmental matrix, humid forest is still found in the form of gallery forests along waterways and forest patches in ravines in rocky areas. The goals of this project were to: 1) measure the extent of these humid forests in southern Mali; 2) characterize their biological diversity relative to the surrounding savanna with reference to the study groups trees, rodents and bats; 3) study the relationships between forest patches and between the patches and the continuous humid forested located to the south, using genetic analyses of target taxa; and 4) appraise the importance of these forest patches in terms of the biodiversity resources they harbour for human populations, as well as the threats they confront. Cartographic analyses of satellite images showed various surface areas of this humid forest according to the study region, with the Bafing region (southwestern Mali) showing the highest values. In all cases this forest was characterized by a high degree of fragmentation, with a slightly better situation in the site of Farako (Sikasso region). Plant and animal inventories revealed high diversity in all the study groups. Tree communities were distributed according to three main habitat types: ravines with permanent water flow, ravines with temporary water flow, and gallery forests. Small mammal communities were the most similar in the Bafing and the Plateau. Mandingue regions, both representing the foothills of the Guinean Fouta Djallon Massif. The Sikasso region harboured the highest proportion of species showing Guinean floristic affinities, typical of the humid forest located farther south. Genetic analyses regularly demonstrated the occurrence of lineage differentiation along a longitudinal axis. This was the case in the tree *Carapa procera*, the rodent *Praomys rostratus* and, to a lesser extent, in some clades of the *Hipposideros caffer/ruber* complex (bats). This structure testifies for the insular nature of these forest patches, between which individual and gene flows are clearly reduced, as they are between them and the southern continuous forest. Taken together, community data and intraspecific genetic data both indicate a west-east differentiation, partly associated with the drainage basins of the Senegal and Niger Rivers, over which additional, probably more recent, events of differentiation, have occurred. The resources present in these habitats appear numerous, and are exploited in a variety of ways by local populations, as a function of environmental and socio-cultural contexts. The example of traditional *Carapa procera* oil extraction and use exemplifies the potential offered by these humid forests in terms of sustainable development, but their patchy distribution and the variety of threats they face mean that the forest patches should be managed cautiously, because they represent the northernmost distribution in West Africa of many characteristic species.

### KEY WORDS

Biodiversity, Forest fragments, Conservation, Resources, West Africa, Trees, Rodents, Bats

# **RAPPORT SCIENTIFIQUE**

## **Forêts de failles et forêts galeries au sud du Mali : deux voies pour la pérennité des refuges guinéens en zone soudanienne**

### **NOM DU PROGRAMME Programme Ecosystèmes Tropicaux**

#### **Nom des responsables scientifiques du projet**

**Philippe Birnbaum (CIRAD, UMR AMAP) / Laurent Granjon (IRD, UMR CBGP)**

#### **Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires**

**BLANC, PATRICK, DR., BOTANIQUE ET ECOLOGIE PLANTES DU SOUS-BOIS, CNRS / MNHN UMR 5671  
CHEVALLIER, MARIE-HELENE, DR., GENETIQUE FORESTIERE, CIRAD, UMR 5175 CNRS-CIRAD, CEFE  
COSSON, JEAN-FRANÇOIS, DR., GENETIQUE, INRA, UMR 1062 (CBGP)  
DUPLANTIER, JEAN-MARC, DR., ECOLOGIE RONGEURS, IRD, UMR022 (CBGP)  
DUVALL, CHRIS, MS, DEPARTMENT OF GEOGRAPHY, UNIVERSITY OF WISCONSIN, MADISON, WI 53706, USA.  
FAHR, JAKOB, ECOLOGIE, DEPT OF EXPERIMENTAL ECOLOGY (BIO III), UNIVERSITY OF ULM, ALLEMAGNE  
FLORENCE, JACQUES, DR., SYSTEMATIQUE ET TAXINOMIE VEGETALE. ANTENNE IRD MNHN  
FORGET, PIERRE-MICHEL, DR., MNHN, UMR 5176. CNRS / MNHN  
GAZULL, LAURENT, MS, TELEDETECTION ET SIG CIRAD, UPR36  
GAUTIER, DENIS, DR., FORESTERIE SOCIALE ET GEOGRAPHIE. CIRAD, UPR36  
LECOMPTE EMILIE, Dr, Systématique moléculaire, Université Paul Sabatier, Toulouse  
NIAGATE BOURAMA, Ingénieur des Eaux et Forêts, Direction Nationale de la Conservation de la Nature, Mali  
TREBUCHON, JEAN-FRANÇOIS, MS, Télédétection et SIG CIRAD, UPR36**

---

### ***Rappel succinct des objectifs***

L'hypothèse générale testée dans le cadre de ce projet est la suivante : La durabilité de l'écosystème fragmenté représenté par le réseau de forêts de failles et forêts-galeries du sud Mali est conditionnée par 1) le maintien de la structure et de la dynamique de chaque îlot (diversité biologique et interactions écologiques) et 2) le maintien des relations entre les îlots et avec la forêt guinéenne actuelle (flux d'individus et de gènes) en répondant aux questions suivantes :

1- Quelle est l'extension de ces zones forestières d'affinités guinéennes dans le sud du Mali, région appartenant globalement à la zone bio-climatique soudanienne ?

2- Quelles sont les caractéristiques actuelles (richesse, diversité, composition...) des communautés d'arbres et de petits mammifères (terrestres et volants) de ces îlots forestiers ?

3- Quelle est l'histoire des communautés animales et végétales de ces îlots forestiers et celle de leurs relations avec la zone forestière (pays du golfe de Guinée) au Quaternaire ?

4- Quel est le rôle de l'homme dans le maintien, l'expansion, la dégradation ou la fragmentation de ces communautés végétales et animales ?

5- A partir des résultats obtenus, quelles recommandations peuvent être faites en vue d'une gestion durable de ces refuges ?

### ***Justification des éventuels écarts par rapport au projet de départ***

Plusieurs écarts sont intervenus dans le déroulement du projet tel qu'initialement soumis. Le démarrage tardif du financement (décembre 2006) par rapport à la date de soumission (mai 2005) a provoqué des difficultés dans l'organisation des opérations de terrain puisque les deux responsables de ce projet, originellement affectés à Bamako, sont rentrés en France avant le début des phases d'échantillonnage. Ce décalage a modifié les plans de financement, les missions initialement prévues au départ de Bamako avec le matériel existant au Mali ayant dû être orchestrées au départ de Montpellier, entraînant des surcoûts logiques sur ce chapitre de dépense. Courant 2006, Ute Böttcher a également quitté son poste au Ministère de l'environnement à Bamako pour rejoindre le bureau central de la GTZ en Allemagne, et a de ce fait renoncé à participer au programme.

Marie-Hélène Chevallier a été affectée début 2008 à la Réunion, et s'est également désengagée du projet après avoir fourni des résultats préliminaires (génétique de *Carapa*) pour le rapport intermédiaire (juillet 2008). Pour pallier à cette défection, nous sommes entrés en contact avec le laboratoire de génétique écologique de l'INRA de Paracou (Guyane française) qui travaille sur le genre *Carapa* en Amazonie. Nous leur avons confié une série de nos échantillons, qui ont été intégrés aux analyses génétiques menées par cette équipe, dont quelques résultats préliminaires obtenus récemment sont présentés ici.

Chris Duvall a obtenu un poste permanent à l'Université de New Mexico en 2008, ce qui a également motivé son retrait du projet. Enfin nous avons prévu de travailler sur la diversité floristique des herbacées dans le but d'étudier un modèle très contraint dans sa capacité de colonisation, sur lequel nous pensions trouver une forte structuration géographique des peuplements. Là encore le partenaire impliqué (Patrick Blanc) n'a pas donné suite à la seule mission de terrain qu'il a réalisée. Nous nous sommes concentrés sur les peuplements ligneux (arbres, arbustes et dans une moindre mesure lianes).

De façon plus globale et très en amont dans le déroulement de ce programme, la défection (Ute Böttcher) ou la faible implication (Denis Gautier, Bourama Niagaté) des partenaires en charge des études relations « homme – milieu » et « influence anthropique

sur l'intégrité des îlots forestiers » n'a pas permis d'aborder correctement une des questions de départ (question 4 ci-dessus). Cette partie était pourtant fondamentale pour une compréhension des enjeux portant sur la conservation de ces forêts du sud Mali, sur lesquelles pèsent des pressions diverses : prélèvement de grands arbres (construction, bois d'œuvre, artisanat), captation / dérivation de l'eau à des fins d'irrigation d'une région parfois distante de la forêt, installation de zones de maraîchage, exploitation de produits forestiers à usage local à régional.... Pour tenter de comprendre cette dualité « exploitation / conservation » dans les contextes du sud Mali, et en l'absence de réels spécialistes dans l'équipe restante, nous avons réalisé i) une enquête sur l'utilisation locale d'une ressource spécifique des îlots forestiers au Mali, l'huile de *Carapa*, en collaboration avec une ONG installée au Mali, Helvetas, ii) une synthèse bibliographique des relations entre exploitation et conservation des zones forestières en Afrique de l'Ouest. Ces deux opérations ont été réalisées par Natalie Weber.

Au chapitre de l'implication dans le projet de collègues qui n'étaient pas nommément listés au départ, il faut signaler :

- Natalie Weber (Université d'Ulm, Allemagne) a réalisé un important travail d'échantillonnage des chauves-souris et qui a mené deux études dans le cadre de la thématique des relations « homme - milieux forestiers » (voir ci-dessus).

- Violaine Nicolas (Museum National d'Histoire Naturelle, Paris) et Josef Bryja (Académie des Sciences de République Tchèque, Brno) ont traité un grand nombre d'échantillons de rongeurs du genre *Praomys* dans le cadre d'études phylogéographiques, en parallèle du travail de génétique des populations mené par Emilie Lecompte.

- Caroline Scotti-Saintagne (INRA Paracou, Guyane française) a traité une série d'échantillons de *Carapa* ouest africains (en particulier du sud Mali) dans le cadre d'études génétique comparatives trans-continentales sur ce genre.

### ***Description du déroulement du projet et des matériels utilisés***

La collecte des données de terrain a été réalisée lors de missions organisées à partir des structures IRD et CIRAD de Bamako et orchestrées depuis Montpellier (P. Birnbaum et L. Granjon jusqu'à juillet 2008) et Dakar (L. Granjon depuis août 2008). Des données acquises avant le démarrage du projet, pendant les affectations au Mali de P. Birnbaum (2001-2007) et L. Granjon (1999-2006), ont été intégrées aux résultats présentés ici. Doukary Abdoulaye (technicien en mammalogie à l'IRD Bamako) a participé activement à toutes les missions de terrain, où Mamadou Doumbia et/ou Ibrahima Sidibé (chauffeurs IRD) ainsi que Mohamed Traoré (dit Sassi) ont également été impliqués. Pour la période couverte par le financement MEDD-Ecofor, les missions suivantes ont été réalisées :

1) décembre 2006, L. Granjon, région de Sikasso : échantillonnage des rongeurs

2) avril-mai 2007, M.-H. Chevallier, L. Granjon, J.-F. Trébuchon, N. Weber, P. Birnbaum régions de Sikasso et du Baoulé-sud : échantillonnage des chauves-souris et des rongeurs, récolte d'échantillons de *Carapa*, validation terrain de données de télédétection

3) novembre 2007, P. Birnbaum, J.-M. Duplantier, P.-M. Forget, L. Granjon, J.-F. Trébuchon, N. Weber, région du Bafing : échantillonnage des chauves-souris et des rongeurs, inventaires botaniques, récolte d'échantillons de *Carapa*, validation terrain de données de télédétection

4) février 2008, N. Weber, régions de Sikasso et du Baoulé-sud : échantillonnage des chauves-souris et des rongeurs

5) juin 2008, P. Birnbaum, N. Weber, régions de Sikasso, du Baoulé-sud et des Mts Mandingues : échantillonnage des chauves-souris et des rongeurs, inventaires botaniques et enquête sur la fabrication et l'utilisation de l'huile de *Carapa* (mission partiellement prise

en charge par l'ONG Helvetas via une convention de partenariat entre cette ONG et N. Weber)

6) janvier-février 2009, P. Birnbaum, J. Fahr, L. Granjon, J.-F. Trébuchon, région de Sikasso : échantillonnage des rongeurs et des chauves-souris, inventaires botaniques et réalisation des images « terrain » du film « Yiriba, des sources de vie au Mali ».

7) février-mars 2010, P. Birnbaum, L. Granjon, région de Sikasso : valorisation des résultats autour de la projection du film « Yiriba, sources de vies au Mali » dans les villages de Piama, Woroni et Kadiaradougou puis sous la forme d'une projection-débat au centre culturel français (CCF) de Bamako.

Au-delà de ces missions de terrain plusieurs autres missions ont été réalisées, sur le compte du programme:

1) 17 - 26 août 2007 : participation d'Emilie Lecompte au 10<sup>ème</sup> African Small Mammal Symposium

2) 24 - 30 mai 2008 : voyage et séjour de P. Birnbaum au MNHN, Paris depuis Montpellier pour l'identification des Rubiaceae (travail en collaboration avec J. Florence)

3) 3 juillet 2008 : Voyage Toulouse-Montpellier pour E. Lecompte, pour réunion de travail au CBGP sur les résultats de génétique de rongeurs.

4) 11 janvier 2010 : Voyage Paris-Montpellier pour B. Surrugue (service Audio-visuel IRD) et F. Renaud (réalisateur) à l'occasion de la première diffusion du film « Yiriba, des sources de vie au Mali » (Cirad Montpellier)

Le traitement des informations et des échantillons récoltés lors des missions de terrain a été réalisé selon diverses procédures, selon la nature des données :

- Informations géographiques (données de télédétection et cartographiques) : les analyses ont été réalisées essentiellement par J.-F. Trébuchon (avec l'assistance ponctuelle de L. Gazull) dans le cadre de l'UPR36 du Cirad à Montferrier-sur-Lez.

- Botanique : les collectes botaniques ont permis la constitution d'un herbier afin de disposer d'une collection de référence. Aujourd'hui cette collection renferme environ 700 échantillons. Chaque récolte a été réalisée en prenant soin de collecter le plus d'organes fertiles. Les échantillons ont été montés à Bamako avec l'aide d'un technicien de l'IER, Mamadou Coulibaly, formé dans le cadre de cette étude. Le Mali ne possédant pas d'herbarium national, ces échantillons ont été amenés en France avec l'autorisation de la Direction Nationale de la Conservation de la Nature du Mali, grâce à une autorisation d'importation délivrée par le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Toujours en cours d'analyses, notamment pour les taxons nouveaux, ils seront ensuite déposés dans les herbiers de Paris, Kew, Bruxelles et Dakar. L'organisation et le traitement des données botaniques, coordonnés par P. Birnbaum à partir de l'UMR AMAP (Montpellier) ont bénéficié de la collaboration de J. Florence pour la systématique des taxons du sous-bois, d'Olivier Lachenaud (Université libre de Bruxelles) pour la systématique de la famille des Rubiacées, de C. Duvall pour les échantillons récoltés dans le Bafing, de P.-M. Forget pour les données ethnobotaniques sur *Carapa*.

- Mammalogie : les petits mammifères terrestres collectés pendant le projet (rongeurs essentiellement) ont donné lieu à la constitution d'une collection de spécimens (environ 500 spécimens conservés), dont une grande partie a été préparée par les techniciens en mammalogie de l'IRD Bamako (Doukary Abdoulaye et Ilias Ag Aboumahamad) et de l'IRD Dakar (Aliou Sow et Yousoupha Niang). Plus de 200 spécimens sont aujourd'hui sous forme de « peaux sèches + crânes », les crânes des autres ayant été seuls préparés (carcasses en fluide). L'essentiel de cette collection est hébergée dans les nouvelles salles de collections de l'UMR 022 CBGP à Montferrier-sur-Lez. Quelques dizaines de

spécimens de chauves-souris, également collectés pendant le projet, sont actuellement hébergés à l'Université d'Ulm, sous la responsabilité de Jakob Fahr. Les données de distribution des rongeurs ont été traitées par L. Granjon et J.-M Duplantier, celles concernant les chauves-souris par J. Fahr et N. Weber.

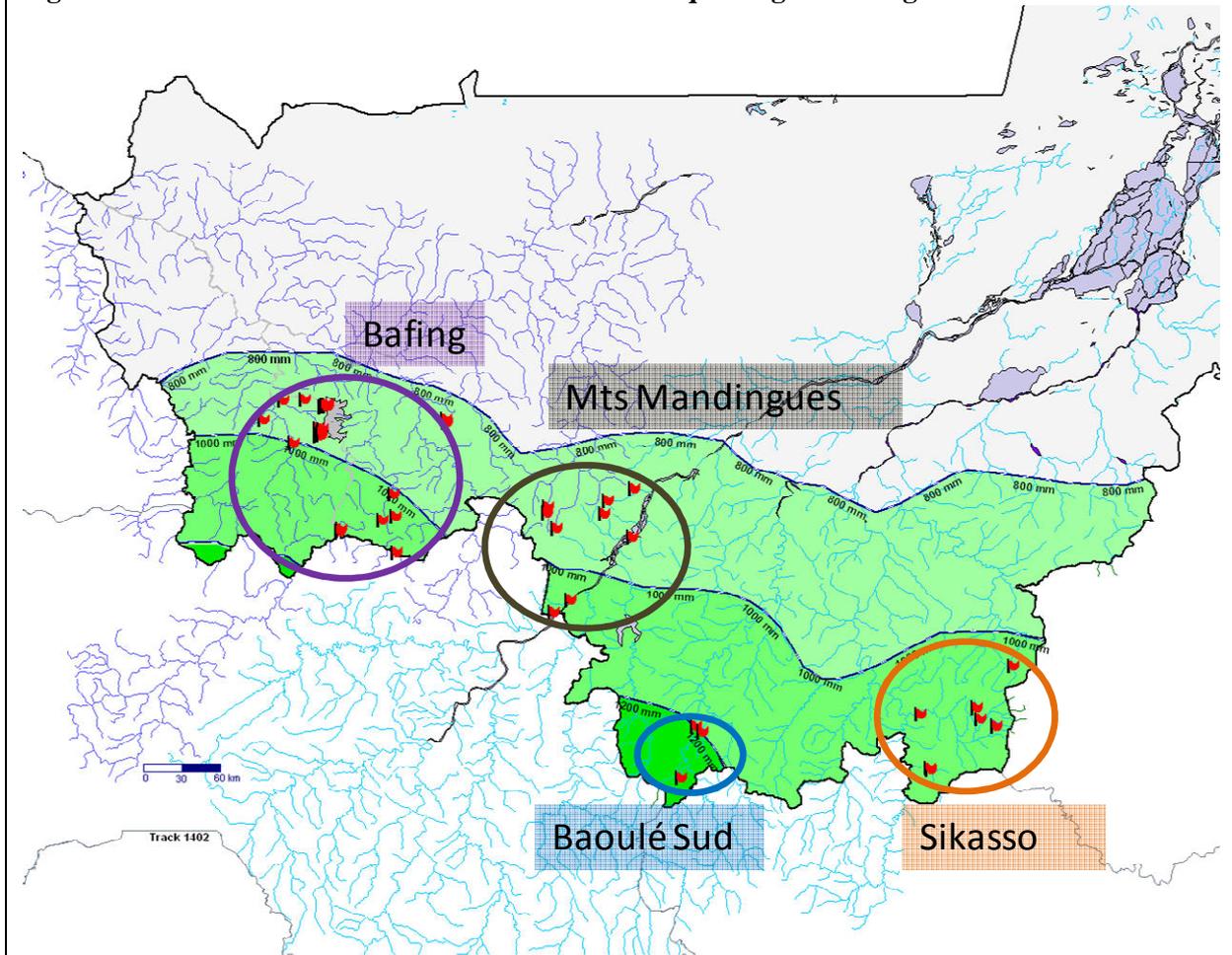
- Analyses génétiques : des feuilles d'un grand nombre d'individus de *Carapa* ont été collectées au cours du projet et ont servi à l'extraction de l'ADN étudié lors des études génétique sur le genre, sous la responsabilité de M.-H. Chevallier et Caroline Scotti-Saintagne (UMR EcoFoG, Kourou, Guyane française). Les données de génétique par marqueurs microsatellites acquises à l'UMR 5175 CNRS-CIRAD au CEFE (Montpellier) en 2008 grâce à l'assistance technique de H. Vignes (Cirad, CEFE), ont fait l'objet d'un traitement préliminaire par M.-H. Chevallier. Des données de séquences ont été acquises et traitées plus récemment par C. Scotti-Saintagne. Les prélèvements d'organes en éthanol effectués sur les petits mammifères sont stockés au CBGP (Montferrier-sur-Lez) pour ce qui est des rongeurs et d'une partie des chauves-souris, et à l'Université d'Ulm pour ce qui est du reste des chauves-souris. La génétique des populations de *Praomys rostratus* par marqueurs micro-satellites a été coordonnée par E. Lecompte, après que V. Nicolas (MNHN, Paris) et J. Bryja (Académie des Sciences, Brno) aient intégré une partie des échantillons à des analyses à grande échelle géographique basées sur les séquences du gène mitochondrial du cytochrome *b* chez *P. rostratus* et *P. daltoni*, respectivement. Les données génétiques sur les chauves-souris, obtenues grâce à C. Tatarad (INRA, UMR CBGP) et S. Chollet (Master 2, UMR CBGP), ont été traitées par J.-F. Cosson.

Par ailleurs, les tubes digestifs d'un certain nombre de rongeurs également collectés lors des échantillonnages de terrain ont fait l'objet d'un tri de leurs vers parasites (nématodes et cestodes) à l'IRD Dakar. Ces derniers sont actuellement en cours d'analyses (coll. C. Brouat, CBGP et M. Diouf, Université Dakar).

### ***Présentation des résultats des recherches (questions 1, 2 et 3)***

Les sites choisis et échantillonnés au cours de ce projet se localisent tous dans la zone soudanienne du Mali, soumise à une pluviométrie supérieure à 1000mm par an, dans un espace compris entre les latitudes 10°23'N et 13°14'N et les longitudes 5°26'O et 10°52'O, aux abords des frontières de Guinée, de Côte d'Ivoire et du Burkina Faso (cf. Figure 1). Ces zones forestières s'organisent généralement sous la forme d'un cordon de végétation plus ou moins large et encaissé au centre duquel l'eau s'écoule soit dans un lit (et on parlera alors de forêt-galerie), soit dans une faille (et on parlera alors de forêt de faille). Ce flux d'eau est présent soit en continu toute l'année, soit de manière saisonnière. Les zones à écoulement permanent constituent des milieux dans lesquels les organismes s'affranchissent en grande partie des variations du régime pluviométrique ; en revanche, les secteurs à écoulement temporaire amplifient l'effet de la saisonnalité climatique et imposent aux organismes de supporter une période durant laquelle la quantité d'eau est nettement supérieure à celle correspondant à la pluviométrie locale, suivie d'une période aride calquée sur le régime climatique. Parallèlement les sites étudiés reposent sur des substrats distincts : rocheux à sol peu développé dans les failles gréseuses au relief parfois abrupt ou plaines alluvionnaires à sol épais et affleurant dans les galeries forestières au relief relativement plat.

Figure 1 : Distribution des sites d'inventaire dans les quatre grandes régions



Les 4 types de sites ainsi étudiés (failles gréseuses à écoulement permanent, failles gréseuses à écoulement temporaire, galeries à écoulement permanent et galeries à écoulement temporaire) présentent un intérêt très différent pour les populations humaines. Si les galeries à écoulement permanent sont les milieux les plus exploités pour les activités agricoles du fait du faible dénivelé et de la permanence hydrique, les failles gréseuses à écoulement temporaire sont peu exploitées du fait de la non permanence de l'eau et de la topographie généralement abrupte. Cependant l'intérêt porté par les villageois pour les ressources de ces milieux, notamment l'extraction des produits non ligneux que sont les fruits, les gommés, les feuilles ou le gibier, s'appuie plus sur leur composition biologique que sur la nature du milieu même si ces deux caractéristiques sont par ailleurs liées.

Concrètement, les échantillonnages ont été réalisés dans un certain nombre de sites correspondant à 4 grandes régions du sud Mali : Le Bafing, le sud-est des Mts Mandingues, le Baoulé-sud et la région de Sikasso. Les deux premières appartiennent au plateau Mandingue, gréseux qui culmine à 794m d'altitude et traversé par les rivières Bafing et Bakoye qui se rejoignent pour former le fleuve Sénégal. Avec une pluviométrie annuelle de plus de 1000mm, elles font partie de la zone de végétation soudanienne d'après Arbonnier (2000). Une caractéristique topographique de cette région est la présence de faille d'extension variée, zones d'effondrement géologiques à végétation dense. Parmi les espèces d'arbres emblématiques de cette région figurent l'endémique *Gilletiodendron glandulosum*, ainsi que *Guibourtia copallifera*, qui, comme *G. glandulosum*, appartient à

un genre à affinités biogéographiques avec la zone de forêt humide guinéo-congolaise (Duvall 2000, 2003).

Les deux autres zones d'étude sont situées dans la région vallonnée bordant la Guinée, la Côte d'Ivoire et le Burkina-Faso, traversée par de grands affluents du fleuve Niger coulant du sud vers le nord comme le Baoulé et la Bagoé (affluents du Bani, lui-même affluent du Niger). Reçevant entre 1000 et 1200mm de pluie par an, elles appartiennent aux zones de végétation soudanienne à soudano-guinéenne (Arbonnier 2000). Là, des forêts-galeries d'importance et de degré de préservation très divers sont présentes le long de la majorité des cours d'eau. Celle de la forêt classée de Farako, à l'est de Sikasso, caractérisée par une forte densité d'une espèce d'arbre caractéristique de la forêt humide, *Carapa procera*, est considérée par Dowsett-Lemaire & Dowsett (2005) comme la plus proche de la vraie forêt humide tropicale.

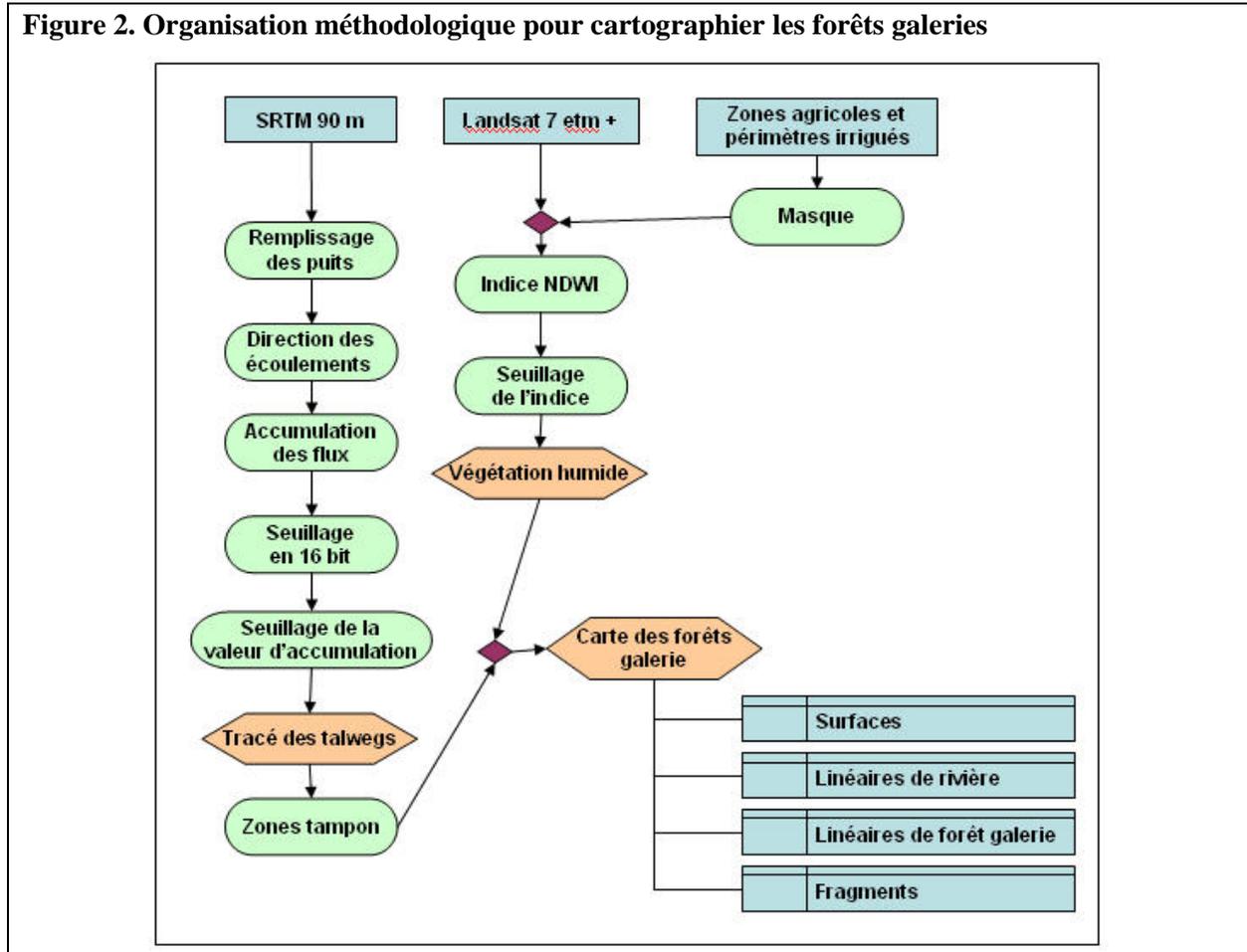
Dans la région du Bafing, plusieurs sites ont été échantillonnés le long du Bafing, du Bakoye et de leurs affluents, depuis Bindougou, Baléa ou Sanfinian à la frontière guinéenne au sud jusqu'aux environs du lac de barrage de Manantali au nord, et de Galamadji à l'ouest jusqu'à Kolokolo à l'est jusqu'à la falaise de Kita. Dans le sud-est des Mts Mandingues, les sites d'étude s'échelonnent entre Tombani au sud, Nafadji au nord-ouest jusqu'à la faille de Kenemamba à l'est, aux environs immédiats de Bamako. La région du Baoulé-sud a été la moins intensivement échantillonnée, avec quelques sites près, et au sud de Madina-Diassa, le long de la rivière Baoulé jusqu'aux abords du village de Dianguemerila à la frontière avec la Côte d'Ivoire. Dans la région de Sikasso, la zone d'étude s'est étendue de la rive droite de la Bagoé à l'ouest jusqu'à la forêt classée de Farako à l'est, le long des frontières avec la Côte d'Ivoire et le Burkina-Faso (Figure).

#### **A- L'extension des zones de forêt humides au Mali : Analyses cartographiques**

La méthode retenue pour la mise en évidence des cordons forestiers est basée sur la délimitation des cours d'eau à partir des données du modèle numérique d'élévation produit par le Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) à la résolution de 90m et la signature NDWI sur les images Landsat ETM+ avec la définition des seuils apportée par les mesures de terrain. Les images satellites en question ont une dimension approximative de 185km x 185km. Préalablement aux analyses, elles ont été amputées des zones se trouvant dans les pays voisins. Au final, les surfaces réellement traitées de chaque image en territoire malien sont les suivantes : Mts Mandingues : 1363460 ha, Piama : 3013602ha, Farako : 3376940 ha, Woroni : 321737ha et Bafing : 3002809ha.

La première étape est d'extraire le tracé des cours d'eau suivant des algorithmes, définissant les directions d'écoulement et les zones d'accumulation des eaux de ruissellement dans un bassin versant, utilisés en hydrologie. La seconde étape est le calcul de l'indice NDWI et le seuillage de cet indice pour mettre en évidence la forêt de type galerie. La troisième étape est la définition d'une zone tampon autour des zones axes d'écoulement pour collecter uniquement la végétation proche des cours d'eau. La quatrième étape croise les deux informations (zone tampon et forêt humide-NDWI) pour obtenir la forêt galerie (Figure 2).

Figure 2. Organisation méthodologique pour cartographier les forêts galeries



A partir de là, les surfaces de forêt humide ont pu être évaluées au niveau de toutes les zones humides des différentes images traitées, en prenant en compte des bandes de largeurs variables de part et d'autre de ces pièces d'eau. Les résultats (Tableau 1) font apparaître une forte disparité dans les surfaces de forêt, dépendantes de la zone considérée. Le Bafing renferme la surface de forêt la plus importante globalement (en particulier par rapport à Farako et Piama, de surface d'image traitée équivalente) mais la proportion relative de cette formation a tendance à être plus importante dans les sites de la région de Sikasso (Farako et Woroni) que dans les autres lorsqu'on s'écarte du centre des cours d'eau (rapport des valeurs 0-495m / 0-45m), suggérant une meilleure intégrité des zones forestières présentes.

Tableau 1 : Surface de forêt galerie aux abords de la rivière à partir de son centre d'écoulement

Image / surfaces en hectares	Dans la zone de 0 à 45 m	Dans la zone de 0 à 135 m	Dans la zone de 0 à 225 m	Dans la zone de 0 à 315 m	Dans la zone de 0 à 405 m	Dans la zone de 0 à 495 m
Mts Mandingues	8711	25075	31273	35561	40419	43327
Piama	5167	15889	19711	22200	25216	27121
Farako	6159	19721	25731	30291	35738	39049
Woroni	476	1595	2138	2530	2979	3256
Bafing	16143	48090	60613	69273	79289	85672

Cette tendance est confirmée dans la zone de Farako où le pourcentage de forêt humide aux abords des cours d'eau est le plus important, quelle que soit la largeur de la

bande considérée de part et d'autre (Tableau 2). Les pourcentages obtenus sont toutefois faibles dans tous les cas, témoignant de l'état de perturbation fort de cette forêt humide dans toutes les régions d'étude.

**Tableau 2 : Pourcentage de surface de forêt galerie aux abords de la rivière à partir de son centre d'écoulement par rapport à la surface de la bande observée autour de la rivière en s'éloignant du centre d'écoulement**

Image / pourcentage	Dans la zone de 0 à 45 m	Dans la zone de 0 à 135 m	Dans la zone de 0 à 225 m	Dans la zone de 0 à 315 m	Dans la zone de 0 à 405 m	Dans la zone de 0 à 495 m
Mts Mandingues	4,37	3,46	2,94	2,60	2,28	2,14
Piama	2,94	2,46	2,08	1,83	1,60	1,51
Farako	7,21	6,24	5,59	5,14	4,74	4,56
Woroni	2,80	2,56	2,33	2,12	1,89	1,79
Bafing	1,09	2,63	2,93	3,03	3,06	3,07

Une fois les thalwegs et les tâches de forêt galeries délimités, les longueurs de tronçons de cours d'eau hébergeant de la forêt galerie, ainsi que le nombre de fragments et la variation de la longueur en contact, peuvent être calculés. Le Tableau 3 illustre un exemple mettant en relation l'axe du thalweg et les taches de forêt galerie sur une largeur de 90m. Les longueurs moyennes de fragments forestiers y apparaissent les plus grandes sur les zones de Farako et du Bafing (forêt moins fragmentée), et les plus courtes sur la carte de Woroni (forêt plus fragmentée).

**Tableau 3 : Longueurs des linéaires de rivière accueillant de la forêt galerie sur l'axe du thalweg (largeur 90m)**

Image / longueurs en m	Nombre de fragments	Longueur minimum	Longueur maximum	Longueur moyenne	Longueur totale	Ecart-type	Variance
Mts Mandingues	23395	0.48	981.07	50.1902	1174199.8045	61.2599	3752.7717
Piama	14161	0.25	1072.84	49.2674	697675.9969	59.0420	3485.9579
Farako	13410	0.40	1196.20	61.1409	819899.2467	68.2410	4656.8335
Woroni	1230	0.11	530.92	44.0435	54173.4960	45.0450	2029.0520
Bafing	34987	0	948	61.5912	2154893	68.7164	4727.9412

## B- Les communautés biologiques des forêts du sud Mali

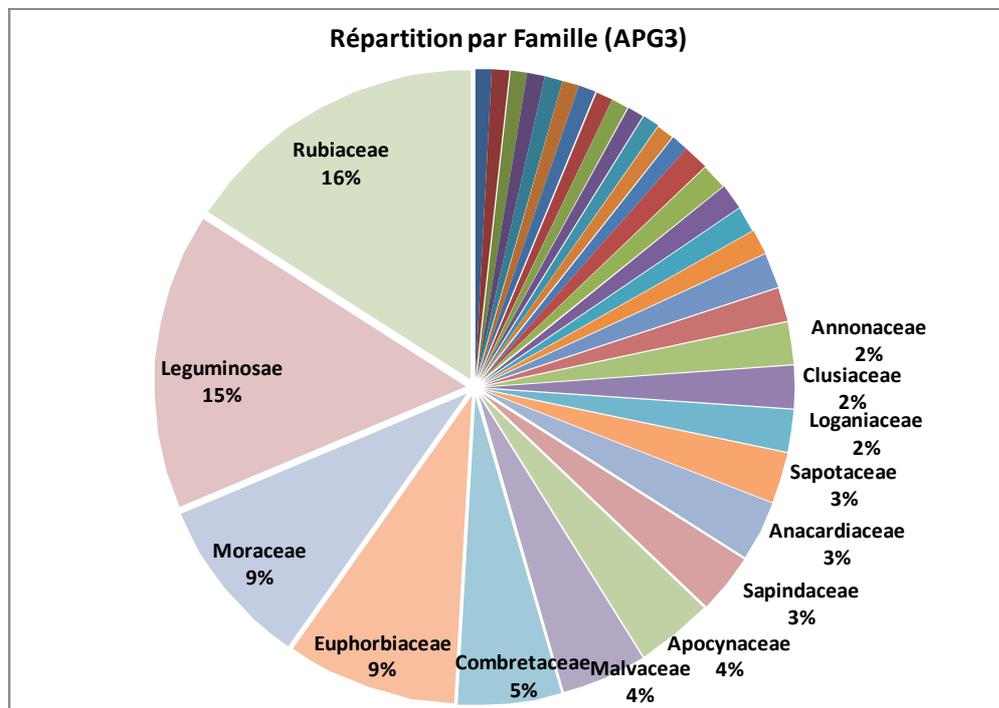
### 1- Les arbres

Le Mali est un pays qui ne possède pas de flore spécifique mais également un des rares pays d'Afrique qui ne possède pas d'Herbarium national de sorte que l'identification des plantes a été longue et laborieuse, réalisée principalement en utilisant les flores voisines (Hutchinson & al., 1954-1972 ; Aubréville, 1959, Berhaut, 1967, Hawthorne, 1990 ; Hawthorne & Jongkind, 2006) et en consultant des échantillons conservés au MNHN de Paris et la Liste des plantes vasculaires du Mali (Boudet et al., 1986) et qui constitue le seul ouvrage de référence sur les plantes présentes au Mali et référencées par au moins un herbier déposé au MNHN. L'analyse floristique des milieux a été réalisée sur la végétation ligneuse selon des lignes d'inventaire suivant les cordons forestiers, avec des points d'observation réalisés tous les 50m le long de ces lignes. A chaque point d'observation, les espèces observées non encore incluses dans l'inventaire étaient enregistrées. L'inventaire se terminait dès lors que les relevés effectués sur cinq points

successifs n'apportaient pas de nouveaux taxons. Ces inventaires ont été effectués sur 46 sites (cf. Figure 1) et 1501 points d'inventaires, choisis à partir d'observations d'images satellitaires, de prospections antérieures, d'accessibilité ou suite aux discussions avec les villageois. La classification des familles est conforme aux dernières recommandations (Angiosperm Phylogeny Group, APGIII, 2009), et les taxons nommés en suivant le référentiel établi par le Conservatoire de Genève et directement accessible en ligne à l'adresse: <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/index.php>

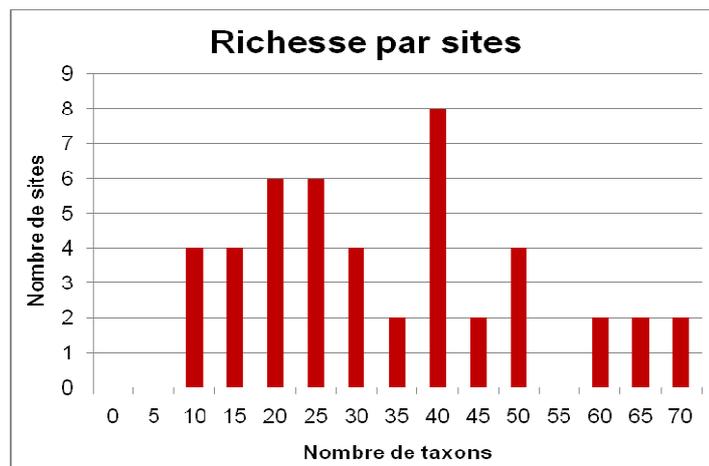
La distribution par famille (Figure 3) montre la prédominance des Rubiaceae et des Leguminosae (principalement la sous-famille des Caesalpinioideae) qui comptent respectivement 26 et 29 genres et un total de 36 et 35 taxons inféodés à ces milieux forestiers et absents de la savane voisine. En troisième place, la famille des Moraceae est principalement constituée du genre *Ficus*, abondant et diversifié (19 espèces), et de l'espèce *Antiaris toxicaria* var. *africana* Scott-Elliot ex A.Chev. dont nous ne connaissons que deux individus. Les familles les moins représentées sont constituées d'une seule espèce comme les Araliaceae (*Cussonia arborea* Hochst. ex A.Rich.), les Dilleniaceae (*Tetracera alnifolia* Willd.) ou les Erythroxylaceae (*Erythroxylum emarginatum* Thonn.). Les Combretaceae sont représentés par 11 taxons tous inféodés à la savane voisine et qui s'insèrent dans ces milieux à forte disponibilité hydrique en suivant les zones de plus forte perturbation. La présence et l'abondance des représentants de cette famille sont des indicateurs de la perturbation du milieu. Au total, les 10 familles les mieux représentées de cet inventaire recouvrent 162 taxons, soit les 2/3 des 240 taxons.

**Figure 3: Distribution des taxons par famille selon l'APG3**



Cette distribution cache une très grande variabilité de la richesse floristique inter-site s'expliquant par la taille des fragments, le type de milieu et le niveau des perturbations. Vingt sites seulement renferment au moins 40 taxons distincts (Figure 4)

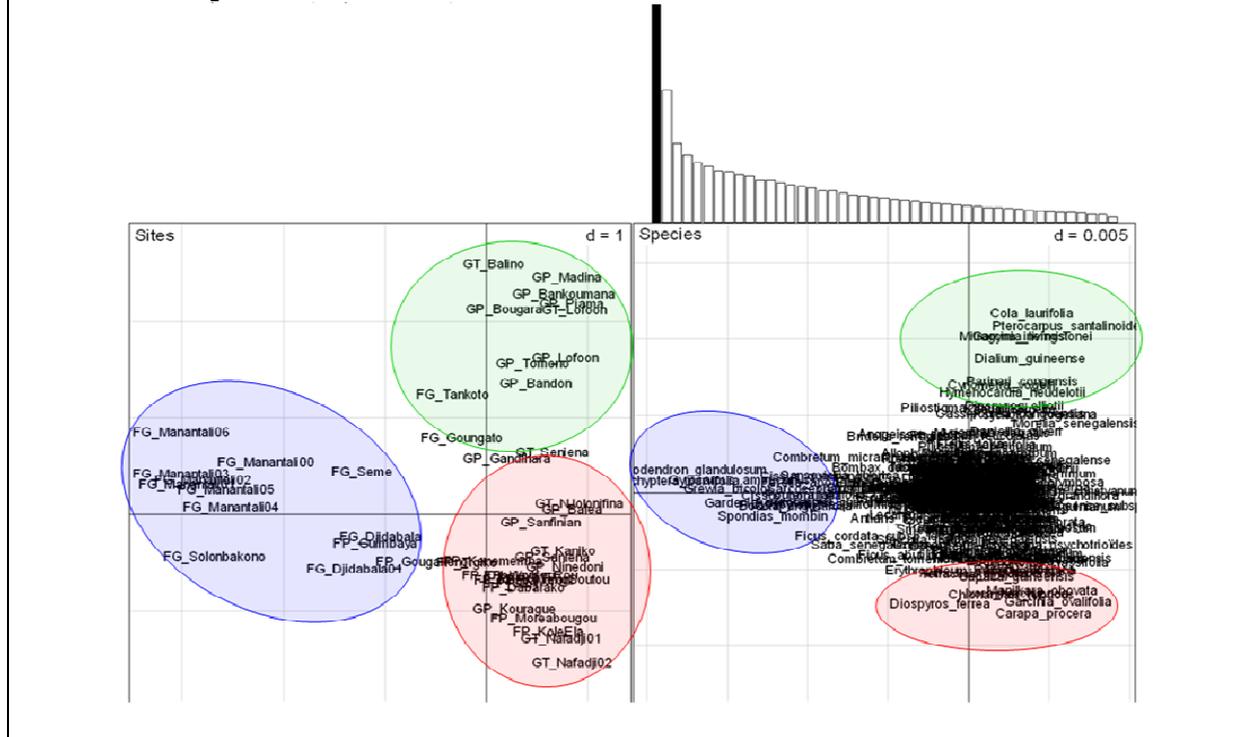
**Figure 4: Distribution des sites selon la richesse spécifique**



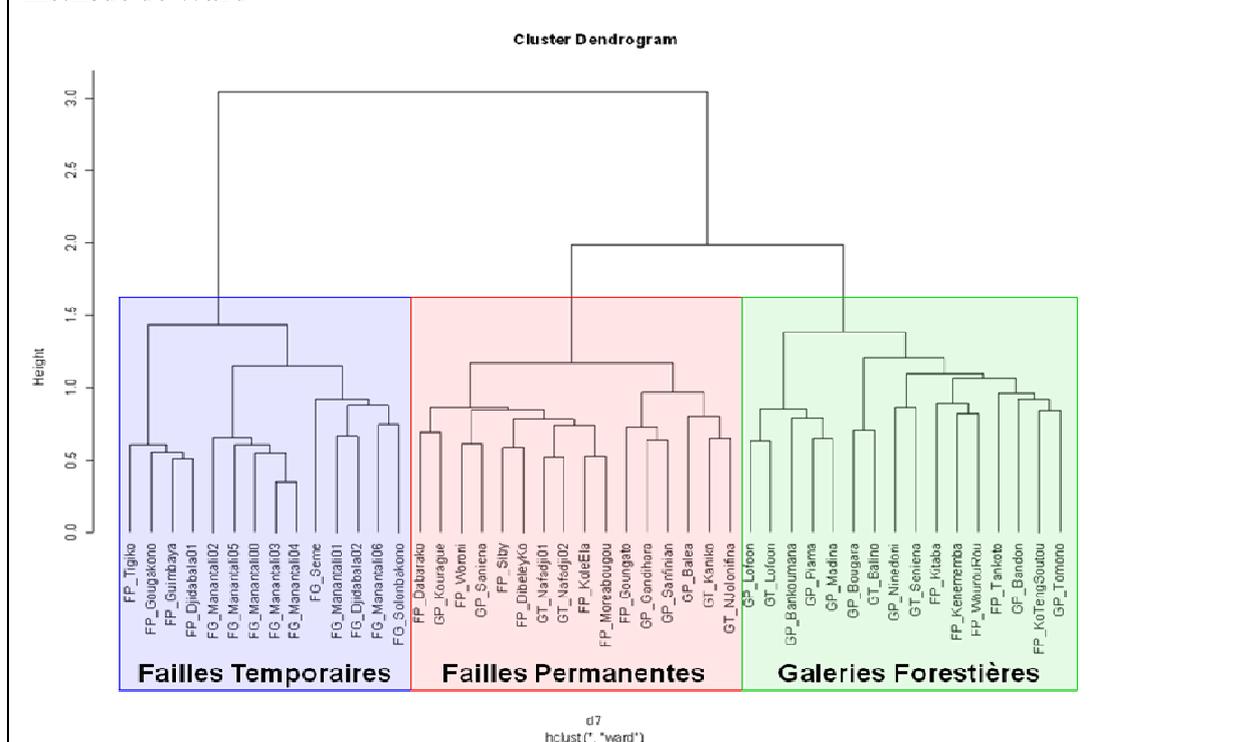
Cette variabilité rend difficile la comparaison des abondances entre sites. Nous avons donc établi une classification basée exclusivement sur la présence/absence d'un taxon dans un milieu. Dans ces conditions, les taxons rares (ex : *Antiaris toxicaria* var. *africana*, *Uapaca heudelotii*, *Pauridiantha afzelii*), généralement présents dans un seul site, contraignent et orientent fortement la classification. Le regroupement des sites a donc été réalisé à partir d'une analyse factorielle de correspondance non symétrique (NSCA) basé sur l'indice de Simpson donnant un poids plus important aux espèces communes afin de regrouper les sites selon un fond floristique commun et pondérer dans la classification, le poids des taxons rares. Les analyses statistiques ont été réalisées à partir du logiciel R (<http://cran.r-project.org/>) en utilisant les bibliothèques *ade4* (Thioulouse *et al.* 1997) et *diversity* (Pélissier & Couteron 2007; <http://pelissier.free.fr/Diversity.html>).

La figure 5 montre la classification des sites (gauche) résultant de la discrimination des groupes de taxons. L'axe 1 (horizontal) se rapporte à la disponibilité hydrique. Les sites et taxons situés vers la gauche correspondent à des zones marquées par une forte saisonnalité en termes de disponibilité hydrique (très importante durant la saison des pluies, nulle durant la saison sèche) tandis que ceux situés vers la droite disposent d'eau, sans excès, toute l'année et de manière continue. L'axe 2 (vertical) sépare les sites selon le substrat, failles gréseuses vers le bas et galeries forestières alluvionnaires vers le haut. Nous avons utilisé la métrique euclidienne selon la méthode de Ward qui consiste à agréger les observations qui font le moins varier l'inertie intra-classe pour réaliser le dendrogramme correspondant à cette classification (Figure 6).

**Figure 5: Classification des sites selon l'homogénéité floristique au travers du NSCA basé sur l'indice de Simpson**



**Figure 6 : Dendrogramme de classification basé sur la métrique euclidienne évaluée par la méthode de Ward**



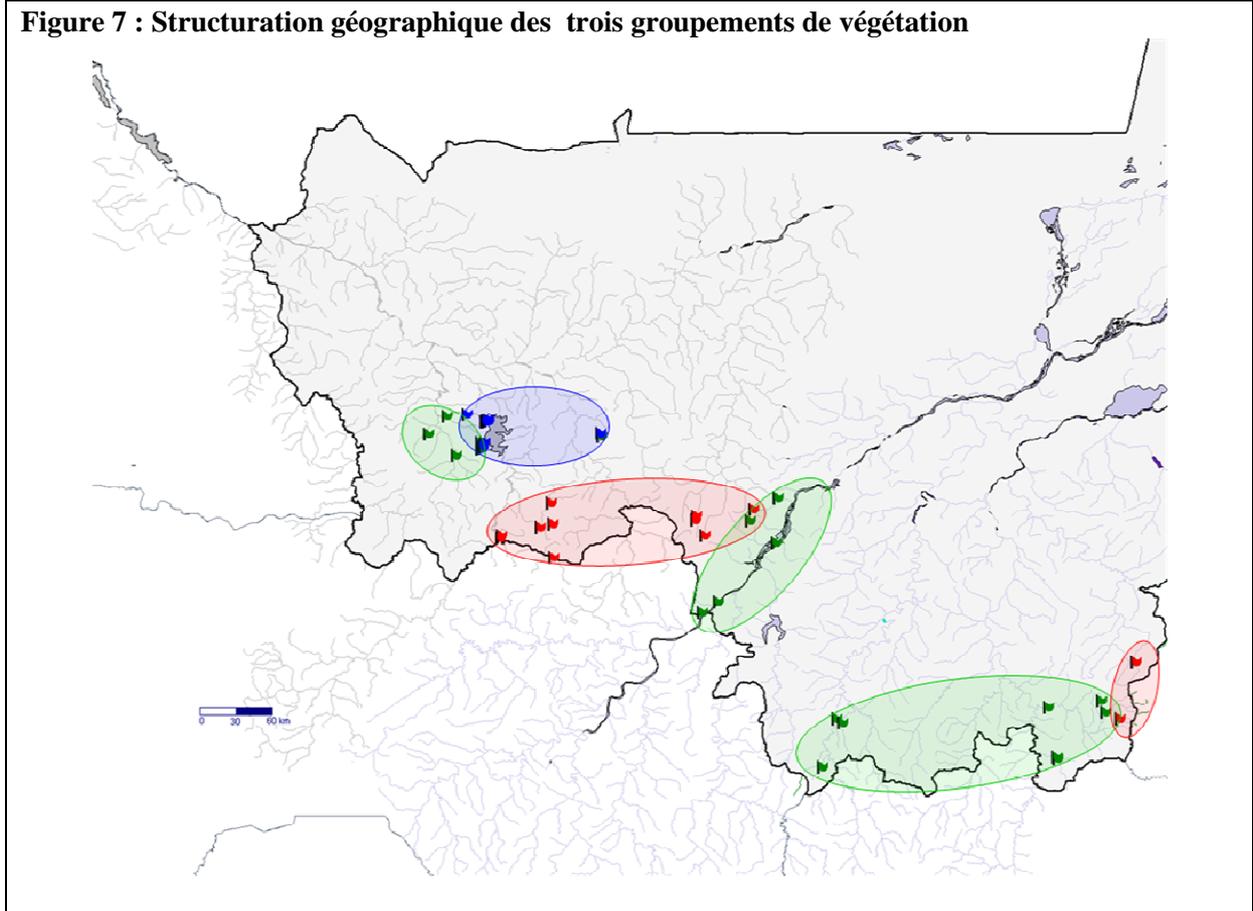
Trois groupes majeurs de milieu se distinguent grâce à cette classification :

a- Les failles temporaires, constituant une entité très différente des deux autres. Elles renferment des espèces très adaptées à une forte saisonnalité, c'est-à-dire supportant la violence de l'écoulement durant la saison pluvieuse puis une longue période d'aridité absolue. Les espèces clefs de ce groupe, classées par ordre d'importance dans la ségrégation de la classe, sont *Elachyptera parvifolia* (Oliv.) N. Hallé, *Gilletiodendron glandulosum* (Portères) J. Léonard, *Grewia bicolor* Juss., *Gyrocarpus americanus* Jacq., *Gardenia sokotensis* Hutch., *Spondias mombin* L., *Boscia angustifolia* A. Rich., *Pouteria alnifolia* (Baker) Roberty, *Feretia apodanthera* Delile, *Tetracera alnifolia* Willd., *Anthocleista djalonensis* A.Chev, *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan. Les sites appartenant à cette classe sont situés exclusivement dans la région du Bafing, sur la rive gauche de la rivière Bafing (Figure 7). Ils sont caractérisés par l'abondance du couple formé de l'espèce endémique *G. glandulosum* et d'une liane de sous-bois, *E. parvifolia*. Ces milieux sont peu soumis à la pression anthropique du fait du relief abrupt et de la très forte saisonnalité, rendant l'agriculture ou l'élevage impossibles sur ce substrat rocheux. Ils sont donc à la fois peu diversifiés du fait de la forte pression liée à la saisonnalité mais en revanche naturellement protégés du fait d'une relative inaccessibilité.

b- Les failles permanentes, représentant les milieux sur substrat gréseux qui bénéficient d'un écoulement permanent. Elles sont principalement caractérisées par *Carapa procera* DC., *Diospyros ferrea* (Willd.) Bakh., *Garcinia ovalifolia* Oliv., *Chionanthus niloticus* (Oliv.) Stearn, *Ixora brachypoda* DC., *Manilkara obovata* (Sabine & G.Don) J.H. Hemsl., *Uapaca guineensis* Müll.Arg. Ces sites se localisent dans deux régions : les Mts Mandingues, sur les reliefs qui marquent la continuité avec le Fouta Djallon de Guinée et qui longent la frontière de Guinée jusqu'aux falaises à l'ouest de Bamako, et le sud-est du pays, à la frontière du Burkina-Faso, dans la continuité de la falaise de Banfora (Figure 7). La caractéristique majeure de ces milieux réside dans le mélange d'un substrat gréseux et d'un écoulement permanent. Ces sites peu propices à l'agriculture du fait du substrat et du relief sont en revanche très favorables à l'installation d'une flore diversifiée du fait de l'écoulement permanent et de l'absence de saisonnalité.

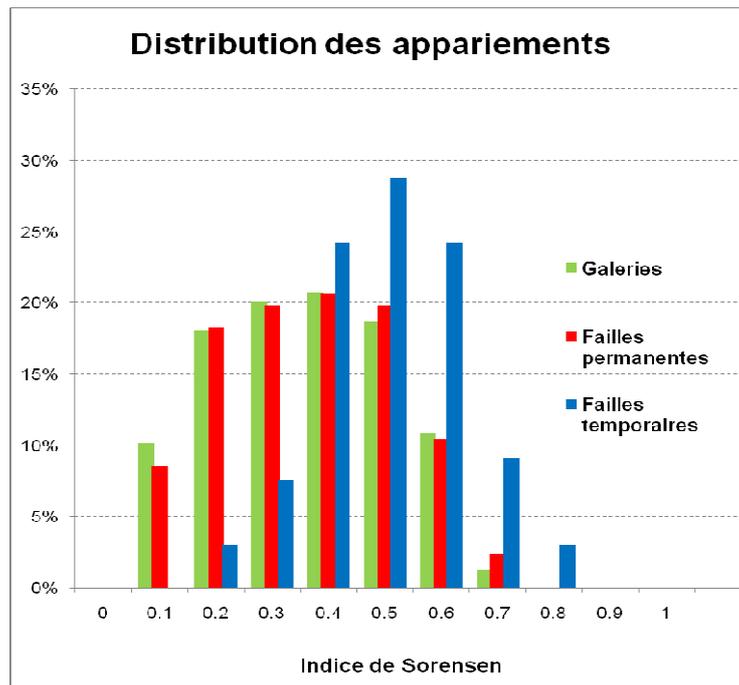
c- Les galeries forestières, se regroupant en une entité unique, indépendante du mode d'écoulement. Ce groupement est principalement associé à *Cola laurifolia* Mast., *Pterocarpus santalinoides* L'Hér. ex DC., *Garcinia livingstonei* T. Anderson, *Mitragyna inermis* (Willd.) K. Schum., *Dialium guineense* Willd., *Parinari congensis* Didr., *Cynometra vogelii* Hook.f., *Hymenocardia heudelotii* Müll.Arg., *Diospyros elliotii* (Hiern) F.White, *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh. Ces sites se retrouvent dans trois secteurs distincts : le bassin versant du fleuve Sénégal (incluant le Bafing et le Bakoye), le bassin versant du fleuve Niger en amont de Bamako, et l'extrême Sud (bassin du Bani ; Figure 7). Ces sites sont très favorables à la diversification floristique du fait de l'écoulement et du substrat. En revanche la pression anthropique est élevée en raison de l'intérêt de ces espaces pour l'exploitation agricoles ou le maraîchage sur les berges les moins abruptes. Dans ces milieux, les secteurs les mieux préservés se localisent dans les méandres abrupts des cours d'eau, peu propices à l'agriculture. Le site de Kouragué illustre de manière spectaculaire cette fragmentation du cours d'eau en relation avec l'accessibilité. Tant que les berges sont peu abruptes, elles sont cultivées tandis que les lambeaux de forêts subsistent exclusivement sur les zones les plus abruptes.

**Figure 7 : Structuration géographique des trois groupements de végétation**



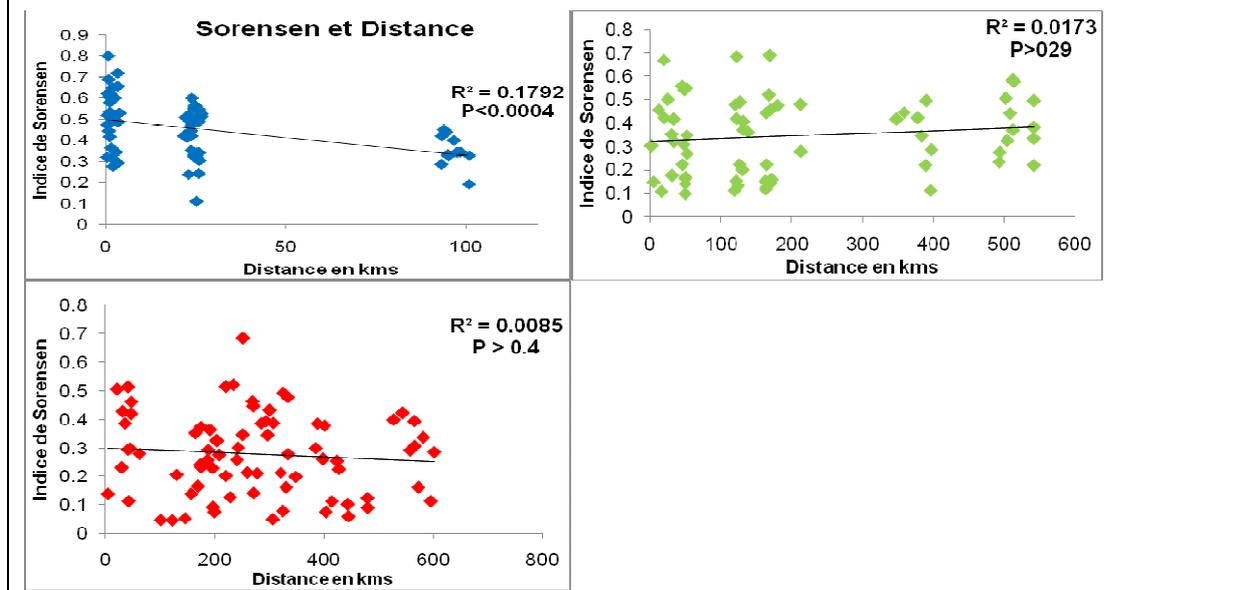
Ce regroupement selon la richesse floristique globale, pondéré par l'indice de Simpson, montre une adéquation avec les composantes physiques des sites, principalement le type de substrat, le relief et la saisonnalité de la disponibilité hydrique. Une sous-structuration géographique claire apparaît également. Nous avons alors tenté d'estimer le degré de similitude entre les sites, d'un point de vue spatial mais également du point de vue de la composition floristique. Au niveau des communautés d'arbres, la similitude floristique est évaluée en quantifiant le recouvrement de leur composition floristique au travers de l'indice de Sorensen qui représente une mesure rapide de la diversité beta. Cet indice varie entre 0 lorsqu'il n'y a aucune espèce commune et 1 lorsque les communautés ont exactement la même composition floristique. La distribution de ces appariements pour tous les sites regroupés par classe de milieux est illustrée sur la figure 8.

**Figure 8 : Distribution des appariements des 46 sites regroupés par type de milieu**



Les failles permanentes et les galeries forestières partagent à peu près la même distribution des indices de similitude (moyennes de 0,3 et 0,27, respectivement), tandis que les failles temporaires sont plus nettement homogènes (moyenne de 0,45) vis-à-vis de leur composition floristique. Par ailleurs la similitude entre les sites montre une corrélation qui décroît de manière significative avec la distance pour le groupe des failles temporaires tandis qu'il n'existe aucune corrélation significative pour les deux autres groupes (Figure 9). Ceci montre que les failles temporaires à *G. glandulosum* sont plus similaires d'un point de vue floristique que les deux autres groupes et que cette similitude est dépendante de la distance. En d'autres termes, la distance est le facteur le plus explicatif de la distinction des flores entre failles, tandis qu'elle n'intervient pas dans les autres milieux. Cette différence peut en partie s'expliquer par les taxons présents dans ces milieux. En se référant aux espèces clés de ces groupements (cf. plus haut), on constate que les espèces les plus discriminantes du groupe des failles à écoulement temporaires sont parallèlement des espèces à dispersion passive, c'est-à-dire que leurs diaspores sont transportées par anémochorie ou barochorie. C'est le cas notamment de *E. parvifolia*, *G. glandulosum*, *G. americanus*. Au contraire les espèces clés des autres milieux sont nettement zoochores et font appel à des disperseurs terrestres (*C. procera*, *D. ferrea*, *M. obovata*, *Parinari congensis*, *Cola laurifolia*, *G. ovalifolia*, *G. livingstonei*) ou aériens (*D. guineense*, *C. niloticus*, *U. guineensis* *Ficus spp.*)

**Figure 9: Corrélations linéaires entre les indices de Sorensen et la distance entre les sites**



## 2- Les Rongeurs

Les petits mammifères terrestres ont été capturés à l'aide de pièges installés selon des lignes de 20 à 50 pièges dans différents habitats sur chaque site. Les rongeurs capturés ont été soit sacrifiés sur le terrain, soit ramenés au laboratoire lorsque l'établissement de leur caryotype était nécessaire (genres possédant des espèces jumelles, ou espèces rares). Les mesures corporelles classiques ont été prises à l'autopsie et des échantillons d'organes prélevés en éthanol 95% pour analyses moléculaires ultérieures. Les tubes digestifs d'un certain nombre de spécimens ont été collectés en éthanol 70%, pour analyses parasitologiques. L'analyse chromosomique a été réalisée à partir d'extraits de moelle osseuse selon le protocole décrit dans Granjon & Dobigny (2003). En combinant les informations recueillies, l'ensemble des individus capturés a pu être identifié à l'espèce (voir Granjon & Duplantier 2009 pour une synthèse sur la taxonomie des rongeurs sahélo-soudaniens). Un certain nombre d'observations opportuniste ont concerné en particulier les écureuils et autres espèces diurnes ou nocturnes.

Les données de distribution des rongeurs capturés ont été traitées de façon régionale, selon les 4 grandes régions définies ci-dessus (Bafing, sud-est Mts Mandingues, Baoulé-sud et région de Sikasso), ainsi que selon les grands types d'habitat suivants :

- Forêt humide peu/pas dégradée, incluant forêts-galeries, forêts sacrées et îlots forestiers de plaine (bas-fond).

- Forêt humide dégradée, correspondant aux mêmes habitats que précédemment, mais avec des signes forts d'influence anthropique (arbres coupés pour bois de chauffe, jardins et champs sur ou près des berges, colonisation par bambous après passage de feu...)

- Forêt de faille, avec courant d'eau permanent ou temporaire. Malgré les différences botaniques entre ces 2 catégories de failles (voir ci-dessus), leur similarité en terme de structure et de substrat, paramètres *a priori* importants pour les rongeurs, nous a incité à les considérer ensemble dans cette analyse.

- Savanne arborée (incluant la forêt sèche), représentant le principal type d'habitat du sud Mali, et la matrice dans laquelle les fragments forestiers sont enchâssés.

- Aires cultivées (champs et jardins), pendant ou en dehors des périodes de cultures, et zones herbeuses.

- Villages

Des courbes d'accumulation (ou de « raréfaction ») d'espèces ont été générées pour chacune des 4 principales régions d'étude, ainsi que pour l'ensemble du jeu de données (programme EstimateS, Version 7.5, Colwell 2005), à partir d'unités d'échantillonnage constituées par toutes les captures et observations enregistrées dans un habitat donné d'une des 4 régions, à une période donnée, en utilisant la fonction « Mao Tau » (Colwell et al. 2004). Le nombre d'espèces total attendu a été extrapolé par trois estimateurs non paramétriques (ICE: Incidence-based Coverage Estimator, Jackknife 1, Jackknife 2; Colwell 2005). La richesse spécifique (S) et l'indice de Simpson défini comme  $D_s = \sum_1^i [n_i*(n_i-1)] / [N*(N-1)]$ , avec  $n_i$  = le nombre d'individus de l'espèce  $i$  et  $N$  = le nombre total d'individus de l'échantillon, ont également été calculées, ainsi que plusieurs indices de similarité entre les communautés de rongeurs des différentes régions échantillonnées : indice de Jaccard, de Sørensen, de Bray-Curtis et de Morisita-Horn.

Au total, 9507 nuit.pièges ont permis la capture de 741 individus appartenant à 19 espèces de rongeurs. Des captures manuelles occasionnelles ont permis d'ajouter 4 spécimens de 2 espèces supplémentaires (*Steatomys caurinus* et *Mus mattheyi*), et des observations de 3 autres espèces ont également été réalisées (*Felovia vae*, *Graphiurus kelleni* et *Thryonomys swinderianus*). Un total de 24 espèces a donc été finalement enregistré, dont la plupart appartiennent à la famille des Muridae (Tableau 4).

Parmi eux, les Murinae sont représentés par *Praomys rostratus*, *P. daltoni* (syn. *Myomys daltoni*), *Mastomys erythroleucus*, *M. natalensis*, *Lemniscomys linulus*, *L. striatus* et *L. zebra*, *Arvicanthis ansorgei*, *Mus minutoides*, *M. mattheyi* et *Dasymys rufulus*, les Gerbillinae par *Gerbilliscus* (syn. *Tatera*) *gambianus*, *G. guineae* et *Taterillus gracilis*, et les Deomyinae par *Acomys johannis* et *Uranomys ruddi*. La famille des Nesomyidae est représentée par le Dendromurinae *Steatomys caurinus* et le Cricetomyinae *Cricetomys gambianus*, les Sciuridae (écureuils) par *Xerus erythropus*, *Heliosciurus gambianus* et *Funisciurus pyrropus*, les Gliridae par *Graphiurus kelleni*, les Thryonomyidae par *Thryonomys swinderianus* et les Ctenodactylidae par *Felovia vae* (Tableau 4).

Quatre espèces apparaissent très dominantes dans cette liste: *Praomys rostratus*, *P. daltoni*, *Mastomys erythroleucus* et *M. natalensis*, représentant plus de 88% des captures de rongeurs. L'effort de piégeage a été plus important dans le Bafing (3853 nuits.pièges) et dans la région de Sikasso (3386 n.p.) que dans les Mts Mandingues (1327 n.p.) ou le Baoulé-sud (944 n.p.). La richesse spécifique a été trouvée légèrement plus forte dans la région de Sikasso ( $S = 16$  espèces) que dans celles des Mts Mandingues ou du Bafing ( $S = 14$  espèces). La région du Baoulé-sud n'a livré que 7 espèces, mais c'est celle où à la fois l'effort de piégeage et la diversité des habitats échantillonnés ont été les plus faibles

**Tableau 4 : Liste des espèces de rongeurs échantillonnées dans les 4 régions d'étude au sud Mali**

Espèce	Sud-est Mts				Total
	Bafing	Mandingues	Baoulé sud	Sikasso	
<i>Praomys rostratus</i>	56	46	18	176	296
<i>Praomys daltoni</i>	84	59	7	13	163
<i>Mastomys erythroleucus</i>	47	24	17	49	137
<i>Mastomys natalensis</i>	39	4	7	14	64
<i>Acomys johannis</i>				15	15
<i>Lemniscomys linulus</i>	2	9			11
<i>Gerbilliscus gambianus</i>	10	1			11
<i>Lemniscomys striatus</i>				8	8
<i>Taterillus gracilis</i>		5		2	7
<i>Lemniscomys zebra</i>	2	4			6
<i>Arvicanthis ansorgei</i>		3		1	4
<i>Gerbilliscus guineae</i>	2	1		1	4
<i>Uranomys ruddi</i>	1			2	3
<i>Xerus erythropus</i>		2		1 (+obs)	3
<i>Cricetomys gambianus</i>		1		2	3
<i>Heliosciurus gambianus</i>	1 (+obs)	1*		(4)	2
<i>Steatomys caurinus</i>		2*			2
<i>Mus minutoides</i>				2	2
<i>Funisciurus pyrropus</i>			obs	2 (+obs)	2
<i>Mus mattheyi</i>	1*				1
<i>Dasymys rufulus</i>			1		1
<i>Felovia vae</i>	obs				
<i>Graphiurus kelleni</i>	obs				
<i>Thyonomys swinderianus</i>	obs		obs	obs	
Nombre de nuits.pièges	3853	1324	944	3386	9507
Nombre de captures	245	162	50	288	745
Nombre d'espèces	14	14	7	16	24
Indice de Simpson D <sub>s</sub>	0.769	0.763	0.730	0.591	0.753

\* capture manuelle (après excavation pour *S.caurinus*); observations entre parenthèses  
**Nombres en gras utilisés dans les estimateurs de diversité**

**Tableau 5: Indices de similarité (Sorensen au-dessus de la diagonale, Morisita-Horn en-dessous, en gras les valeurs les plus élevées, soulignées les valeurs les moins élevées) et de diversité (Simpson, en italique) entre et dans les 4 régions d'étude.**

	Bafing	Sud-est Mts Mandingues	Baoulé sud	Sikasso
<b>Bafing</b>	0.769	<b>0.72</b>	0.5	0.48
<b>Sud-est Mts Mandingues</b>	<b>0.939</b>	0.763	<u>0.421</u>	0.643
<b>Baoulé sud</b>	0.84	0.787	0.730	<u>0.421</u>
<b>Sikasso</b>	<u>0.607</u>	0.665	0.837	0.591

L'indice de diversité de Simpson est apparu le plus faible dans l'échantillon de la région de Sikasso (Tableau 5), du fait de la sur-représentation de *P. rostratus* dans cet échantillon, lui-même lié à l'importance de l'effort de piégeage consenti dans les habitats forestiers humides (voir ci-dessous). Aucune des 4 courbes régionales d'accumulation n'atteint un plateau, à l'exception de celle de la région de Sikasso qui s'en approche (Figure 9), témoignant du fait que l'effort d'échantillonnage n'a en général pas été suffisant pour obtenir l'ensemble des espèces supposées présentes. En revanche, la courbe de raréfaction globale atteint une asymptote, le nombre d'espèces attendues oscillant entre 26 (ICE) et 32 (Jackknife 2), contre les 24 effectivement enregistrées.

Les indices de similarité de Jaccard et de Sørensen ont produit le même arrangement des paires de sites, et les 4 estimateurs utilisés ont classé les régions du Bafing et du sud-est des Mts Mandingues comme les plus similaires du point de vue de la composition de leurs communautés de rongeurs. Les plus dissemblables ont été soit la paire « Baoulé sud / Sikasso » (indices de Jaccard, de Sørensen et de Bray-Curtis), soit la paire « Bafing / Sikasso » (indice de Morisita-Horn; Tableau 5).

Lorsque les données sont distribuées par type d'habitat, quelques tendances nettes sont à noter quant à la distribution des espèces de rongeurs (données de capture, Tableau 6) :

- L'espèce dominante en forêt humide peu ou pas dégradée est de loin *Praomys rostratus*, présent dans la majorité des sites échantillonnés et numériquement dominant. *Praomys daltoni* et, dans une moindre mesure, *Mastomys erythroleucus*, ont également été trouvés dans cet habitat, qui n'a pas pu être échantillonné dans la région des Mts Mandingues où l'empreinte de l'homme sur cet habitat est toujours forte. Dans la région de Sikasso, la communauté de rongeurs de cet habitat est particulièrement riche du fait du caractère mosaïque de l'environnement qui met en contacts l'habitat forestier avec d'autres types d'habitats favorables à une gamme importante d'espèces (pentes rocheuses à *Acomys johannis*, zones herbeuses à *Lemniscomys striatus*...).

- Dans les zones de forêt humide dégradée (non échantillonnées au Baoulé sud), *P. rostratus* reste abondant, mais *P. daltoni* est rencontré plus régulièrement, dominant même *P. rostratus* dans la région du Bafing.

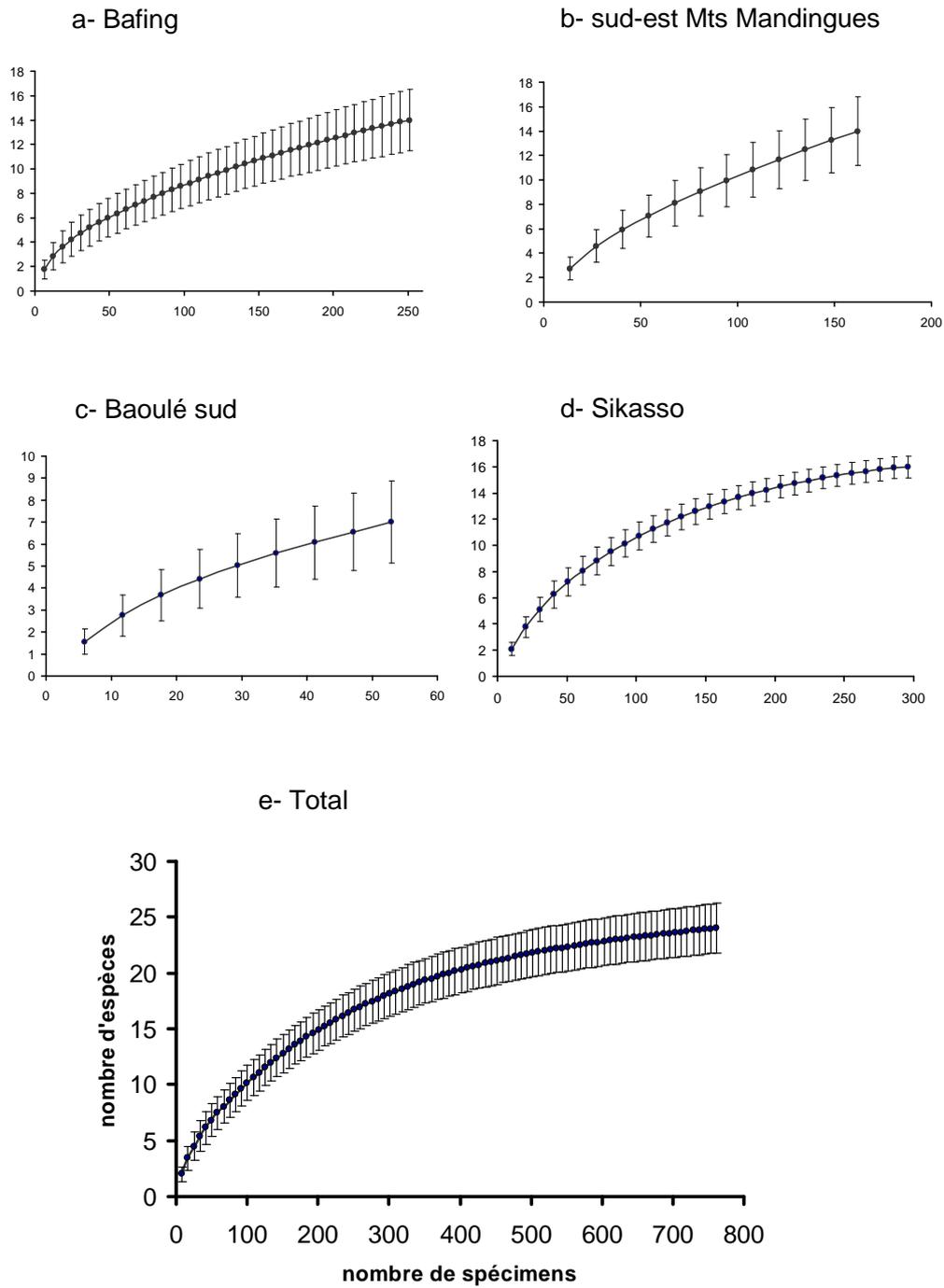
- Les peuplements de rongeurs des forêts de failles caractéristiques des Mts Mandingues et du Bafing sont dominés largement par *P. daltoni*. La diversité de cet habitat est par ailleurs très faible, *P. rostratus* en particulier en étant complètement absent.

- L'habitat de savane soudanienne est dominé par *M. erythroleucus* et *P. daltoni*, accompagnés par *A. johannis* dans la région de Sikasso. La diversité spécifique dans cet habitat est généralement forte, avec au total 9 espèces capturées.

- Les zones herbeuses et cultivées renferment une diversité maximale d'espèces (15 au total), la plupart ayant été trouvées très occasionnellement. Cet habitat est dominé nettement par *M. erythroleucus*.

- *Mastomys natalensis* a été l'espèce commensale dominante, accompagnée seulement de quelques *P. daltoni* et *M. erythroleucus* dans les villages du Bafing.

**Figure 9: Courbes d'accumulation d'espèces (+/- 1 écart-type) en fonction du nombre de captures dans des ensembles régionaux et globalement au sud Mali**



**Tableau 6 : Distribution des espèces de rongeurs par région et habitat (n-p= nuit.piège ; u.e.=unité d'échantillonnage, cf texte)**

	Bafing		Mts Mandingues		Baoulé-sud		Sikasso	
	Nb n.p. (Nb unité d'éch.)	Espèces (Nb capture nb - Nb u.e.)	Nb n.p. (Nb unité d'éch.)	Espèces (Nb capture nb - Nb u.e.)	Nb n.p. (Nb unité d'éch.)	Espèces (Nb capture nb - Nb u.e.)	Nb n.p. (Nb unité d'éch.)	Espèces (Nb capture nb - Nb u.e.)
Forêt humide peu / pas dégradée (forêt galerie, forêt sacrée, îlot forestier de bas-fond...)	1396	<i>P. rostratus</i> (51 - 10)			584	<i>P. rostratus</i> (18 - 4)	2143	<i>P. rostratus</i> (166 - 10)
	(12)	<i>P. daltoni</i> (37 - 9)			(4)	<i>P. daltoni</i> (4 - 2)	(11)	<i>M. erythroleucus</i> (16 - 3)
		<i>M. erythroleucus</i> (12 - 4)						<i>P. daltoni</i> (7 - 3)
							<i>A. johannis</i> (2 - 2)	
							<i>C. gambianus</i> (1 - 1)	
							<i>M. minutoides</i> (1 - 1)	
							<i>L. striatus</i> (1 - 1)	
Forêt humide dégradée (forêt galerie, forêt sacrée, îlot forestier de bas-fond...)	405	<i>P. daltoni</i> (12 - 6)	640	<i>P. rostratus</i> (46 - 5)			50	<i>P. rostratus</i> (9 - 2)
	(8)	<i>P. rostratus</i> (4 - 2)	(5)	<i>P. daltoni</i> (16 - 5)			(2)	<i>F. pyrropus</i> (1 - 1)
		<i>M. erythroleucus</i> (3 - 2)		<i>M. erythroleucus</i> (15 - 3)				
			<i>A. ansorgei</i> (1 - 1)					
Forêt de faille	772	<i>P. daltoni</i> (16 - 5)	300	<i>P. daltoni</i> (42 - 2)				
	-6	<i>M. erythroleucus</i> (4 - 2)	(2)	<i>X. erythropus</i> (2 - 1)				
		<i>H. gambianus</i> (1 - 1)						
Savanne soudanienne	405	<i>P. daltoni</i> (5 - 2)	261	<i>M. erythroleucus</i> (6 - 2)	190	<i>M. erythroleucus</i> (10 - 1)	827	<i>A. johannis</i> (13 - 3)
	(6)	<i>G. gambianus</i> (5 - 1)	(2)	<i>L. linulus</i> (5 - 1)	(2)	<i>P. daltoni</i> (3 - 2)	(7)	<i>M. erythroleucus</i> (12 - 3)
		<i>M. erythroleucus</i> (3 - 2)		<i>A. ansorgei</i> (2 - 1)				<i>P. daltoni</i> (6 - 1)
		<i>P. rostratus</i> (1 - 1)		<i>G. gambianus</i> sp. (1 - 1)				<i>T. gracilis</i> (2 - 2)
				<i>G. guineae</i> (1-1)				<i>G. guineae</i> (1 - 1)
			<i>P. daltoni</i> (1 - 1)					
Zones cultivées / herbeuses	644	<i>M. erythroleucus</i> (24 - 3)	80	<i>T. gracilis</i> (5 - 1)	140	<i>M. erythroleucus</i> (7 - 1)	304	<i>M. erythroleucus</i> (21 - 5)
	(6)	<i>P. daltoni</i> (7 - 4)	(2)	<i>L. linulus</i> (4 - 1)	(2)	<i>D. rufulus</i> (1 - 1)	(6)	<i>L. striatus</i> (7 - 4)
		<i>G. gambianus</i> (5 - 2)		<i>L. zebra</i> (4 - 1)				<i>U. ruddi</i> (2 - 2)
		<i>L. linulus</i> (2 - 1)		<i>M. erythroleucus</i> (3 - 2)				<i>P. rostratus</i> (1 - 1)
		<i>L. zebra</i> (2 - 1)						<i>A. ansorgei</i> (1 - 1)
		<i>G. guineae</i> (1 - 1)						<i>C. gambianus</i> (1 - 1)
		<i>U. ruddi</i> (1 - 1)						<i>M. minutoides</i> (1 - 1)
	<i>G. guineae</i> (1 - 1)						<i>X. erythropus</i> (1 - 1)	
Villages	231	<i>M. natalensis</i> (39 - 3)	43	<i>M. natalensis</i> (4 - 1)	30	<i>M. natalensis</i> (7 - 1)	62	<i>M. natalensis</i> (14 - 3)
	(3)	<i>P. daltoni</i> (7 - 3)	(1)		(1)		(3)	
		<i>M. erythroleucus</i> (1 - 1)						

\* inclut les différentes visites d'un même site

### 3- Les Chauves-souris

Peu de travaux ont été consacrés spécifiquement aux chauves-souris du Mali (e.g. Hatt 1928, Braestrup 1935, Sanborn 1936, Rousselot 1950, Ag Sidiyène & Tranier 1990, Dobigny *et al.* 1999, Meinig 2000, Al-Jumaily 2002), et les études récentes à ce sujet sont particulièrement rares. Elles concernent en particulier le centre du Mali, et peu se sont intéressées aux régions du sud plus forestières. Sur la base de ces informations, un total de 24 espèces a été répertorié du Mali, ce qui est très peu par rapport aux autres pays de la zone soudano-sahélienne d’Afrique de l’Ouest (e.g. Sénégal avec 58 espèces, Bénin avec 50 espèces, Burkina Faso avec 36 espèces, et même un petit pays comme la Gambie avec 34 espèces). A partir de là, un des buts de notre projet était d’évaluer la diversité globale des chauves-souris au Mali, avec une attention spéciale aux régions peu ou pas échantillonnées, afin de combler des vides cruciaux de distribution. En particulier, nous voulions évaluer la contribution des habitats forestiers rencontrés le long des cours d’eau et des failles à cette diversité, en testant l’hypothèse que ces habitats abritent des espèces ayant leur centre de répartition dans les zones forestières plus au sud. En effet, des recherches intensives menées ces dernières années au nord-est de la Côte d’Ivoire ont montré que la forte hétérogénéité d’habitat caractérisant la transition forêt-savane de la zone guinéenne promouvait de façon significative la richesse spécifique à l’échelle du paysage, des habitats tels que forêts-galeries ou îlots forestiers renfermant un grand nombre d’espèces habituellement rencontrées beaucoup plus au sud (Fahr & Kalko 2010). En conséquence, nous nous attendions à ce que certaines espèces classées comme forestières aient une distribution s’étendant encore plus au nord que le nord-est de la Côte d’Ivoire, contribuant ainsi à la diversité spécifique des chauves-souris au sud du Mali. Ces échantillonnages conduits dans le cadre du projet Ecofor, visaient ainsi à évaluer la contribution des îlots forestiers à la diversité globale des chauves-souris.

Nous avons utilisé des filets de 6m et 12m de long (Vohwinkel, Germany: hauteur 2,8m, 5 poches, maille 16mm, fil de 2 x 70 denier), essentiellement tendus sur des perches au niveau du sol, selon une méthode standard. Afin de maximiser le succès de capture, les filets étaient placés au travers de passages supposés de chauves-souris en forêt ou en savane, ou bien au-dessus de rivières ou autres pièces d’eau. Entre 1 et 6 filets étaient tendus par site, au cours de 79 nuits au total. Les filets étaient ouverts avant la tombée de la nuit et vérifiés toutes les 30mn. Ils étaient fermés à des heures variables en fonction de leur rendement de capture, mais généralement avant minuit. L’effort total de capture durant les sessions de terrain entre mai 2007 et juillet 2008 a représenté 985,5 “heure.filet” (en équivalent de filets de 12m, Tableau 7). Les 4 régions décrites plus haut ont été échantillonnées : Bafing, Mts Mandingues, Baoulé sud et région de Sikasso.

Le succès de capture a été calculé comme le nombre individus capturés par filet par heure. Parallèlement, nous avons utilisé un piège-harpe à 4 rangées de fils (4 m<sup>2</sup> de surface de capture area, fabrication Université d’Ulm), pour un total de 214,2 heures. Pendant la journée, des captures occasionnelles ont été effectuées à l’aide d’un filet à papillon au niveau de gîtes diurnes accessibles.

Les spécimens capturés étaient conservés individuellement dans des sachets en tissu jusqu’à leur étude sur le terrain. Les mesures standard étaient alors prises (masse corporelle, longueur de l’avant-bras, de la queue, de la tête+corps, de l’oreille, du pied et du tibia) à l’aide d’un peson (Pesola 10g, 30g, 100g, 300g) et d’un pied à coulisse (Mahr 16 U), avec une précision de 0,1mm. Le sexe, l’âge et la condition reproductive étaient notés, et l’identification faite suivant Rosevear (1965) et Hayman & Hill (1971). La majorité des individus étaient alors relâchés, mais un certain nombre a été conservé en

éthanol 70% en vue de compléments de détermination et pour constituer une collection de référence, actuellement déposée chez J. Fahr, à l'université d'Ulm (RCJF). Des tissus pour études génétiques ont été prélevés en éthanol 95% (petits fragments de patagium pour les individus relâchés).

Les cris d'écholocation des Rhinolophidés et Hipposideridés tenus en main ont été enregistrés à l'aide d'un « bat detector » Pettersson D240x, en utilisant un mode d'expansion de 10 ou 20 fois. Ces cris étaient transférés à un Walkman Sony Professional WM-D6C, pour analyse ultérieure grâce au logiciel BatSound (Version 1.3.1). La fréquence CF d'amplitude maximale a été mesurée grâce au spectrogramme (Hanning window, FFT size 512) pour caractériser les cris d'écholocation et aider à l'identification des taxons problématiques.

**Tableau 7: Effort de capture (nh: nombre total d' « heure.filet » par région d'étude, calculé en équivalents de filets de 12m; th: nombre total d' « heure.harpe » par région d'étude) et succès de capture (nombre d'individus ; nb d'indiv. par « heure.filet » ou par « heure.harpe »), période 2007-2008.**

Région	Filets			Harpe		
	effort [nh]	n° d'individus	Nb ind / nh	effort [th]	n° d'individus	Nb ind / th
Sikasso	262.5	206	0.78	46.7	2	0.04
Baoulé sud	140.4	74	0.53	65.3	11	0.17
Mts Mandingues	119.8	72	0.60	29.3	39	1.33
Bafing	462.8	316	0.68	72.9	56	0.77
Total	985.5	668	67.80	214.2	108	0.50

Des échantillonnages préliminaires et opportunistes avaient été initiés préalablement au démarrage du projet, entre 2001 et 2006 (27 nuits au total). Cent dix-neuf spécimens de 25 espèces avaient alors été capturés, en provenance des 4 mêmes régions du sud Mali. En 2007-2008, des sessions de terrain plus intensives et standardisées conduites par N. Weber ont permis la capture de 865 individus de 40 espèces. Pendant cette période, chacune des 4 régions d'étude a été échantillonnée 2 fois, une fois en saison sèche et une fois en saison des pluies (pour un total de 65 nuits). Quelques sites des Mts Mandingues et de la région de Sikasso avaient alors été échantillonnés une troisième fois pendant 4 nuits lors de la saison des pluies 2008, pour un total de 69 captures. J. Fahr a conduit une dernière session de capture dans la région de Sikasso en février 2009, obtenant 155 individus de 21 espèces.

Au total, 1215 individus de 47-48 espèces ont été capturés dans les 4 régions ciblées, incluant 30-31 espèces nouvelles pour le pays. Ceci amène le nombre d'espèces connues du pays de 25 à 55-56 (en attendant la confirmation éventuelle de l'identification de *Nycteris gambiensis*). Les 47-48 espèces collectées dans les 4 régions d'étude du projet représentent quant à elles 86% du total d'espèces actuellement recensées au Mali.

Il convient de noter l'extension de la distribution de plusieurs espèces (souvent de l'ordre de 500km, Tableau 8), illustrant le défaut d'échantillonnage qui prévalait dans notre zone d'étude préalablement à notre projet. Pour certaines espèces, nos données représentent par ailleurs seulement les 3<sup>ème</sup> ou 5<sup>ème</sup> mentions pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (*Kerivoula argentata*, *Pipistrellus inexpectatus*, *Mops demonstrator*). Globalement, nos captures représentent plus de 200 combinaisons « espèce-localité », ce qui permet d'alimenter les analyses en cours de modélisation de distribution potentielle des chauves-souris d'Afrique de l'Ouest (voir ci-dessous)

**Tableau 8: Espèces nouvelles pour le Mali, et distance géographique à la plus proche localité d'où elles étaient préalablement connues. Trois de ces espèces ont été collectées en dehors du projet Ecofor.**

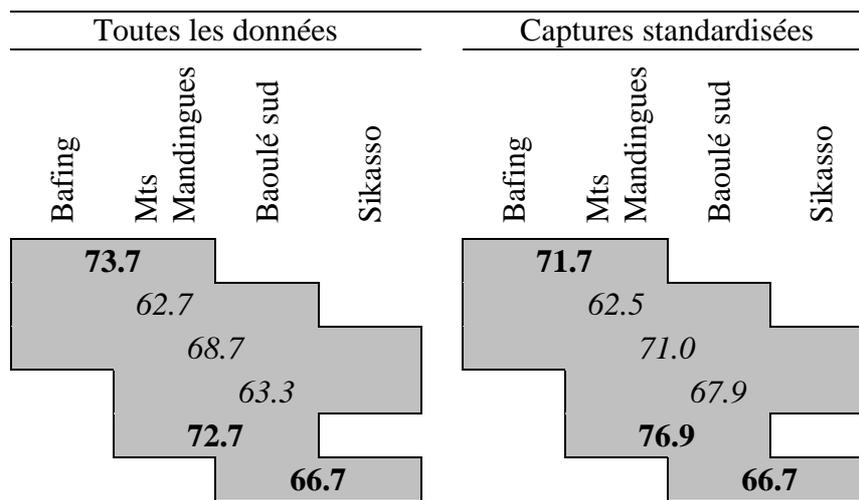
	km	+ proche mention	Remarque
<b>Pteropodidae</b>			
<i>Hypsignathus monstrosus</i>	85	SO Burkina Faso	
<i>Nanonycteris veldkampii</i>	170	N Côte d'Ivoire	
<i>Myonycteris torquata</i>	170	N Côte d'Ivoire	
<i>Rousettus aegyptiacus</i>	170	NO Côte d'Ivoire	
<b>Rhinopomatidae</b>			
<i>Rhinopoma microphyllum</i>	305	N Burkina Faso	hors ECOFOR
<b>Megadermatidae</b>			
<i>Lavia frons</i>	480	NO Ghana	
<b>Rhinolophidae</b>			
<i>Rhinolophus landeri</i>	120	N Côte d'Ivoire	
<i>Rhinolophus guineensis</i>	490	SE Sénégal	
<i>Rhinolophus alcyone</i>	300	NO Côte d'Ivoire	
<b>Hipposideridae</b>			
<i>Hipposideros "ruber" D</i>			Plus proche mention inconnue
<i>Hipposideros "ruber" E</i>			Plus proche mention inconnue
<i>Hipposideros cyclops</i>	205	N Côte d'Ivoire	
<i>Hipposideros abae</i>	225	SE Sénégal	
<b>Emballonuridae</b>			
<i>Taphozous mauritanus</i>	680	NE Côte d'Ivoire	hors ECOFOR
<b>Nycteridae</b>			
<i>Nycteris grandis</i>	240	SE Guinée	
<i>Nycteris cf. gambiensis</i>			
<b>Vespertilionidae</b>			
<i>Kerivoula lanosa</i>	490	SE Guinée	
<i>Kerivoula argentata</i>	410	SE Sénégal	3 <sup>ème</sup> donnée Afrique de l'Ouest
<i>Myotis bocagii</i>	340	SE Sénégal	
<i>Pipistrellus rusticus</i>	445	Centre Burkina Faso	
<i>Pipistrellus nanulus</i>	275	SE Guinée	
<i>Pipistrellus inexpectatus</i>	530	O Ghana	5 <sup>ème</sup> donnée Afrique de l'Ouest
<i>Neoromicia guineensis</i>	140	SO Burkina Faso	
<i>Neoromicia somalica</i>	120	SO Burkina Faso	
<i>Neoromicia tenuipinnis</i>	350	N Sierra Leone	
<i>Mimetillus moloneyi</i>	295	NO Côte d'Ivoire	
<i>Glauconycteris variegata</i>	295	NO Côte d'Ivoire	
<i>Scotoecus albofuscus</i>	545	N Sierra Leone	hors ECOFOR
<i>Scotoecus hirundo</i>	295	NO Côte d'Ivoire	
<b>Miniopteridae</b>			
<i>Miniopterus villiersi</i>	415	Guinée	
<b>Molossidae</b>			
<i>Mops demonstrator</i>	790	O Ghana	3 <sup>ème</sup> donnée Afrique de l'Ouest

Parmi les régions d'étude, celle de Sikasso se distingue par son fort pourcentage d'espèces caractéristiques des habitats forestiers (27% contre 8–13% dans les 3 autres régions; Tableau 9) : des espèces typiques des zones de forêt guinéenne du sud (e.g. *Hypsignathus monstrosus*, *Rhinolophus alcyone*, *Hipposideros cyclops*, *Kerivoula lanosa*, *Mimetillus moloneyi*) ont été exclusivement capturées dans cette région. De leur côté, le Bafing et les Mts Mandingues, représentant l'extension nord-est du plateau du Fouta Djallon en Guinée caractérisé par des massifs rocheux riches en grottes et failles, ont

montré un grand nombre d'espèces partiellement ou strictement dépendantes des grottes comme gîtes diurnes (47–48% de la richesse spécifique totale), ces espèces ayant été beaucoup moins présentes dans les régions de Sikasso et du Baoulé sud (28–30%). Parmi elles, *Rhinolophus guineensis* et *Miniopterus villiersi* ont leur centre de distribution dans les régions forestières montagneuses entre la Guinée, la Sierra Leone et le Libéria, et nos nouvelles données du sud-ouest Mali représentent d'importantes extension de distribution.

Bien que les chauves-souris soient un groupe très mobile, elles sont également connues pour compter des espèces très spécialisées du point de vue du choix de l'habitat. Ceci se traduit par un fort renouvellement d'espèces (diversité bêta) entre régions d'étude voisines, que ce soit d'après les données de présence-absence d'espèces (Figure 10) ou quantitatives (abondances relatives, Tableau 9). Sur la base des données de présence-absence, il apparaît que le renouvellement d'espèces est lié à la distance géographique, suggérant un phénomène de décroissance de similarité d'assemblages lié à la distance (Nekola & White 1999, Soininen et al. 2007).

**Figure 10: Indices de similarité de Sørensen (allant de 0 = aucune espèce partagée, à 100 = toutes espèces partagées) entre les 4 régions d'étude, sur la base des données de présence-absence. A noter la similarité globale plus élevée entre régions adjacentes (en gras) et la similarité plus faible entre régions éloignées (en italique).**



**Tableau 9: Espèces de chauves-souris capturées dans les 4 régions d'étude. Effectifs et pourcentages : en gras, espèces dominantes caractérisant la région concernée; "+": espèce seulement observée/donnée non traitée. Habitat: caractérisation globale du type d'habitat préféré (F: forêt; S: savane à forêt claire ; entre parenthèse : peut être trouvé de façon marginale dans ce type d'habitat). Grotte: dépendance stricte "+" ou facultative "(+)" comme gîte diurne.**

Famille	Espèce	Habitat	Grottes	Région							
				Bafing		Plateau. Mandingue		Baoulé sud		Sikasso	
Pteropodidae	<i>Epomophorus gambianus</i>	S		<b>58</b>	<b>15.1%</b>	<b>38</b>	<b>19.1%</b>	6	6.5%	<b>94</b>	<b>20.3%</b>
	<i>Micropteropus pusillus</i>	S		<b>70</b>	<b>18.2%</b>	7	3.7%	4	4.3%	<b>105</b>	<b>22.7%</b>
	<i>Hypsignathus monstrosus</i>	(S) F								+	
	<i>Nanonycteris veldkampii</i>	(S) F								5	1.1%
	<i>Myonycteris torquata</i>	(S) F			1	0.3%				2	0.4%
	<i>Rousettus aegyptiacus</i>	S F	+		<b>21</b>	<b>5.5%</b>	1	0.5%		5	1.1%
Emballonuridae	<i>Taphozous perforatus</i>	S	(+)	1	0.3%					11	2.4%
	<i>Taphozous nudiventris</i>	S	(+)							2	0.4%
Rhinopomatidae	<i>Rhinopoma hardwickii</i>	S	+							1	0.2%
Nycteridae	<i>Nycteris grandis</i>	(S) F		2	0.5%			2	2.2%	4	0.9%
	<i>Nycteris hispida</i>	S F		8	2.1%	5	2.7%	2	2.2%	12	2.6%
	<i>Nycteris macrotis</i>	S F	(+)	<b>9</b>	<b>2.3%</b>	1	0.5%			7	1.5%
	<i>Nycteris thebaica</i>	S	+	3	0.8%						
	<i>Nycteris gambiensis</i>	S	+	2	0.5%						
Megadermatidae	<i>Lavia frons</i>										
Rhinolophidae	<i>Rhinolophus landeri</i>	S (F)	+	<b>13</b>	<b>3.4%</b>	1	0.5%	2	2.2%	8	1.7%
	<i>Rhinolophus guineensis</i>	F	+	4	1.0%	<b>5</b>	<b>2.7%</b>				
	<i>Rhinolophus alcyone</i>	(S) F								2	0.4%
	<i>Rhinolophus fumigatus</i>	S	+	<b>24</b>	<b>6.3%</b>	3	1.6%	1	1.1%	3	0.6%
Hipposideridae	<i>Hipposideros jonesi</i>	S F	+	<b>15</b>	<b>3.9%</b>	4	2.1%	<b>19</b>	<b>20.4%</b>		
	<i>Hipposideros tephros</i>	S	(+)	3	0.8%						
	<i>Hipposideros caffer</i>	S F	(+)	3	0.8%	2	1.1%				
	<i>Hipposideros ruber</i>	S F	(+)	6	1.6%	4	2.1%	3	3.2%	8	1.7%
	<i>Hipposideros cyclops</i>	F								3	0.6%
	<i>Hipposideros abae</i>	S	+	4	1.0%	<b>13</b>	<b>5.3%</b>			2	0.4%
	<i>Hipposideros vittatus</i>	S	(+)	2	0.5%	3	1.6%	2	2.2%	2	0.4%
	<i>Asellia tridens</i>	S	(+)	4	1.0%	1	0.5%				
Vespertilionidae	<i>Kerivoula argentata</i>	S				1	0.5%				
	<i>Kerivoula lanosa</i>	(S) F								3	0.6%
	<i>Myotis bocagii</i>	S F		3	0.8%					1	0.2%
	<i>Pipistrellus rusticus</i>	S		1	0.3%					2	0.4%
	<i>Pipistrellus inexpectatus</i>	S						1	1.1%	1	0.2%
	<i>Pipistrellus nanulus</i>	(S) F						1	1.1%	4	0.9%
	<i>Neoromicia nana</i>	S F		<b>46</b>	<b>12.0%</b>	<b>20</b>	<b>9.0%</b>	2	2.2%	11	2.4%
	<i>Neoromicia guineensis</i>	S (F)		<b>18</b>	<b>4.7%</b>	<b>22</b>	<b>9.6%</b>	5	5.4%	<b>37</b>	<b>8.0%</b>
	<i>Neoromicia somalica</i>	S		14	3.6%	<b>23</b>	<b>9.0%</b>	<b>14</b>	<b>15.1%</b>	<b>37</b>	<b>8.0%</b>
	<i>Neoromicia tenuipinnis</i>	(S) F		1							
	<i>Mimetillus moloneyi</i>	(S) F								9	1.9%
	<i>Glauconycteris variegata</i>	S				1	0.5%	1	1.1%	2	0.4%
	<i>Nycticeinops schlieffenii</i>	S		1							
	<i>Scotoecus hirundo</i>	S		3		<b>12</b>	<b>6.4%</b>	1	1.1%	6	1.3%
	<i>Scotophilus leucogaster</i>	S		9	2.3%	16	8.0%	6	6.5%	12	2.6%
	<i>Scotophilus viridis</i>	S		15	3.9%	15	7.4%	<b>21</b>	<b>22.6%</b>	<b>51</b>	<b>11.0%</b>
Miniopteridae	<i>Miniopterus villiersi</i>	(S) F	+			<b>5</b>	<b>2.7%</b>				
Molossidae	<i>Chaerephon pumilus</i>	S		<b>17</b>	<b>4.4%</b>	3	1.6%			7	1.5%
	<i>Mops condylurus</i>	S		2	0.5%						
	<i>Mops demonstrator</i>	S				2	1.1%				
<b>Individus</b>				<b>384</b>		<b>208</b>		<b>93</b>		<b>463</b>	
<b>Espèces</b>				<b>32</b>		<b>25</b>		<b>18</b>		<b>33</b>	
<b>Espèces (majoritairement) de savane [S + S(F)]</b>				<b>20</b>	<b>62.5%</b>	<b>16</b>	<b>64.0%</b>	<b>12</b>	<b>66.7%</b>	<b>18</b>	<b>54.5%</b>
<b>Espèce (majoritairement) de forêt [F + F(S)]</b>				<b>4</b>	<b>12.5%</b>	<b>2</b>	<b>8.0%</b>	<b>2</b>	<b>11.1%</b>	<b>9</b>	<b>27.3%</b>

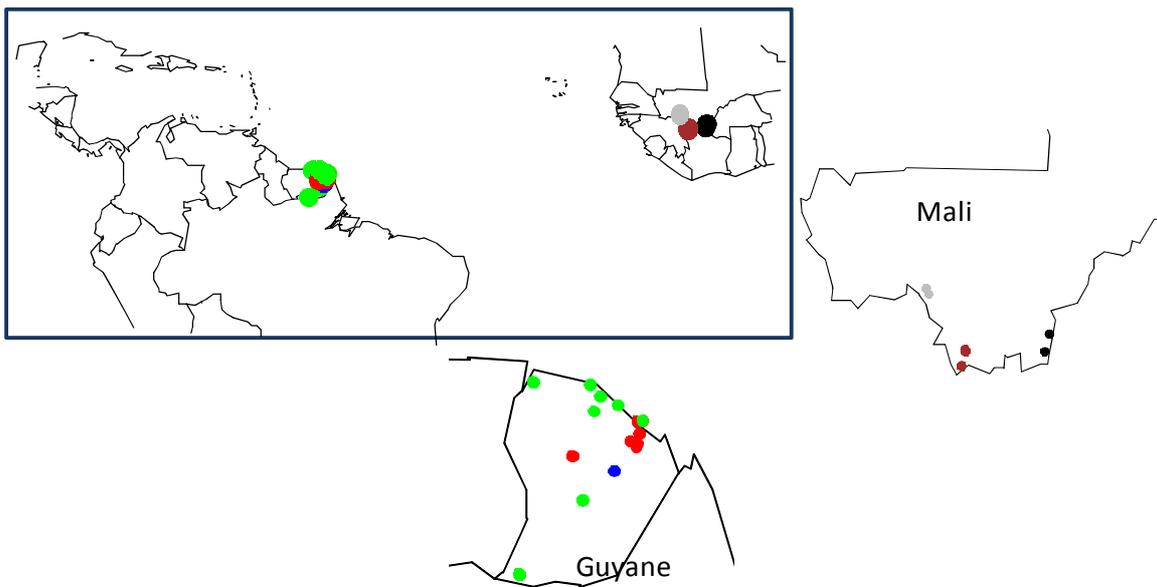
## C- Histoire des communautés animales et végétales à travers des espèces-modèles

### 1- Un modèle « arbre » : le genre *Carapa*

#### 1.a Etude transcontinentale

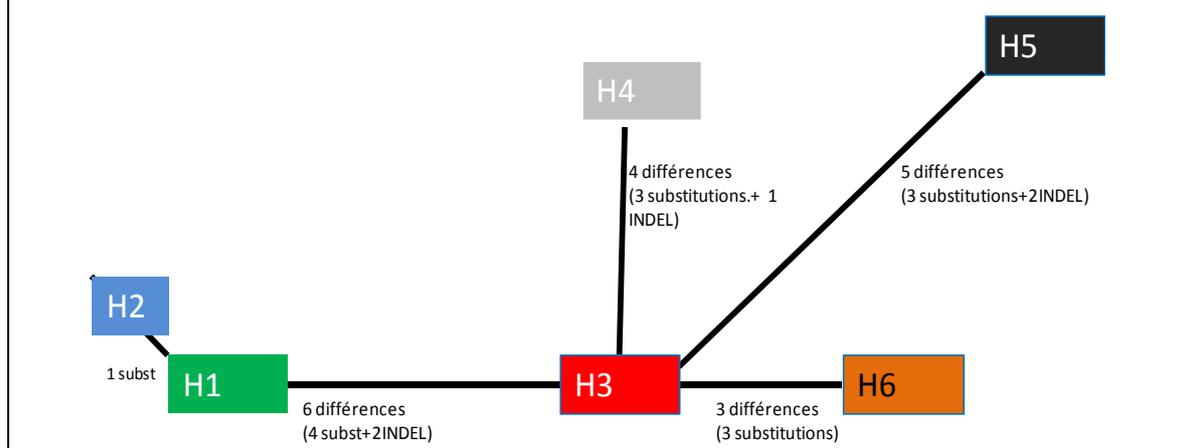
La diversité génétique au sein du genre *Carapa* a été étudiée au niveau de deux séquences intergéniques de l'ADN chloroplastique : les fragments TrnHPsbA (500 paires de bases) et TrnCycf6 (700 paires de bases). Le nombre d'échantillons analysés correspond à 85 pour la Guyane et 37 pour le Mali. Un total de 29 sites polymorphes a été observé dont les différentes combinaisons alléliques se répartissent en 6 haplotypes : 3 au Mali et 3 en Guyane (Figure 11). Au Mali les trois haplotypes (H4, H5 et H6) sont structurés géographiquement. En Guyane, deux haplotypes sont très communs (H1 et H3). Ils sont aussi structurés géographiquement avec néanmoins une zone de contact où les deux haplotypes sont présents en mélange.

**Figure 11. Carte de répartition des haplotypes (séquences intergéniques TrnHPsbA et TrnCycf6) au niveau trans-continentale**



En Guyane, les haplotypes H1 et H2 correspondent à l'espèce *Carapa surinamensis* (anciennement *C. procera*) endémique du plateau des Guyanes et l'haplotype H3 à *C. guianensis* qui est plus largement distribué autour du bassin amazonien. Ces deux espèces forment un complexe d'espèces (Duminil et al., 2006) et peuvent échanger librement des gènes dans la zone de contact localisée dans le nord-est de la Guyane. Le réseau d'haplotypes indique la proximité génétique entre les lignées sans pour autant orienter l'accumulation des mutations (Figure 12). Les lignées du Mali diffèrent entre elles par un minimum de 5 mutations (maximum=7) et les lignées de Guyane par un minimum de 1 (entre H1 et H2) et un maximum de 6 mutations. Étrangement, l'haplotype H6 observé dans les populations du Mali (Toumaniblena, Kanoubougoula et Dianguemerila) diffère seulement par 3 événements de mutation de l'haplotype H3 correspondant à *C. guianensis*.

**Figure 12 : Réseau d'haplotypes basé sur le nombre minimum de mutations.**



### 1.b Etude en Afrique de l'Ouest

Afin de déterminer les flux de gènes entre les populations de *Carapa procera* à l'échelle de l'Afrique (comparaison de populations d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale), à l'échelle régionale (comparaison des populations au Nord – Bafing et Mts Mandingues - et au Sud du Mali - région de Sikasso) et à l'échelle locale (comparaison des populations du sud du Mali entre elles), 269 individus de 7 populations du Sénégal, du Mali, du Burkina Faso, du Cameroun et du Gabon ont été analysés (Tableau 10).

**Tableau 10. Populations et individus de *Carapa procera* analysés en génétique**

Zones géographique	Pays	Localités	Nombre d'individus
Afrique de l'Ouest	Sénégal	Oussouye	12
	Mali	Mts Mandingues	74
		Farako	71
		Woroni	40
Afrique centrale	Burkina Faso	Toussiana	14
	Cameroun	Sud Est	48
	Gabon	Nord	10

Huit microsatellites mis au point sur *Carapa guianensis* ont été amplifiés et génotypés sur séquenceur automatique. Les paramètres de diversité génétique ( $H_E$ ,  $N_a$ ,  $N_e$  et  $F_{ST}$ ) ont été calculés. Des analyses de variance moléculaire ainsi que des analyses multivariées ont été effectuées afin de mettre en évidence la différenciation génétique entre les populations à l'aide de GenAlex. Les coefficients d'apparentement de Loiselle entre individus d'une même population ou de populations différentes ont été calculés à l'aide de SpageDi et leur corrélation avec la distance géographique a été testée.

Les huit microsatellites de *C. guianensis* ont été amplifiés avec succès sur les échantillons de *C. procera* et ont montré 111 allèles sur l'ensemble des populations soit 14 allèles par locus en moyenne. L'hétérozygotie espérée  $H_E$  est importante (0,768 sur l'ensemble des populations) et varie peu entre les pays (0,55 à 0,765), étant données les différences d'échantillonnage importantes entre les pays étudiés. Le Cameroun présente la

plus forte diversité (Tableau 11) avec un très grand nombre d'allèles par locus ( $N_a=11,75$ ) et le plus grand nombre d'allèles privés ( $N=3$ ).

**Tableau 11. Paramètres génétiques des populations étudiées de *Carapa procera* (Ni: Nombre d'individus analysés ; Na: nombre moyen d'allèles par locus ; Ne: nombre efficace d'allèles, Nb: nombre d'haplotypes privés, HE: hétérozygotie espérée)**

Population	Ni	Na	Ne	Nb	He
<b>Sénégal</b>	12	4.500	3.144	0.000	0.614
<b>Mali</b>	185	8.750	3.840	0.625	0.707
<b>Burkina Faso</b>	14	5.375	3.362	0.125	0.660
<b>Gabon</b>	10	5.125	2.956	0.375	0.550
<b>Cameroun</b>	48	11.750	5.760	3.000	0.765

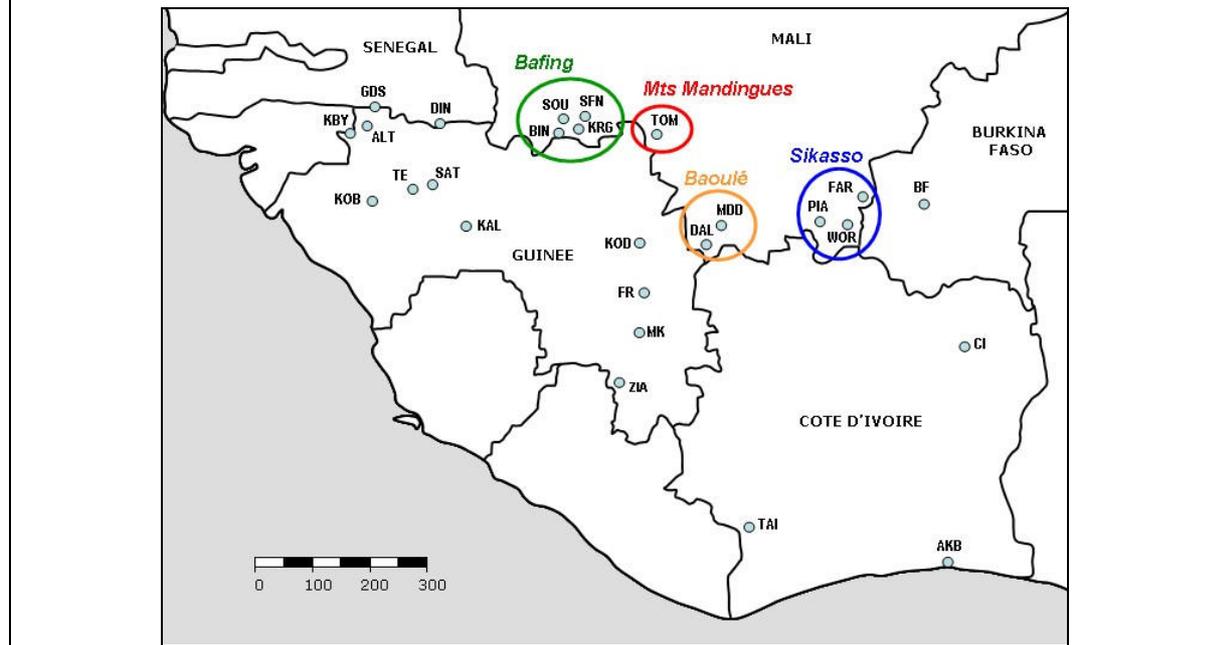
L'essentiel de la diversité génétique se trouve à l'intérieur des pays. Cependant, une différenciation génétique significative de 8% est mise en évidence entre les 5 pays étudiés, particulièrement forte entre populations d'Afrique Centrale et d'Afrique de l'Ouest. A l'échelle régionale, une différenciation faible mais significative (2%) permet de distinguer les populations du nord Mali de celles du sud Mali et au niveau local (sud Mali), les populations de Saniena (Farako) de celles de Woroni. Les populations du nord et du sud Mali se différencient selon un gradient nord-sud sans qu'il y ait une corrélation significative entre les distances génétiques et les distances géographiques

## 2- Un modèle « rongeur » : *Praomys rostratus*

Cette espèce est répartie en zone soudano-guinéenne d'Afrique de l'Ouest, du Sénégal à la Côte d'Ivoire. Les îlots forestiers du sud Mali abritent des populations en limite nord de distribution, potentiellement en contact (ou l'ayant été récemment) avec des populations situées plus au sud dans la région guinéenne. L'analyse phylogéographique sur toute l'aire de distribution de l'espèce a montré une structure génétique complexe, probablement lié aux bassins hydrographiques et aux fluctuations climatiques du Quaternaire. La continuité de l'habitat forestier le long des cours d'eau d'un bassin versant donné, participe au maintien d'une diversité génétique assez élevée, notamment dans les populations en limite nord de distribution. En revanche, la forte structure observée entre régions suggère un isolement et des flux de gène limités entre bassins versants (Nicolas *et al.* 2008, cf annexe).

Afin de mieux appréhender l'isolement des populations du Sud Mali et les connections des fragments par rapport aux milieux forestiers guinéens, une étude de génétique des populations de *Praomys rostratus* a été conduite sur des échantillons de limite de distribution de l'espèce (sud Mali, sud-est Sénégal, est Côte d'Ivoire, sud-ouest Burkina-Faso), ainsi que de localités plus au Sud où la forêt est moins fragmentée (Guinée, sud Côte d'Ivoire, Figure 13). L'étude a été conduite sur 348 spécimens de 28 localités (Mali, Sénégal, Guinée, Côte d'Ivoire et Burkina-Faso). Entre 3 et 25 spécimens par population (Tableau 12) ont été génotypés pour 14 marqueurs microsatellites développés pour *Mastomys huberti*, appartenant à un genre proche de *Praomys* (Loiseau *et al.*, 2007).

**Figure 13. Situation géographique des populations de *Praomys rostratus* étudiées génétiquement (Mali et pays limitrophes). Les codes des populations renvoient au Tableau 12**



**Tableau 12. Détail des populations de l'étude génétique : origine géographique et effectif étudié par population**

Code	Localité	Pays	Régions	EFFECTIF
BIN	Bindougou	Mali	Bafing	13
KRG	Kouragué	Mali	Bafing	3
SFN	Sanfinian	Mali	Bafing	11
SOU	Soukoutali	Mali	Bafing	6
DAL	Dalakan + Baoulé	Mali	Baoulé	3
MDD	Madina-Diassa	Mali	Baoulé	13
FAR	Farako + Mamouroubougou	Mali	Sikasso	19
PIA	Piama	Mali	Sikasso	14
WOR	Woroni+Seniena	Mali	Sikasso	13
TOM1	Tombané (2001-2002)	Mali	PI Mandingue	13
TOM2	Tombané (2004)	Mali	PI Mandingue	16
TOM3	Tombané + Nafadji (2007)	Mali	PI Mandingue	10
BF	Koumi	Burkina Faso		14
AKB	Adiopodoumé	Côte d'Ivoire		16
CI	Comoé (P.N.)	Côte d'Ivoire		9
TAI	Taï	Côte d'Ivoire		24
ALT	Altou Fonkola	Guinée		11
FR	Franfina	Guinée		6
KAL	Kalia	Guinée		5
KBY	Koumbanyi	Guinée		11
KOB	Koba+Tamba Sako+Kogon Lengue	Guinée		11
KOD	Kodoko	Guinée		16
MK	Maikou	Guinée		25
SAT	Satina	Guinée		15
TE	Téliré	Guinée		9
ZIA	Balassou	Guinée		24
DIN	Dindéfélo	Sénégal		13
GDS	Gué de Sambaillo	Sénégal		5
<b>TOTAL</b>				<b>348</b>

Pour certains des 14 marqueurs, il y a eu des échecs d'amplification systématiques pour certains individus, correspondant à des allèles nuls. Ce phénomène est

probablement lié à la divergence entre *P. rostratus* et l'espèce pour laquelle les marqueurs ont été mis au point, mais aussi à l'étendue de l'aire de distribution étudiée. De ce fait, seuls 9 marqueurs (à fréquence d'allèles nuls estimée  $< 10\%$  par population) ont été utilisés pour les analyses génétiques, de manière à ne pas introduire de biais liés à cette caractéristique.

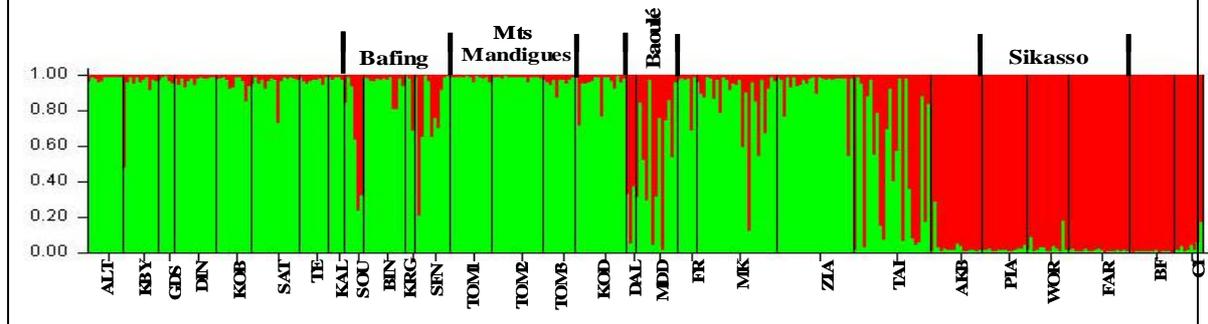
L'étude génétique a porté sur deux points complémentaires : i) comparer la diversité (nombre d'allèles, hétérozygotie) dans les fragments forestiers du sud Mali à celle des régions non fragmentées, ii) analyser la structure cette diversité, selon l'isolement des populations dans les fragments, ou selon d'autres critères comme l'histoire de la mise en place de ces populations dans la région. L'effectif de certaines populations étant faible (Tableau 12), les analyses de diversité génétiques ont été conduites sur les populations dont l'effectif est supérieur à 9 spécimens. En revanche, toutes les populations ont été utilisées pour les études de structuration géographiques. De plus, les îlots forestiers à affinités guinéennes du Sud Mali étant isolés du bloc guinéen, les populations de *P. rostratus* les occupant ont pu subir un goulot d'étranglement (baisse importante de la taille efficace de la population) du fait de la fragmentation de la forêt. Les données génétiques permettent de tester cette hypothèse pour chaque région mais aussi de dater ce goulot d'étranglement s'il a eu lieu. Cette approche permet donc d'estimer si la fragmentation peut être d'origine anthropique (i.e. récente) ou d'origine climatique/environnementale (plus ancienne).

L'étude des marqueurs microsatellites a montré que la diversité génétique est importante au sein des populations de *Praomys rostratus* : le nombre d'allèles varie de 15 à 66 selon les locus (ensemble des populations) et de 2 à 22 par population et par locus (moyenne  $8,6 \pm 3,8$ ). La richesse allélique, qui mesure cette diversité en se basant sur le nombre d'allèles par population et par locus corrigé par l'effectif minimum du jeu de données, est comprise entre 4,39 allèles en moyenne sur l'ensemble des 9 loci pour la population du Burkina Faso (BF), et 8,99 allèles pour la population du Mont Ziama (ZIA) en Guinée. L'hétérozygotie observée par population varie, en moyenne sur les 9 loci, de 0,61 à 0,91 (moyenne  $0,77 \pm 0,07$ ).

Les marqueurs microsatellites ont montré une différenciation génotypique significative entre la majorité des populations, notamment entre toutes celles des quatre régions du Sud Mali. Les  $F_{st}$  entre paires de populations varient de 0,003 (entre FR et ZIA, deux localités proches de Guinée) et 0,237 (entre SOU et BF, au nord de la distribution).

L'étude de la structuration de la diversité génétique (logiciel STRUCTURE) a permis d'assigner les individus à des groupes génétiques, indépendamment de leur origine géographique : c'est une subdivision de l'échantillonnage en deux groupes génétiques qui explique le mieux la structuration génétique du jeu de données (Figure 14) : Les localités les plus à l'est de la distribution (Burkina Faso, Côte d'Ivoire), y compris les localités de la région de Sikasso au sud-est Mali (FAR, PIA, WOR), sont associées au groupe « rouge ». Les localités les plus à l'ouest (Sénégal, ouest Guinée, ouest Mali) sont assignées à un deuxième groupe génétique (« vert »). La diversité génétique chez *P. rostratus* se structure donc selon une distribution Ouest / Est. Les localités intermédiaires (région du Baoulé sud : MDD et DAL, de l'ouest de la Côte d'Ivoire : TAI et dans une moindre mesure du Bafing : SOU et SFN en particulier), correspondent à un mélange génétique plus ou moins important entre les deux groupes, suggérant des contacts (migration/flux de gènes) entre populations dans ces localités et régions.

**Figure 14. Assignment de chaque individu aux groupes génétiques (rouge et vert). Les barres verticales représentent la proportion du génome des individus (groupés par localité) assignée à chaque groupe génétique. Les codes des localités renvoient au tableau 12 et à la figure 13.**



Ces deux groupes génétiques pourraient être liés à la divergence ancienne de populations isolées lors du dernier maximum glaciaire au niveau de refuges forestiers distincts dans chacune de ces régions géographiques. La structure génétique primaire chez *P. rostratus* serait ici liée à l'histoire phylogéographique de l'espèce (Nicolas et al. 2008). Pour aller plus loin et tenter d'identifier le rôle potentiel de la fragmentation des forêts au sud du Mali sur le fonctionnement des populations de ce rongeur, il est donc nécessaire d'étudier la diversité génétique indépendamment dans chacun de ces groupes.

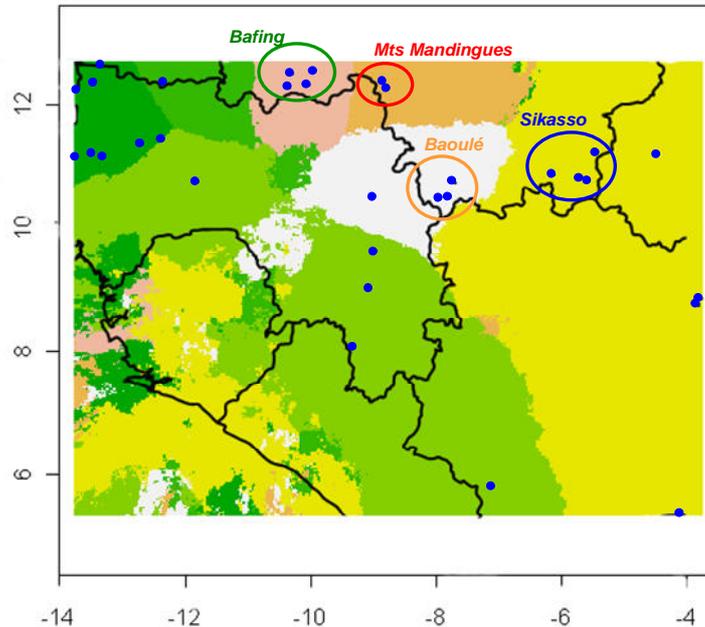
Dans le cas d'un isolement, une perte de diversité génétique est attendue. Dans le groupe « Ouest », la diversité génétique (richesse allélique) est significativement plus faible ( $P = 0,002$  ; 10 000 permutations) dans les populations les plus au nord (milieu plus fragmenté) que dans les populations les plus au sud (ZIA, TAI et MK : forêt « continue »). Les populations des Mts Mandingues, du Bafing et de l'extrême sud-est du Sénégal seraient les plus affectées par une perte de diversité génétique. Une exception concerne la population de Bindougou (BIN, région du Bafing), très diversifiée. Ceci pourrait être lié à la meilleure préservation de la forêt dans cette localité, qui permettrait localement de contrecarrer les effets de la latitude. En revanche, dans le groupe « Est », cette corrélation entre latitude et richesse allélique disparaît, la population la plus au sud (AKB, sud Côte d'Ivoire) ayant par exemple la même richesse allélique qu'une des populations les plus au nord (WOR, région de Sikasso). Ceci pourrait être mis en relation avec :

- un bon état des populations de certaines régions du nord-est de sa distribution, lié à l'état de préservation des habitats les hébergeant (cas de la région de Sikasso),
- la présence d'échanges génétiques entre localités de l'est de la distribution (région de Sikasso, S-O Burkina Faso et E. Côte d'Ivoire) au sein d'une population à taille efficace importante, permettant le maintien d'une diversité génétique forte.
- la situation en extrême limite est de distribution de localités du Burkina Faso (BF) et de Côte d'Ivoire (AKB) pouvant expliquer une diversité génétique moindre dans ces localités.

L'étude de la structuration à l'intérieur de ces grands groupes a fait apparaître une sous-structure complexe dans chacun. Dans le groupe « Ouest », les populations des Mts Mandingues représentent un groupe génétique très différencié. De même, dans le groupe « Est », les populations de la région de Sikasso se différencient nettement du reste des localités (BF, CI, AKB). Une approche spatiale prenant en compte les informations géographiques pour regrouper les populations (logiciel GENELAND) a permis d'identifier une structure très complexe en 7 groupes génétiques, en accord avec les regroupements identifiés précédemment (Figure 3) : on retrouve ici la division entre le groupe « Est » et le groupe « Ouest », tout en mettant en évidence une structure très fine au niveau du groupe « Ouest ». De plus, cette méthode met en évidence un isolement fort des populations du

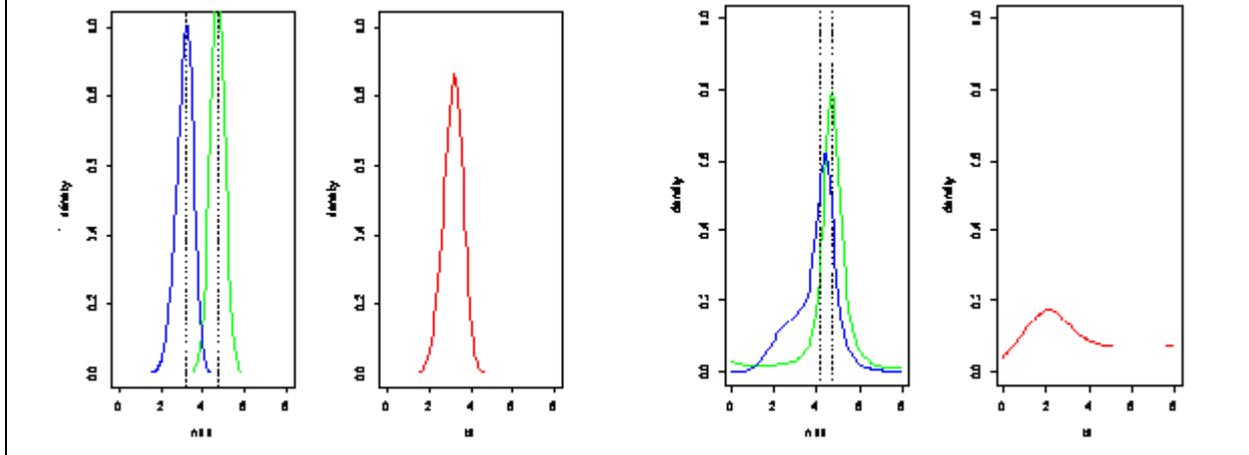
Bafing et des Mts Mandingues, les populations du Baoulé et de la région de Sikasso semblant appartenir à des groupes génétiques plus larges (Figure 15).

**Figure 15** Assignation de chaque individu aux groupes génétiques par la méthode d'assignation par géo-référencement. La vraisemblance optimale du découpage en K populations est obtenue pour K= 7, représentés ici en différentes couleurs.



Les analyses de goulots d'étranglement, menées indépendamment sur les échantillons des 4 régions du sud Mali et la population de référence du massif forestier « continu » au sud de la Côte d'Ivoire (TAI) ont montré différentes situations : un signal clair de goulot d'étranglement pour les deux populations de l'Ouest du Mali (Bafing et Mts Mandingues), où la taille efficace serait passée de 50000 - 100000 à moins de 1500 individus (Figure 16). Cette réduction est estimée avoir eu lieu il y a environ 1000 ans (250 - 5000 ans). Malgré l'intervalle de confiance important, il semble que cette réduction de taille des populations ne soit pas d'origine anthropique. Les études phylogéographiques ont montré que ces deux populations appartenaient au même clade, dont l'origine remonte à 100.000-200.000 ans (Nicolas *et al.*, 2008). Bien que ces populations soient bien différenciées, leur isolement respectif aurait donc eu lieu récemment. Les populations du Baoulé et de Sikasso semblent également avoir subi un goulot d'étranglement mais le signal n'est pas clair et des analyses complémentaires sont nécessaires afin de tester cette hypothèse. En revanche, la population de référence de la forêt de Taï (TAI – sud-ouest Côte d'Ivoire) ne présente pas de signal de goulot d'étranglement et la taille efficace de la population est estimée à environ 50.000.

**Figure 16. Taille efficace présente (en bleu) et passé (en vert) estimée et temps passé (en rouge) depuis le goulot d'étranglement éventuel dans 2 ensembles populationnels de *P. rostratus* : (Mts Mandingues, à gauche) : Les distributions postérieures montrent un faible recouvrement, confirmant que la taille efficace actuelle est bien plus petite que la taille efficace ancestrale, contrairement à la situation en Forêt de Taï (à droite).**



### 3- Un modèle « chauves-souris » : le genre *Hipposideros*

Deux taxons avaient été ciblés dans cette étude, représentant deux groupes phylogénétiquement et écologiquement bien distincts : i) *Epomophorus gambianus*, Pteropodidae frugivore de grande taille, à grand rayon d'action et fréquentant une gamme étendue d'habitats allant de la savane à la forêt ; ii) le complexe d'espèces *Hipposideros caffer/ruber*, Hipposideridae insectivores de petite taille et à capacités de déplacement moindres, plus spécifiquement associés au milieu forestier. Les premières analyses à l'échelle du sud Mali et des régions immédiatement avoisinantes (Guinée et Burkina-Faso essentiellement) n'avaient montré aucune structuration génétique chez *E. gambianus*, avec des distances génétiques entre échantillons faibles et des signes d'expansion démographique récente pour l'ensemble de l'échantillon. Dans une des espèces du genre *Hipposideros* (*H. ruber*) en revanche, une faible structuration avec présence de deux clades relativement bien soutenus suggérait la présence de lignées ayant pu se différencier à partir de refuges forestiers isolés pendant les périodes arides du Quaternaire (Chollet 2008). A partir de là, les analyses suivantes se sont focalisées sur ce dernier genre.

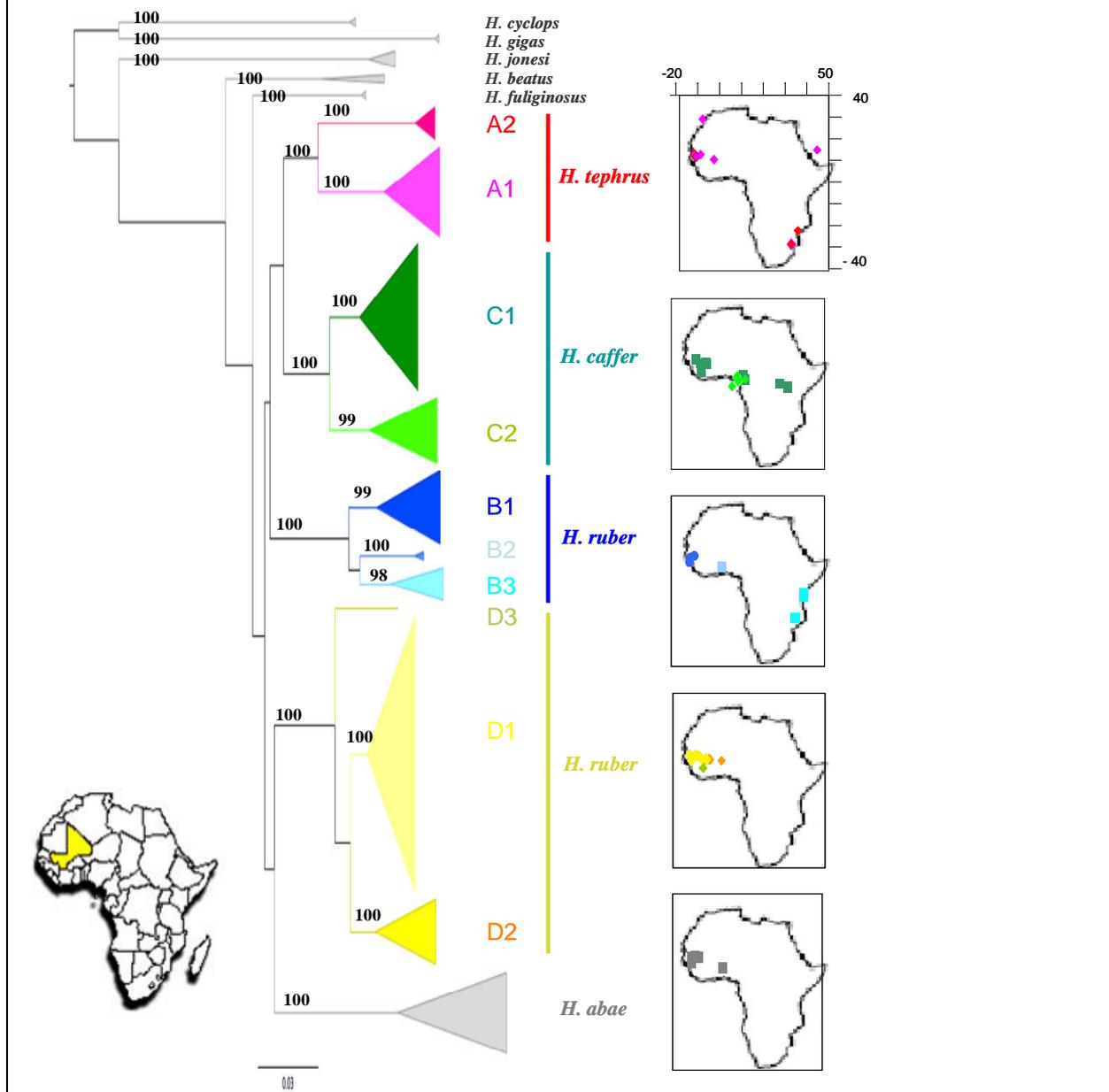
D'après Simmons (2005), les espèces du complexe d'espèce *caffer/ruber* sont très difficiles à distinguer morphologiquement et renferment probablement des espèces cryptiques, comme *H. tephros*, au statut peu clair et mis récemment en synonymie avec *caffer* en attendant une révision taxonomique du groupe. Nous avons également étudié *H. abae*, espèce phylogénétiquement proche pour laquelle nous possédons un bon échantillonnage dans notre aire d'étude. Au total, 44 spécimens appartenant à ce groupe d'espèces et provenant de divers fragments forestiers du sud Mali, ainsi que 23 provenant de régions voisines de Guinée et du Burkina-Faso ont été séquencés (gène du cytochrome *b*). Afin de resituer la variation génétique observée dans nos sites d'études par rapport à la variation génétique observée sur l'ensemble de leur aire de répartition, nous avons ajouté à nos analyses les séquences de 63 spécimens d'origines géographiques très diverses, récemment publiés par Vallo et al (2008). En effet, ces taxons ont des répartitions géographiques qui dépassent, pour certains largement, la zone d'étude (*H. caffer* : Yémen,

Maroc, Afrique subsaharienne sauf la zone de forêt congolaise, Zanzibar et Pemba ; *H. ruber* : du Sénégal à l’Ethiopie, Sud de l’Angola, Zambie, Malawi et Mozambique ; *H. abae* : de Guinée-Bissau au S-O du Soudan et Ouganda). La liste des séquences analysées, et la provenance des spécimens concernés, sont indiquées dans l’Annexe 1.

Les analyses phylogénétiques ont été enracinées avec les taxons proches : *H. fuliginosus*, *H. beatus*, *H. jonesi*, *H. cyclops* et *H. gigas*. Deux types d’analyses phylogénétiques ont été réalisées avec Seaview 4.1 : i) une reconstruction basée sur la méthode des distances (algorithme Neighbour Joining) et la distance génétique de Kimura à 2 paramètres; ii) une reconstruction basée sur la méthode du maximum de vraisemblance avec un modèle d’évolution "General Time Reversible". La robustesse des reconstructions phylogénétiques a été évaluée par la méthode de bootstrap (200 répliqués) pour la méthode des distances, et le aLRT (SH-like) pour le maximum de vraisemblance et les arbres obtenus édités avec Figtree 1.3.1 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/>).

La phylogénie (Figure 17) révèle plus de structuration génétique qu’attendu dans le complexe d’espèces *caffer/ruber* : 4 clades bien soutenus au lieu des 2 attendus pour les espèces *caffer* (incl. *tephrus*) et *ruber*, avec des divergences génétiques similaires à celles observées avec (et entre) des espèces considérées comme valides (par ex. *H. abae*, Tableau 13). Il semble donc que nous soyons en présence de 4 espèces au lieu des 2 espèces communément admises dans le groupe *caffer/ruber*. Notre analyse tendrait à réhabiliter le taxon *tephrus* au rang d’espèce. Le quatrième clade semble correspondre à un ensemble de spécimens identifiés sur le terrain indistinctement comme *H. caffer* ou *H. ruber*.

**Figure 17 : Arbre phylogénétique représentant les relations entre les principales lignées dans le groupe d'espèces *Hipposideros caffer/ruber/tephrus/abae***



**Tableau 13. Distances K2P ( $\pm$  SD) entre les différents clades.**

	abae	clade A	clade B	clade C	clade D
abae	0.034 $\pm$ 0.003				
clade A	0.113 $\pm$	0.046 $\pm$ 0.004			
clade B	0.118 $\pm$	0.103 $\pm$	0.047 $\pm$ 0.004		
clade C	0.119 $\pm$	0.086 $\pm$	0.096 $\pm$	0.036 $\pm$ 0.003	
clade D	0.107 $\pm$	0.090 $\pm$	0.092 $\pm$	0.087 $\pm$	0.019 $\pm$ 0.002

Sur la base des distances génétiques observées et d'une calibration à 2% de divergence par Ma, les dates d'émergence de ces clades s'établiraient, en première approximation, entre 1 et 2 Ma, soit pendant le Pleistocène (Tableau 14).

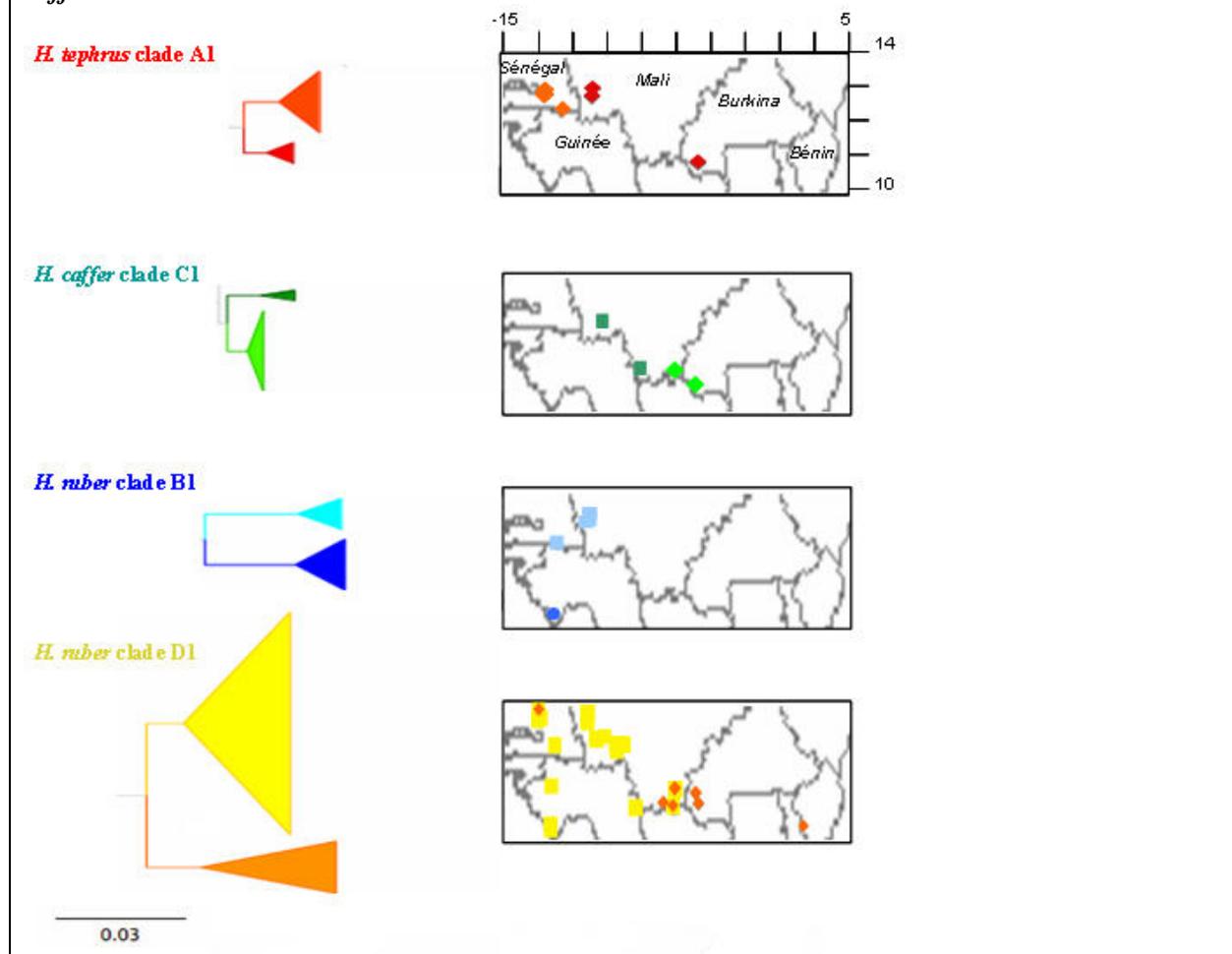
**Tableau 14. Distances K2P entre clades sur la zone d'étude**

	Distances	Age (Ma)
abae	0.058 $\pm$ 0.006	2.90
clade A	0.021 $\pm$ 0.004	1.05
clade B	0.044 $\pm$ 0.006	2.20
clade C	0.017 $\pm$ 0.003	0.85
clade D	0.038 $\pm$ 0.005	1.90

Certains de ces clades, pour lesquels nous possédons un échantillonnage important au sein de notre zone d'étude, sont, à leur tour, structurés en sous-clades bien soutenus et qui correspondent à des entités géographiques bien séparées (Figure 18). C'est le cas de :

- *H. tephrus* (clade A1) entre le Mali-Burkina Faso et le Sénégal-Maroc.
- *H. caffer* (clade C1) entre l'est Mali-Burkina Faso et l'ouest du Mali.
- *H. ruber* (clade B1) entre le Mali-Sénégal et la Guinée.
- *H. ruber* (clades D1/D2) entre l'est-Mali-Burkina Faso et l'ouest Mali-Sénégal-Guinée.

**Figure 18 : Distribution géographique des individus des différents sous-clades du complexe *H. caffer/ruber***



## D - Rôle de l'homme dans l'évolution des communautés végétales et animales

L'influence anthropogénique sur la végétation forestière dans la mosaïque ouest africaine, évaluée via une synthèse bibliographique associée à nos observations de terrain au sud du Mali (Annexe 2), montre que les interactions entre les activités humaines et les processus écologiques prennent des formes diverses, du fait de la variété de ces activités et des caractéristiques environnementales, et de leur interactions avec des facteurs externes comme le climat. De plus, les approches interdisciplinaires pour analyser ces interrelations complexes entre processus écologiques, dynamique socio-économique et politiques officielles locales sont rares. Alors que les scientifiques des temps coloniaux affirmaient que les conséquences des pratiques traditionnelles étaient systématiquement néfastes à l'environnement, quelques études récentes rejettent cette perception et insistent plutôt sur l'insuffisance des enquêtes et de la compréhension de cette dynamique d'usage des terres.

Afin de préciser le cadre général d'utilisation des terres, nous présentons d'abord la situation légale et la position du gouvernement du Mali vis-à-vis des droits d'usage des espaces et des ressources. Ensuite, le rôle des communautés locales et des facteurs gouvernant leur façon d'utiliser les terres sont décrites, afin de mettre en avant les intérêts des uns et des autres, en particulier par rapport aux ressources forestières, et leurs interactions. Nous nous sommes en particulier focalisés sur les influences directes telles que l'agriculture, la collecte du bois de chauffage et des produits non ligneux, ainsi que la chasse, mais nous évoquons aussi

des impacts indirects tels que ceux associés au pâturage et à l'élevage, ainsi qu'aux feux de brousse

Les données de la littérature confirment nos observations montrant qu'il n'y a pas de schéma universel dans la façon dont les activités humaines façonnent les paysages en Afrique de l'Ouest. Les interactions entre changements démographiques, économiques, climatiques et sociaux auxquels les communautés locales sont confrontées les poussent à infléchir leurs pratiques traditionnelles de façon à assurer leur subsistance. Ainsi, la tendance à passer d'une agriculture de subsistance à la production de produits de marché dans les terroirs ruraux est amenée à s'affirmer dans un futur proche, résultant en un accroissement de l'agriculture et de l'élevage qui affecte en retour la forêt et les autres formations végétales. Toutefois, les communautés locales ont une connaissance approfondie de la dynamique des paysages qui les entourent, et en particulier apprécient la forêt pour les produits qu'elle fournit, ainsi que pour un certain nombre de services écosystémiques et culturels qu'elle assure. Pour assurer l'utilisation durable des ressources forestières, et de façon plus générale naturelles, les autorités et autres instances décisionnaires doivent renforcer le maintien de systèmes traditionnels d'utilisation des terres et permettre aux communautés locales de participer activement dans la gestion de ces ressources. Des lois et une politique générale concrète sont nécessaires à la gestion des ressources, y compris des espèces rares ou endémiques ainsi que des aires protégées, alors que les conventions générales régissant l'usage des terres et des ressources sont souvent d'applicabilité restreinte. La grande diversité des ensembles démographiques/environnementaux/sociaux locaux nécessite l'implémentation de systèmes de gestion à plus petite échelle.

L'exemple de la fabrication et de l'utilisation traditionnelle de l'huile de *Carapa* (détaillé en Annexe 3) montre que les ressources forestières restent très importantes à une échelle locale, même si pour le moment il n'existe pas de filières commerciales ni d'organisation autour des processus de plantation/extraction/exploitation. Seules les femmes âgées continuent de produire de l'huile pour les besoins de la famille voire du village tandis que ce savoir tend à disparaître au point que plusieurs villages sont devenus consommateurs sans être producteur malgré la présence de l'espèce dans les forêts voisines.

## **E – Discussion**

Les résultats obtenus concernant la cartographie des forêts humides au Mali sont intéressants à l'échelle du pays ou de la région administrative. Les surfaces et les longueurs produites sont en effet les premières valeurs mesurées au Mali. Localement, cette information apporte des précisions plus fines que la cartographie effectuée dans le cadre du PIRL (Projet d'inventaire des ressources ligneuses, CIRAD-CFTC et al. 1988a, b et c). Cette cartographie permet d'obtenir la surface des forêts humides à physionomie de forêt dense de type guinéo-congolais présentes sur le territoire malien. Ces valeurs associées aux productivités définies par le PIRL peuvent dimensionner la contribution des forêts humides à, par exemple, stocker le carbone atmosphérique. Surtout, cela souligne la contribution de ce milieu naturel à constituer un réservoir de biodiversité végétale et animale. Les fragments et la longueur des linéaires de rivière accueillant de la forêt humide soulignent la fragilité de cet écosystème. Il apparaît de ce point de vue des différences importantes entre les sites, à l'échelle où ils ont été étudiés, avec en particulier une meilleure intégrité de la forêt humide sur les sites de Farako (région de Sikasso) et dans la région du Bafing (pourcentage de forêt humide de part et d'autre des thalwegs, longueur moyenne des fragments...), que dans les autres zones étudiées (Piama et Woroni, région de Sikasso, et Mts Mandingues).

Dans ces sites, la flore ligneuse s'organise d'abord selon le substrat, le relief et le type d'écoulement. Dans nos analyses nous distinguons ainsi trois groupes selon ce premier niveau de ségrégation :

- les failles temporaires, localisées exclusivement à l'ouest, caractérisées par un substrat rocheux et une très forte saisonnalité de la ressource hydrique,
- les failles permanentes, localisées dans les reliefs en continuité du Fouta Djallon ou de la falaise de Banfora, caractérisées par un substrat rocheux et un écoulement permanent,
- les galeries forestières, localisées autour des rivières et fleuves, caractérisées par un écoulement permanent ou temporaire sans distinction floristique significative entre ces deux milieux et un substrat alluvionnaire à riche couche humifère.

Au sein de ces groupes, le deuxième niveau de distinction des flores est lié aux capacités de dispersion des espèces, liée à la distance inter-site dans les failles à écoulement temporaire et plus aléatoires dans les milieux où l'écoulement est permanent. Ces derniers peuvent donc être considérés comme des « îles » relativement indépendantes les unes des autres et entre lesquelles le flux de diaspores s'effectue mal ou aléatoirement. Cela peut expliquer la relation entre l'abondance locale d'une espèce et sa rareté au niveau régional. En effet plusieurs taxons présentent une forte dominance locale (*Homalium letestui* Pellegr., *Synsepalum passargei* (Engl.) T.D.Penn., *Heisteria parvifolia* Sm., *Garcinia afzelii* Engl.) alors qu'ils sont très rares au niveau du pays, parfois présents dans un seul site de notre inventaire. Ce confinement (ou cette « insularité ») est très dépendant des vecteurs de dispersion : ces taxons très localisés peuvent ne pas se disperser en raison de l'absence du disperseur animal ou des barrières écologiques jouxtant ces milieux (savanes, villages, routes, passage du feu...), qui empêchent le passage de ces disperseurs d'un site à l'autre. En revanche les espèces anémochores comme celles qui occupent les failles temporaires ou les espèces dispersées par les animaux volants (oiseaux ou chauves-souris) capables de franchir ces barrières écologiques pour rejoindre d'autres milieux similaires situés à proximité se distribuent de manière plus homogène et la connexité des populations est entretenue. C'est notamment le cas des *Ficus*, dispersés par les grandes chauves-souris frugivores capables de franchir aisément les barrières écologiques, qui sont présents dans tous les milieux et qui par conséquent ne participent pas à la définition floristique d'un site. C'est également le cas pour toutes les espèces qui se situent au centre de l'analyse factorielle présentée plus haut telles que *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC., *Manilkara obovata* (Sabine & G.Don) J.H.Hemsl., *Saba senegalensis* (A.DC.) Pichon et qui se retrouvent indépendamment d'une classification des milieux. La composition floristique de ces îlots forestiers semblent donc très dépendantes des capacités de dispersion des espèces et localement de la présence de barrières écologiques.

Les communautés de petits mammifères terrestres et volants de ces sites forestiers du sud Mali montrent une diversité importante, qui représente une part prépondérante de la biodiversité régionale dans ces groupes (près de 40% des espèces recensées dans l'ensemble de la région sahélo-soudanienne ouest africaine par Granjon & Duplantier 2009, 86% de la diversité des chauves-souris du Mali). Le caractère mosaïque des habitats de cette région de transition « forêt-savane » est probablement en grande partie responsable de cet état de fait, comme mis en évidence pour les chauves-souris du Parc National de la Comoé au nord-est de la Côte d'Ivoire par Fahr & Kalko (2010). La composition spécifique de la communauté des rongeurs apparaît ainsi très similaire à celles du Parc National de la Comoé (Mess & Krell 1999) ou du Parc National du Haut Niger en Guinée (Ziegler et al. 2002), tous deux situés dans cette même zone de transition.

Ces communautés de rongeurs et chauves-souris du sud Mali présentent en outre des traits communs : elles sont les plus similaires dans les régions du Bafing et au sud des Mts Mandingues, représentant les prolongements du massif du Fouta Djallon guinéen au Mali.

Dans ces régions, on retrouve exclusivement quelques espèces très liées au milieu rocheux (*Felovia vae* chez les rongeurs, *Rhinolophus guineensis* et *Miniopterus villiersi* chez les chauves-souris). En revanche, c'est dans la région de Sikasso que sont rencontrées le plus d'espèces à affinités guinéennes (*Praomys rostratus*, *Lemniscomys striatus*, *Funisciurus pyrropus*, *Mus minutoides* chez les rongeurs, *Hypsignathus monstrosus*, *Rhinolophus alcyone*, *Hipposideros cyclops*, *Kerivoula lanosa*, *Mimetillus moloneyi* chez les chauves-souris), en relation avec la pluviométrie plus abondante dans cette région et le relativement meilleur état de continuité de l'habitat forestier mis en évidence dans les analyses cartographiques.

Il convient de signaler toutefois que dans tous les groupes étudiés ici, un cortège d'espèces de forêt dense guinéenne, que Musser & Carleton (2005) ont qualifiées d' « endémiques ouest africaines » pour ce qui est des rongeurs, manque à l'appel. Ces absences confirment les résultats de White (1983) et de Dowsett-Lemaire & Dowsett (2005) selon lesquels les forêts humides du sud Mali ne sauraient être considérées comme vraiment représentatives de la forêt guinéo-congolaise typique sur la base de leur composition en plantes et en oiseaux.

Les informations génétiques obtenues sur les 3 modèles choisis ont montré dans tous les cas l'existence de structuration, à des échelles différentes, selon un axe longitudinal. Chez les chauves-souris du genre *Hipposideros*, à capacités de dispersion relativement importantes, cette structuration est évidente à l'échelle panafricaine dans les différents clades identifiés dans le complexe d'espèces *H. caffer/ruber*, mais semble également exister à l'échelle régionale, ce qui devra être confirmé sur un échantillon plus représentatif. *Carapa procera*, arbre dont la dissémination des graines est dépendante de l'eau, voire de disperseurs animaux de grande taille, a également montré une structuration à l'échelle du sud Mali, avec des lignées bien différenciées longitudinalement. C'est également entre un groupe « Est » et un groupe « Ouest » que se différencient les populations du rongeur *Praomys rostratus* inféodé aux galeries forestières, ce dernier groupe montrant une sous-structuration forte. Dans ce dernier exemple, il semble qu'on ait affaire aux conséquences d'une fragmentation récente de l'habitat forestier sur la structure génétique du rongeur, se surimposant à une histoire phylogéographique plus ancienne associée aux oscillations climatiques du Quaternaire (Nicolas *et al.*, 2008).

Dans tous les cas, l'hypothèse d'un rôle des bassins versants des grands fleuves et rivières ouest africains (et en particulier ceux du Sénégal et du Niger) dans la diversification génétique des lignées semble probable. Dans cette hypothèse, ce ne seraient pas les cours d'eau qui constitueraient des barrières à l'origine de la différenciation entre lignées comme chez des rongeurs à distribution plus sahélienne tels *Praomys daltoni* (Bryja *et al.* sous presse), *Mastomys erythroleucus* (Brouat *et al.* 2009) ou *Taterillus* spp (Dobigny *et al.* 2005), mais plutôt les zones de crête, limites entre les bassins versants adjacents. Cet effet « barrière » serait d'autant plus important que l'on se situerait au nord, i.e. près de la limite de distribution des espèces forestières concernées, où les conditions climatiques n'autorisent pas l'installation d'un habitat favorable en dehors des zones à écoulement permanent.

## **F – Conclusion / perspectives**

Les inventaires réalisés dans le cadre de cette étude montrent que la diversité biologique du Mali est encore largement méconnue. Jusqu'à présent la plupart des inventaires se sont principalement concentrés sur la matrice bioclimatique de savane soudanienne. Cependant, les milieux à forte disponibilité hydrique étudiés dans le cadre de ce projet révèlent une biodiversité très différente de celle située dans savane pourtant située à proximité et présentent des affinités plus étroites avec la forêt guinéo-congolaise. Grâce à ce projet, plus de 20 espèces de ligneux, 30 espèces de chauves-souris et plusieurs espèces de rongeurs

s'ajoutent aux listes biologiques du Mali pour moins de 50 sites étudiés, de surface parfois inférieure à 1ha. La poursuite de ces inventaires permettra sans aucun doute de compléter ces listes. Cependant ces études sur la biodiversité se heurtent à l'absence de référentiel ou de collection au sein du pays de sorte qu'il est difficile de capitaliser la connaissance au niveau de l'état malien : il n'existe pas au Mali d'Institut en charge de constituer et de conserver à long terme une collection de références des espèces animales et végétales. Aucune flore n'a jamais été produite au Mali et aucun herbier national n'existe dans ce pays, ce qui constitue une exception sur le continent africain puisque d'après le New York Botanical Garden qui recense les herbiers nationaux, seuls le Mali, le Tchad et l'Erythrée ne possèdent pas encore leur herbier. Dans le cadre de ce projet nous avons récolté plus de 700 échantillons d'herbiers et malgré le fait que nous avons formé un technicien de l'Institut d'Economie Rurale à la conservation et au montage des planches d'herbier nous sommes dans l'obligation de déposer ces récoltes dans des herbiers situés hors du Mali, à Paris, Bruxelles, Londres et à l'IFAN de Dakar. La problématique est la même pour les collections animales et tous nos échantillons sont donc hébergés dans des collections situées hors du Mali. Dans l'état actuel il est difficilement envisageable de définir sur une base rationnelle les zones à forte biodiversité nécessaires pour s'inscrire dans les initiatives internationales signées par le Mali telles que la convention des Nations Unies contre la désertification, la convention sur la diversité biologique, la convention sur le commerce international des espèces menacées de la faune et la flore ou la convention-cadre sur le changement climatique. Au terme de cette étude nous suggérons donc que les instances nationales ou internationales ainsi que les programmes en charge du développement prennent conscience que sans ces instruments de recherche, la flore et la faune de ce pays resteront mal connues car peu accessibles aux scientifiques et étudiants locaux, que certaines espèces pourraient disparaître avant d'avoir été inventoriées et que la définition des espèces à protéger, des zones de conservation, des réserves et des aires protégées s'appuient parfois sur des données peu documentées. C'est ainsi que le gouvernement malien a fait inscrire une loi (N° 95-004 datée de décembre 1994) qui définit les conditions générales pour la conservation, la protection, la valorisation des ressources forestières nationales dans le domaine forestier, et dans laquelle l'article 17 préconise 11 espèces à protéger impérativement (*Elaeis guineensis*, *Borassus aethiopicum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Azelia africana*, *Acacia senegal*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Bombax costatum*, *Khaya senegalensis*, *Acacia albida*, et *Anogeissus leiocarpa*), alors que toutes ces espèces sont en réalité très fréquentes et possèdent une distribution spatiale suffisamment étendue pour que leur disparition ne soit pas à craindre.

Les milieux étudiés dans ce programme de recherche présentent des caractéristiques biologiques globales originales vis-à-vis de la savane voisine, et montrent également de nombreuses particularités locales. Les analyses de similitude réalisées entre les différents milieux, tant d'un point de vue floristique que faunistique, confirment qu'il existe relativement peu d'interconnexions entre ces fragments forestiers, au moins entre grandes régions. Par ailleurs, les communautés révèlent une forte structuration longitudinale (ouest-est) entre les massifs forestiers, tendance qui se retrouve par ailleurs dans l'organisation génétiques des trois modèles étudiés en détail (*Carapa*, *Praomys*, *Hipposideros*). Ces résultats doivent être approfondis afin de valider notamment la forte structuration génétique observée selon l'axe ouest-est. Pour le groupe des chauves-souris, cette étude confirme la nécessité de procéder à une révision taxonomique approfondie en croisant les données moléculaires avec les données morphologiques et écologiques, et d'autres inventaires sont encore nécessaires notamment pour préciser les limites géographiques et les zones de contacts des différentes lignées, reconstituer leur histoire et leurs liens avec les zones forestières refuges régionales du Quaternaire. D'autre part la structuration génétique et géographique observée dans le

complexe *Carapa* demande des travaux supplémentaires pour distinguer précisément le polymorphisme intraspécifique de la différenciation interspécifique. Pour aborder ces questions, nous avons créé un groupe de travail dans le but de monter un projet de recherche sur *Carapa* à l'échelle de toute l'Afrique, associant les échantillons récoltés dans le cadre de notre projet à ceux récoltés dans d'autres initiatives ou institutions telles que le projet ANR-Ifora, l'IFAN de Dakar, l'Université Libre de Bruxelles ou le Missouri Botanical Garden.

Cette structuration spatiale de la composition des communautés et de l'organisation génétique confirme le fait que ces morceaux de forêts constituent des îlots inclus dans la matrice de savane et que les échanges entre ces îlots sont devenus rares notamment en raison de l'importance croissante des barrières écologiques liées aux effets du changement global (changement climatique et activités humaines). Étant donné le peu de relations actuelles entre ces fragments et les massifs forestiers continus situés plus au Sud, l'hypothèse d'une installation principale de ces milieux lors de phases plus humides semble confirmée même s'il est difficile de dater précisément l'époque. Les derniers épisodes humides de l'holocène (8000 BP) ont probablement participé à cette installation mais il est impossible, dans l'état actuel de nos données et observations de faire la part de l'holocène et de périodes humides plus anciennes (comme le dernier maximum glaciaire du quaternaire, 22000 BP) dans l'établissement de ces milieux. Cette hypothèse d'une installation ancienne de ces forêts et de leur maintien depuis au moins 8000 ans renforcent parallèlement l'idée que l'homme sédentaire, installé dans cette région de l'Afrique de l'Ouest depuis environ 3000-3500 ans (Tallis, 1990) a vécu à proximité, a exploité et a assuré le maintien durant toute cette période de ces milieux forestiers. Peu de travaux sont consacrés à l'occupation et aux modalités d'activité humaines dans ces habitats. Néanmoins nos observations et nos discussions avec les villageois incitent à penser à un impact traditionnel modéré de l'homme sur ces îlots forestiers. Ces milieux sont peu parcourus, principalement par les chasseurs et thérapeutes (qui la plupart du temps sont des fonctions remplies par la même personne) de sorte que l'utilisation des ressources faunistiques et floristiques n'est pas comparable avec celle de la savane voisine. Par ailleurs, toutes ces formations forestières ne sont pas des milieux propices aux activités humaines. Les forêts galeries à écoulement permanent représentent les milieux les plus intéressants pour les activités humaines, principalement l'agriculture et le maraîchage, dès lors que les rives sont peu abruptes et que l'écoulement est permanent sinon elles deviennent inexploitable et sont généralement conservées. Les forêts de failles intéressent quant à elles peu de villageois en raison de leur relative inaccessibilité et de leur relief abrupt. Enfin l'homme ne peut pas être considéré dans son ensemble sans prendre en compte le statut social, son appartenance aux villages jouxtant ces forêts ou son intérêt personnel ou collectif. Les plus importantes perturbations que nous avons observées dans ces massifs forestiers sont occasionnées par des personnes étrangères aux villages voisins qui viennent équipées de camion et de tronçonneuse pour abattre et débiter sur place des grands arbres (*Ceiba* ou *Anogeissus* en particulier) qui seront revendus dans les centres urbains situés à proximité. Finalement il apparaît que l'homme a façonné et façonne toujours les paysages actuels du Mali, mais il est probable que cet impact a aujourd'hui plus de conséquences du fait du contexte environnemental et social actuel. Afin de dresser un état précis de la dynamique sociale autour de ces fragments forestiers il convient de réaliser une étude globale pour définir les interrelations complexes entre processus écologiques, dynamique socio-économique et politiques officielles locales, en tenant compte des particularismes régionaux de tout ordre.

## G- Références

- Angiosperm Phylogeny Group III, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **161**: 105–21
- Arbonnier, M., 2000. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD, Montpellier 541 p.
- Aubréville, A., 1959 – *La flore forestière de la Côte D'ivoire*. 2<sup>nd</sup> édition. Tome I à III, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne, France
- Ag Sidiyène, E. & Tranier, M., 1990. Données récentes sur les Mammifères de l'Adrar des Iforas (Mali). *Mammalia* **54**: 472-477.
- Al-Jumaily, M. M., 2002. *Chaerephon nigeriae* THOMAS, 1913, an addition to the bat fauna of the Republic of Yemen (Mammalia: Chiroptera: Molossidae). *Myotis*, **40**: 55-58.
- Berhaut, J., 1967. *Flore du Sénégal*. 2<sup>nd</sup> édition. Clairafrique (ed.), Dakar. 388 p.
- Braestrup, F. W., 1935. Report on the mammals collected by Mr. Henry Madsen during Professor O. Olufsen's Expedition to French Sudan and Nigeria in the years 1927-28. *Vidensk. Medd. Dansk naturhist. Foren. Kobenh.*, **99**: 73-130.
- Boudet, G., Lebrun, J.-P. & Demange, R., 1986. *Catalogue des plantes vasculaires du Mali*. Maison Alfort, Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 485 p.
- Brouat, C., Tatard, C., Bâ, K., Cosson, J.-F., Dobigny, G., Fichet-Calvet, E., Granjon, L., Lecompte, E., Loiseau, A., Mouline, K., Piry, S., & Duplantier, J.M., 2009. Phylogeography of the Guinea multimammate mouse (*Mastomys erythroleucus*): a case study for Sahelian species in West Africa. *J. Biogeography*, **36**: 2237–2250.
- Bryja, J., Patzenhauerová, H., Granjon, L., Dobigny, G., Konečný, A., Duplantier, J.M., Gauthier, P., Colyn, M., Durnez, L., Lalis, A. & Nicolas, V., Plio-Pleistocene history of West African Sudanian savanna and the phylogeography of the *Praomys daltoni* complex (Rodentia): The environment / geography / genetic interplay. *Molecular Ecology* (sous presse)
- Chollet S., 2008. *Position phylogénétique et phylogéographie comparée de chauves-souris d'Afrique de l'Ouest*. Mémoire de Stage de M1, Master Sciences et Technologies. Géosciences, Agroressources, Environnement, Université Montpellier 2, 23p.
- CIRAD-CTFT, BDPA, SCET-AGRI, 1988a. *Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali - rapport de synthèse, première phase - Les formations végétales*. Mali, Ministère chargé des ressources naturelles et de l'élevage, Direction nationale des eaux et forêts, CIRAD, coll. Rapport de projets, février 1988, 205 p.
- CIRAD-CTFT, BDPA, SCET-AGRI, 1988b. *Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali - Carte des formations végétales - Echelle 1 : 1 000 000*. Mali, Ministère chargé des ressources naturelles et de l'élevage, Direction nationale des eaux et forêts, CIRAD, coll. Rapport de projets, février 1988.
- CIRAD-CTFT, BDPA, SCET-AGRI, 1988c. *Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali - Carte des formations végétales - Echelle 1 : 200 000*. Mali, Ministère chargé des ressources naturelles et de l'élevage, Direction nationale des eaux et forêts, CIRAD, coll. Rapport de projets, février 1988.
- Colwell, R.K., 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Permanent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R.K., Mao, C.X. & Chang, J., 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* **85**: 2717-2727.
- Dobigny, G., Cornette, R., Moulin, S. & Ag Sidiyène, E., 1999. The mammals of Adrar des Iforas (Mali), with special emphasis on small mammals: Systematic and biogeographic implications, in: *8th International African Small Mammal Symposium*, (eds. Denys, C. et al.), IRD Editions, Paris : 445-458.
- Dobigny, G., Aniskin, V., Granjon, L., Cornette, R. & Volobouev, V., 2005. Very recent radiation in West African Taterillus: the concerted role of chromosome and climatic changes. *Heredity*, **95**: 358–368
- Dowsett-Lemaire, F. & Dowsett, R.J., 2005. The avifauna of the dry evergreen forests of Mali. *Malimbus* **27**:77-111.

- Duminil, J., Caron, H., Scotti, I., Cazal, S.-O. & Petit, R.J., 2006. Blind population genetics survey of tropical rainforest trees. *Molecular Ecology* **15**: 3505-3513.
- Duvall, C.S., 2000. Important habitat for chimpanzees in Mali. *Afr. Stud. Monogr.*, **21**: 173-203.
- Duvall, C.S., 2003. Symbols, not data: rare trees and vegetation history in Mali. *The Geographical Journal*, **169**: 295-312.
- Fahr, J. & Kalko, E. K. V., 2010. Biome transitions as centres of diversity: Habitat heterogeneity and diversity patterns of West African bat assemblages across spatial scales. *Ecography*, **33**: 1-19.
- Granjon L. & Dobigny G., 2003. The importance of chromosomally-based identifications for correct understanding of African rodent zoogeography: Lake Chad murids as an example. *Mammal Rev.*, **33**:77-91.
- Granjon L. & Duplantier J.M., 2009. Les Rongeurs de l'Afrique sahélo-soudanienne. IRD/MNHN (Collection Faune et Flore tropicale n° 43), Marseille, 214p.
- Hatt, R. T., 1928. Note sur un chéiroptère nouveau du Soudan Français (note présentée par M. Th. Monod). I. Introduction (par Th. Monod); II. *Chaerophon (Lophomops) nigri* sp. n. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **53**: 374-376.
- Hayman, R. W. & Hill, J. E., 1971. Order Chiroptera, in: *The Mammals of Africa, an Identification Manual*, (eds. Meester, J. & Setzer, H. W.), 1-73. Smithsonian Institution, Washington, D.C.
- Hawthorne, W. D., 1990. Field Guide to the Forest Trees of Ghana. Chatham: National Resources Institute, for the Overseas Development administration, London, *Ghana Forestry Series* 1, 278 p.
- Hawthorne, W. D & Jongkind, C.C.H., 2006 - Woody Plants of Western African Forests: A guide to the forest trees, shrubs and lianes from Senegal to Ghana. Royal Botanic Gardens, Kew, 1023pp
- Hutchinson, J., Dalziel, J.M, Keay, R.W.J. & Hepper, F.N., 1954-1972 – Flora of West Tropical Africa. Vol I à III, second edition. The Whitefriars Press (Ed.), London, Tonbridge, England.
- Loiseau, A., Konečný, A., Galan, M., Bryja, J., Cosson, J.-F. & Brouat, C., 2007. New polymorphic microsatellite loci for rodents of the genus *Mastomys* using PCR multiplexing, and cross-species amplification in *Myomys* and *Praomys*. *Molecular Ecology Notes*, **7**: 684-687
- Meinig, H., 2000. Notes on the mammal fauna of the southern part of the Republic of Mali, West Africa. *Bonn. zool. Beitr.* **49**(1-4): 101-114.
- Mess, A. & Krell, F.T., 1999. Liste préliminaire des Rongeurs et des Musaraignes du Parc National de la Comoé, en Côte d'Ivoire (Mammalia: Rodentia, Insectivora: Soricidae). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Ser.A*, **586**: 1-11.
- Musser, G.G. & Carleton, M.D., 2005. Superfamily Muroidea. In: Wilson DE, Reeder DM (eds), *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*, vols. 1 and 2, John Hopkins University Press, Baltimore: 894-1531.
- Nekola, J. C. & White, P. S., 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *J. Biogeogr.* **26**(4): 867-878.
- Nicolas, V., Bryja, J., Akpatou, B., Konečný, A., Lecompte, E., Colyn, M., Lalis, A., Couloux, A., Denys, C. & Granjon, L., 2008. Comparative phylogeography of two sibling species of forest-dwelling rodent (*Praomys rostratus* and *P. tullbergi*) in West Africa: Different reactions to past forest fragmentation. *Molecular Ecology*, **17**: 5118-5134.
- Pélissier, R. & Couteron, P., 2007. An operational, analytical framework for species diversity partitioning and beta-diversity analysis. *Journal of Ecology*, **95**: 294-300.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**(3-4): 231-259.
- Phillips, S. J. & Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* **31**(2): 161-175.
- Rosevear, D. R., 1965. *The Bats of West Africa*. Trustees of the British Museum (Natural History), London.
- Rousselot, R., 1950. Les rousettes du Soudan (animaux nuisibles). *Compt. rend. Conf. Internation. Afr. Ouest* **1**: 233-238.
- Sanborn, C. C., 1936. Descriptions and records of African bats. *Zool. Ser. Field Mus. Nat. Hist.* **20**(14): 107-114.

- Simmons, N.B., 2005. Order Chiroptera. *in* Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference, 3rd edition (Wilson, D.E. & Reeder, D.M., eds.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland: 312–529.
- Soininen, J., McDonald, R. & Hillebrand, H., 2007. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* **30**(1): 3-12.
- Tallis, J. 1990. *Climate Change and Plant Communities*. Academic Press, London.
- Thioulouse, J., Chessel, D., Doledec, S. & Olivier, J.M., 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, **7**: 75-83.
- Vallo, P., Guillén-Servent, A., Benda, P., Pires, D.B. & Koubek, P., 2008. Variation of mitochondrial DNA in the *Hipposideros caffer* complex (Chiroptera: Hipposideridae) and its taxonomic implications. *Acta Chiropterologica*, **10**(2): 193–206.
- White, F. 1983. *The vegetation of Africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa*. UNESCO, Natural Resour. Res. 20: 1-356.
- Ziegler, S., Nikolaus, G. & Hutterer, R., 2002. High mammalian diversity in the newly established National Park of Upper Niger, Republic of Guinea. *Oryx*, **36**: 73-80.

Annexe : copie des publications

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).*

#### **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PARUES**

*Merci de joindre des copies des publications, et d'indiquer les restrictions éventuelles en termes de droits de reproduction (notamment sur le site Internet du Meeddm ou d'Ecofor)..*

Nicolas V., Bryja J., Akpatou B., Konecny A., **Lecompte E.**, Colyn M., Lalis A., Couloux A., Denys C. & **Granjon L.** 2008. Compared phylogeography of two forest rodent sibling species (*Praomys rostratus* and *P. tullbergi*) in West Africa: a Pleistocene history of divergence. *Molecular Ecology*, 17: 5118–5134.

#### **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES A PARAITRE**

Copie des versions provisoires

**Weber, N, Birnbaum, Ph, Forget, PM**, Gueye, M. & Kenfack, D., L'huile de carapa (*Carapa* spp., Meliaceae) en Afrique de l'Ouest: utilisations et implications dans la conservation de l'environnement. *Fruits* (sous presse)

Bryja, J., Patzenhauerová, H., **Granjon, L.**, Dobigny, G., Konečný, A., **Duplantier, J.M.**, Gauthier, P., Colyn, M., Durnez, L., Lalis, A. & Nicolas, V., Plio-Pleistocene history of West African Sudanian savanna and the phylogeography of the *Praomys daltoni* complex (Rodentia): The environment / geography / genetic interplay. *Molecular Ecology* (sous presse)

#### **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PREVUES**

**Granjon, L. & Duplantier, J.-M.** - Guinean biodiversity at the edge: Rodents in Southern Mali forest fragments. Soumis à *Mammalian Biology*

**Lecompte et al.** – génétique des population de *Praomys rostratus*

**Cosson J.F. et al.** – Phylogénie et phytogéographie des chauves-souris du complexe *Hipposideros caffer/ruber*

**Duval & Birnbaum** – Biogéographie et capacité de dispersion des espèces ligneuses de la zone soudanienne du Mali

**Webber et al.** – Les communautés de chauves-souris du Sud Mali

## **ANNEXE : PARTIE CONFIDENTIELLE**

*Vous pouvez insérer ici toute information ou résultat qui revêt une part de confidentialité.*

*Merci de préciser le degré de confidentialité de ces données.*

*Nous vous recommandons de préciser dans la partie non confidentielle l'existence de ces données confidentielle et d'expliquer la raison de leur confidentialité.*

*Cette partie ne sera pas diffusée sur le site Internet du Ministère ou d'Ecofor.*

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).*

*Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.*

# ANNEXES

**Annexe 1. Liste des échantillons de chauves-souris du genre *Hipposideros* dont les séquences de cyt b ont été obtenues / analysées.**

<b>Species</b>	<b>clade</b>	<b>Coll.-N°</b>	<b>Country</b>	<b>Region</b>	<b>Locality</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Genbank</b>	<b>Reference</b>
<i>gigas</i>	<i>gigas</i>	S1032	Senegal	Niokolo Koba NP	Dar Salam	13.2500	-13.2167	EU934469	Vallo et al (2008)
<i>gigas</i>	<i>gigas</i>	S1404	Senegal	Niokolo Koba NP	Dar Salam	13.2500	-13.2167	EU934470	Vallo et al (2008)
<i>jonesi</i>	<i>jonesi</i>	pb3513	Benin		Awaya, 1 km E, 10 km E of Dassa	7.7833	2.2667	EU934471	Vallo et al (2008)
<i>jonesi</i>	<i>jonesi</i>	S804	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindefelo	12.3500	-12.3167	EU934472	Vallo et al (2008)
<i>jonesi</i>	<i>jonesi</i>	S854	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindefelo	12.3500	-12.3167	EU934473	Vallo et al (2008)
<i>cyclops</i>	<i>cyclops</i>	S02-61	Senegal	Niokolo Koba NP	Assirik	12.8833	-12.7167	EU934465	Vallo et al (2008)
<i>cyclops</i>	<i>cyclops</i>	S747	Senegal	Niokolo Koba NP	Badi	13.1333	-13.2167	EU934466	Vallo et al (2008)
<i>beatus</i>	<i>beatus</i>	34392	Ivory Coast	Mt. Péko-NP	6 km W Sibabli	6.9333	-7.2167	FJ347975	Vallo et al (2008)
<i>beatus</i>	<i>beatus</i>		DR Congo	Ituri	2 km W Epulu, right bank river	1.4167	28.5833	FJ347976	Vallo et al (2008)
<i>fuliginosus</i>	<i>fuliginosus</i>	AR GB.5.Afia	Guinea Bissau	Afia	Dangoré	11.3358	-14.8961	EU934467	Vallo et al (2008)
<i>fuliginosus</i>	<i>fuliginosus</i>	AR GB.2.Cunfa	Guinea Bissau	Cunfa	Mata Cacumulan	11.1241	-14.9268	EU934468	Vallo et al (2008)
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW125	Guinea	Fetto near Foye	Karanka River	10.3009	-12.2892		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW440	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW442	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW447	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW448	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW460	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW519	Mali	Bafing	Camp Manantali	13.1699	-10.4344		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW604	Mali	Bafing	Camp Balé (Bantakouloumba)	12.3176	-10.0130		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	NW642	Mali	Bafing	Sanfinian (Balé River)	12.5189	-9.9249		cette étude
<i>abae</i>	<i>abae</i>	pb3523	Benin		Awaya, 1 km E, 10 km E of Dassa	7.7833	2.2667	EU934446	Vallo et al (2008)
<i>abae</i>	<i>abae</i>	pb3524	Benin		Awaya, 1 km E, 10 km E of Dassa	7.7833	2.2667	EU934447	Vallo et al (2008)
<i>abae</i>	<i>abae</i>	S822	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindefelo	12.3500	-12.3167	EU934448	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	A1		Mozambique		Gerhard's cave	-21.5167	35.1000	EU934451	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	A1	DSJ HC2	South Africa	Mpumalanga	Kruger NP			EU934452	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	A1		Swaziland		Kubuta			EU934458	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	A1		Swaziland		Hlane NP			EU934459	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	A1		South Africa	KwaZulu-Natal	Mkuzi Reserve	-27.6167	32.2333	FJ347979	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	pb2911	Yemen	Sana'a	Sana village	15.2833	44.1667	EU934463	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	pb2913	Yemen	Sana'a	Sana village	15.2833	44.1667	EU934464	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	pb3833	Morocco		Sidi Binzarne	30.0667	-9.6667	EU934449	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	pb3834	Morocco		Sidi Binzarne	30.0667	-9.6667	EU934450	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	S235	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934454	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	S1217	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934455	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	S748	Senegal	Niokolo Koba NP	Badi	13.1333	-13.2167	EU934456	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	S818	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindefelo	12.3500	-12.3167	EU934457	Vallo et al (2008)
<i>tephrus</i>	A2	COI318	Morocco		Cueva Tiguerte, 30 km NW Agadir	30.6333	-9.8333	FJ347977	Vallo et al (2008)
<i>caffer/ruber</i>	A2	NW515	Mali	Bafing	Camp Manatali	13.1699	-10.4344		cette étude
<i>tephrus</i>	A2	dik7	Mali	Bafing	Diakabé	12.9588	-10.4661		cette étude
<i>tephrus</i>	A2	kor50	Burkina Faso		Cascade de Kou (Koro village)	11.1523	-4.2072		cette étude

<i>caffer</i>	B1	NW050	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	NW051	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	NW052	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	NW056	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	NW057	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	NW058	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>caffer</i>	B1	bal9	Mali	Bafing	Balinn River (near Galamadji)	12.9120	-10.6525		cette étude
<i>caffer</i>	B1	tou2	Mali	Bafing	Toumania	13.0097	-10.4646		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	B1	NW507	Mali	Bafing	Camp Manatali	13.1699	-10.4344		cette étude
<i>caffer</i>	B1	S862	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindefelo	12.3500	-12.3167	EU934453	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	B2	pb3521	Benin		Awaya, 1 km E, 10 km E of Dassa	7.7833	2.2667	EU934474	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	B2	pb3522	Benin		Awaya, 1 km E, 10 km E of Dassa	7.7833	2.2667	EU934475	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	B3	pb2624	Tanzania	Zanzibar	Slave cave	-6.0000	39.1900	EU934460	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	B3	pb2625	Tanzania	Zanzibar	Slave cave	-6.0000	39.1900	EU934461	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	B3	pb2632	Tanzania	Zanzibar	Kiwengwa	-6.0167	39.3833	EU934462	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	B3	Mw155	Malawi		Mulanje, Chipoka village	-16.0333	35.5000	EU934477	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	B3		Kenya	Shimba Hills	Mwele Forest	-4.2919	39.3508	FJ347980	Vallo et al (2008)
<i>caffer</i>	C1	34362	Ivory Coast	Mt. Péko-NP	6 km W Sibabli	6.9333	-7.2167	FJ347978	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1		DR Congo	Ituri	2 km W Epulu, right bank river	1.4167	28.5833	FJ347986	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1		Uganda	South Buganda	Bugala Island, Kalangala	-0.2992	32.2925	FJ347987	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1	NW400		Madina Diassa	Baoulé River (near Manfalakobolo)	10.7472	-7.7070		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	C1	NW632	Mali	Bafing	Camp Galle (Simakourouma)	12.5574	-9.4929		cette étude
<i>ruber</i>	C1	NW781	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
sp.	C1	tsn10	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn11	Burkina Faso		Toussiana	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn12	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn4	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn6	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn7	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn8	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
sp.	C1	tsn9	Burkina Faso		Toussiana (Banfora cliff)	10.8443	-4.5987		cette étude
<i>ruber</i>	C1	DBP 150	Cameroon		Linte	5.4000	11.7000	FJ347989	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1	DBP 342	Cameroon		Mindourou	3.5000	12.8167	FJ347992	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1	DBP 348	Cameroon		Mindourou	3.5000	12.8167	FJ347993	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1	DBP pw2	Cameroon		Kousse	4.4500	11.5667	FJ347995	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C1	DBP 105	Cameroon		Dja Reserve	3.1833	12.8167	FJ347996	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	P811	Sao Tomé	Príncipe				FJ347981	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	ST813	Sao Tomé	Sao Tomé		0.2167	6.7167	FJ347982	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	M815	Equat. Guinea	Bioko	Malabo	3.7500	8.7167	FJ347983	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	RM815	Equat. Guinea	Rio Muni		1.8667	9.7667	FJ347984	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	RM816	Equat. Guinea	Rio Muni		1.8667	9.7667	FJ347985	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	DBP 99-117	Cameroon		Dikome Balue	4.9167	9.2500	FJ347988	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	DBP 265	Cameroon		Kribi	2.7667	9.8833	FJ347990	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	DBP 267	Cameroon		Kribi	2.7667	9.8833	FJ347991	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	C2	DBP 356	Cameroon		Mindourou	3.5000	12.8167	FJ347994	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D1	S1400	Senegal	Niokolo Koba NP	Dar Salam	13.2500	-13.2167	EU934480	Vallo et al (2008)

<i>ruber</i>	D1	pb3553	Benin		Tagayé, 15 km SW of Natitingou	10.2500	1.2667	EU934476	Vallo et al (2008)
<i>sp.</i>	D1	dou29	Burkina Faso		Koba River (near Dounonso)	10.8460	-4.1062		cette étude
<i>ruber</i>	D1	kor29	Burkina Faso		Dafra	11.1083	-4.2500		cette étude
<i>ruber</i>	D1	kor5	Burkina Faso		Dafra	11.1102	-4.2505		cette étude
<i>ruber</i>	D1	NW709	Mali	Sikasso	Woroni (Cascades)	10.7812	-5.5606		cette étude
<i>ruber</i>	D1	NW737	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
<i>ruber</i>	D1	NW763	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
<i>ruber</i>	D1	pia11	Mali	Sikasso	Piama	10.8708	-6.1096		cette étude
<i>ruber</i>	D2	S119	Senegal	Niokolo Koba NP	Lengue	13.0500	-13.0833	EU934478	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S1374	Senegal	Niokolo Koba NP	Dar Salam	13.2500	-13.2167	EU934479	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S272	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934481	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S273	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934482	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S275	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934483	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S285	Senegal	Niokolo Koba NP	Simenti	13.0167	-13.2833	EU934484	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	S820	Senegal	Niokolo Koba NP	Dindéfelo	12.3500	-12.3167	EU934485	Vallo et al (2008)
<i>ruber</i>	D2	dik10	Mali	Bafing	Diakabé	12.9588	-10.4661		cette étude
<i>ruber</i>	D2	far6	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW043	Guinea	Sougouéta	Grotte Kabeleya	10.1499	-12.5399		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW055	Guinea	Sougouéta	Soutou River	10.1543	-12.5418		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW071	Guinea	Sougouéta	Grotte Kabeleya	10.1499	-12.5399		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW184	Guinea	Diari, Saala	Saala River	11.2942	-12.5139		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW277	Mali	Sikasso	Woroni (Cascades)	10.7812	-5.5606		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW325	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW371	Mali	Madina Diassa	Baoulé River (near Manfalakobolo)	10.7472	-7.7070		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW389	Mali	Madina Diassa	Baoulé River (near Manfalakobolo)	10.7472	-7.7070		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW413	Mali	Pl. Mandingue	Tomboni (4 km S Massakolomba)	12.2708	-8.7599		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW420	Mali	Pl. Mandingue	Tomboni (4 km S Massakolomba)	12.2708	-8.7599		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW430	Mali	Pl. Mandingue	Grotte Famansa	12.2220	-8.7718		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW431	Mali	Pl. Mandingue	Grotte Famansa	12.2220	-8.7718		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW459	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW474	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW475	Mali	Pl. Mandingue	Grotte de Chauves Souris	12.3727	-8.3671		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW503	Mali	Bafing	Camp Manatali	13.1699	-10.4344		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW510	Mali	Bafing	Camp Manatali	13.1699	-10.4344		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW548	Mali	Bafing	Guimbaya Kokunso	12.9468	-10.4663		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW631	Mali	Bafing	Camp Galle (Simakourouma)	12.5574	-9.4929		cette étude
<i>caffer/ruber</i>	D2	NW643	Mali	Bafing	Sanfinian (Balé River)	12.5189	-9.9249		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW644	Mali	Bafing	Sanfinian (Balé River)	12.5189	-9.9249		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW646	Mali	Bafing	Sanfinian (Balé River)	12.5189	-9.9249		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW655	Mali	Bafing	Sanfinian (Balé River)	12.5189	-9.9249		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW689	Mali	Sikasso	Woroni (Cascades)	10.7812	-5.5606		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW730	Mali	Sikasso	Site de Farako (ESE of Sikasso)	11.2305	-5.4366		cette étude
<i>ruber</i>	D2	NW840	Mali	Pl. Mandingue	Nafadji (Pl. Mandingue)	12.3791	-8.8141		cette étude
<i>ruber</i>	D3	34332	Ivory Coast	Mt. Péko-NP	6 km W Sibabli	6.9333	-7.2167	EF584226	Vallo et al (2008)

## **Anthropogenic influences on vegetation structures in West African savanna landscapes, with a focus on southern Mali**

### **1. Introduction and Background**

Assessing the relations between anthropogenic influences and landscape dynamics in West Africa during the last centuries is challenging since human activities are not only manifold and highly variable depending on location and cultural parameters, but also difficult to distinguish from the effects of external factors such as climate. Despite the strong connectivity of social and environmental history in the savannah regions of West Africa (Fairhead & Leach 1996, Kindt et al. 2008), ecologists and conservationists have often neglected socio-cultural or economic processes by focusing on their respective area of expertise. Consequently, the positions of scientists, government and other stakeholders referring to the human footprint on these savannah landscapes are often divergent. Researchers and policy-makers therefore need to apply multiple and interdisciplinary research approaches, aiming at a more holistic view of landscape dynamics in this region (Benjaminsen 1993, Turner 1993, Bassett & Zuéli 2000, Duvall 2003, Goetze et al. 2006).

During colonial times, the destruction of natural vegetation in West Africa was portrayed to be on a devastating level and attributed to traditional local land use practices (cf. Aubréville 1949, Chevalier 1950). Forest patches within savannah landscapes, called “Sudanian dry forests”, were assumed to be remnants of a continuous dense forest that had been degraded by poor land management of local communities. It was never investigated if these patches might constitute a distinct, special forest formation, even though no vestiges of the primary forests have been found (Duvall 2003). Further on, climatologists attributed the exacerbation of droughts to local people, based on Charney’s (1975) study, which delineated that anthropogenic deforestation reduces the capacity of the soil to absorb heat, resulting in a hotter climate. This scenario has later been demonstrated to be more complex, and that other factors than local deforestation are the major drivers of alterations of albedo patterns (Fuller & Ottke 2002). Today, several governments, scientists and non-governmental organisations maintain the opinion that deforestation and desertification in West Africa are omnipresent phenomena, which are primarily caused by the consequences of a high population growth rate and the land management of local populations (Gornitz & NASA 1985, Doumbia 1991, Gilruth et al. 1995, Commission Européenne 2006). However, other recent studies object to this view, claiming that the underlying assumptions are often over-generalized, not realistically representing local realities and based on very limited data on (pre-)colonial activities and land use systems (Mortimore 1989, Benjaminsen 1993, Fairhead & Leach 1994,

1996, Benjaminsen 1997a, 1997b, Bassett & Zuéli 2000, Leach & Fairhead 2000, André et al. 2003, Duvall 2003). Whereas the deficiencies of studies from the colonial period are indisputable, it is important to note that the results of the latter studies are restricted in their applicability likewise since the analyses and interpretations of environmental changes in West Africa need to consider local differences (Nyerges 1996, Nyerges & Green 2000). Here we will present a synthesis of information covering developments during the past centuries. The focus will be on southern Mali, recognizing that even at this narrow geographic scale local peculiarities may exist and that land use impacts at different sites within each study area might be determined by geographical phenomena. We will identify the different stakeholders interested in forest habitats in this area and describe their management strategies, influences and interrelations. We will base our conclusions on the few studies addressing this topic for southern Mali, but also on studies conducted in other regions in West Africa which exhibit similar characteristics as our study areas, and we will include our own observations on the gallery forest in southern Mali.

## **2. Governmental policies and local communities**

Mali, as other countries in francophone West Africa, has passed through enormous alterations of its natural vegetation patterns early in the last century as the colonial forest management had been highly centralized and slanted towards meeting the energy requirements of the French and urban populations (Becker 2001). To fulfil the energy demands of the colony, land use rights of indigenous populations were restricted with the argument to bar them from “destructing” natural resources and to preserve the resources as “classified forests”. Further on, the high value of timber species soon led to their over-exploitation, which was compensated with large-scale plantations of imported fast-growing tree species such as the Australian pine and eucalyptus (Becker 2001). In Mali, as it was the case with post-colonial forest management strategies in other countries, this measure was adopted after the end of the colonial era, and a new parastatal organisation for the management of forest resources, the OAPF (Opération Aménagement et Production Forestière), was implemented in 1989, focusing on the industrial plantation of state-owned eucalyptus (*Eucalyptus* sp., Myrtaceae), neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae) and teak (*Tectona grandis*, Verbenaceae) (Becker 2001).

Generally speaking, the Malian government adopted the colonial opinion that local populations are responsible for environmental degradation and maintained a centralized state authority over land ownership and resource use (Benjaminsen 1997a). Supported by scientists and conservation agencies, the Malian forest management was based on policies that focused on retaining monopolistic control over resources and the restriction of local land use systems (Benjaminsen 1997a, Laris 2002, Duvall 2003). Accordingly, the relations between local and public institutions were tense due to the multiple struggles for power and access to resources

(Benjaminsen 1993, 1997a). The state levied heavy fines for unauthorized cutting of trees or setting fires, but sold permits to fell trees to commercial loggers at the same time.

The situation changed partly in the 90s with the implementation of new laws aiming at decentralisation and cooperation between the state and local communities. For instance, the government developed the “Plan National d’Action Environnementale” (PNAE) in 1998, which pursues the transfer of responsibility for the management of natural resources to local communities. However, these statutes have been criticised by scientists since they lack precise definitions for the rights of local authorities (e.g. village chief) and the legal hold of forestry officers (Direction Nationale des Eaux et Forêts). Further on, international agencies pointed out that the decentralisation process cannot attain its goals as long as the economically poor situation of local communities, hindering sustainable resource management, remains the same and a transfer of competence has taken place (Warshall 1989, Commission Européenne 2006). They also prompt the government to foster the conservation of protected areas with the participation of adjacent communities to avoid further degradation.

Despite the great role of access patterns for the well-being of local populations, truly participatory cooperation between the communities and official forest administration units is still difficult since foresters have a very negative view of local land use practices and are conversely distrusted by villagers due to the arbitrary fines following outdated forest laws they impose (Benjaminsen 1993, 1997a, 1997b). It is crucial for the elimination of these reservations to recognize the different perceptions and uses of natural resources by local communities and governmental institutions (Sow & Anderson 1996, Diallo & Démbélé 2003): whereas the latter consider economically valuable species, mainly timber, as paramount for policy-making and action plans, they neglect other species that local communities might depend on and treasure (Becker 2001).

The long history of tensions between the forestry department and resident populations is exemplified in the situation around the Farako State Forest, near the city of Sikasso: With the official classification of the forest in 1951, one village, Niotiorougou, was entirely relocated, whereas Mamadougou was separated into two small hamlets and Saniena lost the greatest part of its arable crop land (Schneider 1996). Today, the access rights of the residents are still restricted: the surrounding villages only have the authority to manage marginal strips of the forest whereas the largest core is administrated by the forestry service, and a considerable portion of the forest is used for the commercial production of eucalyptus. The villagers reported that some resources are over-exploited by externs and exported to urban markets (Schneider 1996, pers. obs.). For instance, the villagers strictly oppose chopping of old big trees close to the Farako River since these trees are crucial to maintain the year-round water balance, but the local forestry service remits permits to cut these trees to commercial loggers (pers. obs.). Such different views of villagers and governmental forestry officers

concerning forest management are also reported from the Mandingues Mts. (Sow & Anderson 1996) and the Bafing areas (Duvall 2003).

Overall, the combination of centralized and decentralized administration schemes seems to constitute a promising approach. Local communities need to be engaged into the management of the ecosystems in their surroundings. On the other hand, the government authorities need to have an overview of the natural resources of the country, especially endemic and/or endangered species, and be involved into designing protected areas. This is crucial to complement local knowledge, since local communities might not know about the global or national rareness of certain species that are abundant in their area. For instance, *Gilletiodendron glandulosum* (Leguminosae) is a tree species that is frequently encountered in the Bafing study area, but endemic to southwestern Mali and thus a species of global conservation concern that is ranked as “Vulnerable” by the IUCN Red List (IUCN 2009).

### **3. Local communities and land management**

The forest formations we studied in southern Mali are situated in the savannah-forest mosaics of the Sudanian vegetation zone (Fig. 1). They are comprised of gallery and ravine forests, which can occur in pure form or combine features of both types. Whereas the gallery forests, e.g. at the Baoulé River, are characterized by earthy substrates which are rich of humus, the ravine forests, which are the dominant type in the Manding Mts. and the Bafing area, are located on rocky substrates. The broader biogeographic region has a long history of inhabitation and settlement, going back several thousand years (Fairhead & Leach 1996, Bird & Cali 1998, Boffa 1999, Basset & Zuéli 2000, Kindt et al. 2008, Maranz 2009). The landscape management practices of local people and thus the dynamics of land use at the local level mainly depend on geographical features and the interrelations between resource access, control and management (Basset & Zuéli 2000, Becker 2000, 2001, Kindt et al. 2008). Apart from governmental control mechanisms, these parameters are influenced by traditional land tenure systems, which vary between different ethnic groups. However, these systems have in common that they are based on the allocation of land to landless families (often immigrants or poor families) from village authorities and landowners, which are traditionally the legal proprietors of the land since its first colonization (Schneider 1996, Becker 2000, 2001). The lease of land is usually arranged on a long-term basis and it appears to be rare that the cropland is taken back from the tenant, providing for regular harvest cycles and motivating to enrich the land (Schneider 1996). Social inequalities and dependencies arising from the land tenure systems are, as far as possible, compensated by other income sources from more accessible open-pool resources such as fruit trees and forest products, which are of special importance to women and young men (Becker 2000, 2001). The access rights to open-pool resources underlie different standards, and usually the permission for their exploitation can be gained simply by addressing the village chief. The most common classification of land use

units in West African savannas includes village land, which comprises fields and gardens with a high fertility close to houses, agricultural land that is more distant from the village and less fertile, as well as “bush”, composed of unexplored forest, woodlands and old fallows often used for grazing (Schneider 1996, Becker 2001, Kindt et al. 2008).

There is a broad range of assumptions concerning the interrelation between local people and the environmental situation in West Africa. Various scientists consider the expansion of agriculture to be a probable major cause for the decline of natural vegetation formations in West Africa (see Gornitz & NASA 1985, Nyerges 1996, Clerici et al. 2007). Changes in land management are reported to be induced by a mixture of demographic and climatic changes and governmental policy-making, as well as alterations of livelihood incomes and the introduction of modern agricultural techniques (Fairhead & Leach 1996, Basset & Zuéli 2000, Commission Européenne 2006; see chapter 4.1.1.). Concerning demographic changes, Mali is facing an overall population growth of 2.2 – 2.7% per year, which reaches 5% in the urban population (Warshall 1989, Commission Européenne 2006). The country’s population and agricultural activities are concentrated in the South (Benjaminsen 1997b, Becker 2000) where rainfall conditions are more favourable than further north towards the Sahelian vegetation zone. According to Schneider (1996), who investigated the forest resource management of the Farako State Forest, the growing rural population and the high demand for fuel wood in the nearby city of Sikasso will – under the present conditions - result in higher pressure on natural resources in the area. Other studies also identified population growth as trigger of a higher pressure on natural resources, resulting in environmental degradation (Chatelain et al. 1996, Gilruth 2005, Commission Européenne 2006, Goetze 2006).

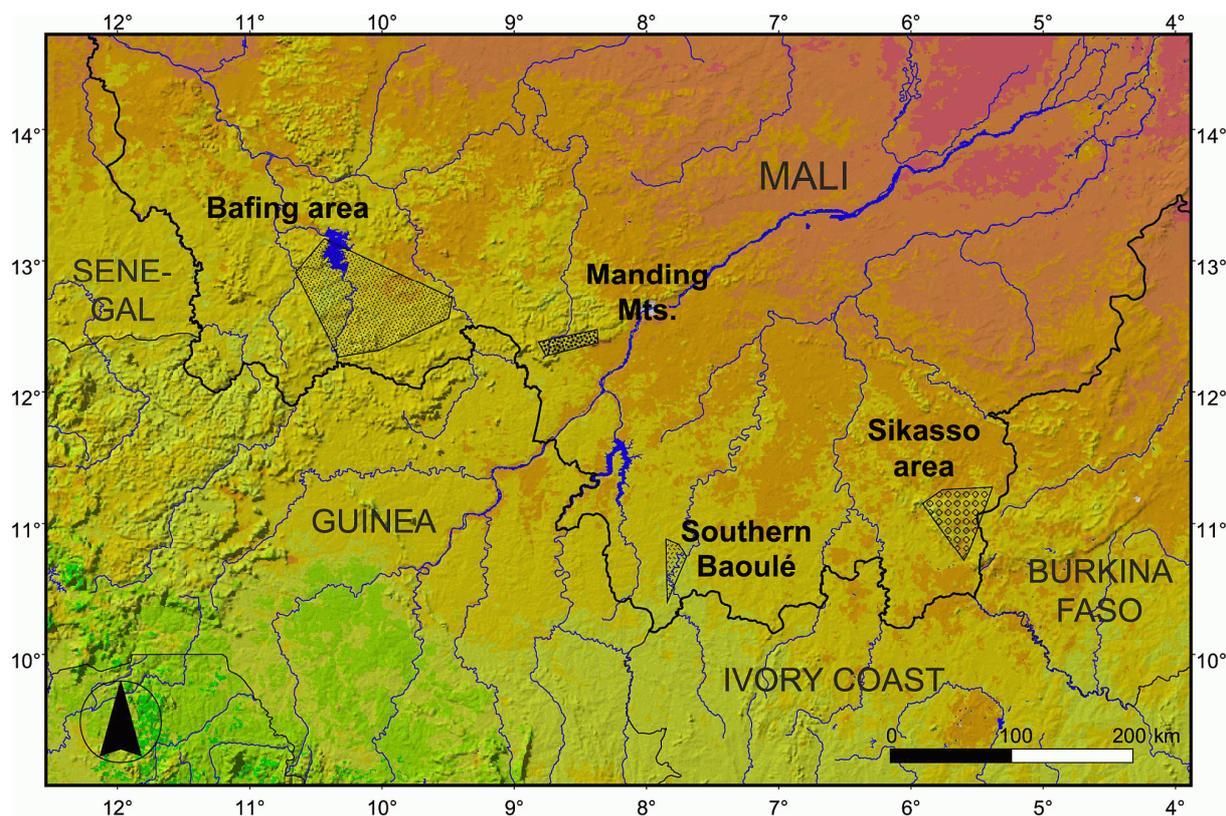


Figure 1: Location of study areas (black polygons) in southern Mali.

On the other hand, local people have a sound knowledge of the ecological processes at work in their environment. This is reflected in traditional agricultural practices that include the enrichment of vegetation and the maintenance of plant diversity through afforestation or conservation activities such as the protection of gallery forest for shade and seed supply despite associated agricultural land use or the retention of trees on fields (Fairhead & Leach 1996, Boffa 1999, Schreckenberg 1999, Devineau & Fournier 2005, Duvall 2007). Moreover, settlement processes can generate suitable habitat for wild animals by fostering the plantation and recruitment of wild fruit trees (Duvall 2007, Duvall 2008). In this regard, however, it should be noted that human-created forest habitats need to be distinguished from natural forests, particularly gallery forests, which harbour different species compositions (Schneider 1996, Nyerges & Green 2000, Goetze 2006). Natural forest patches in otherwise human-shaped savannah and agriculturally dominated landscapes harbour a unique and diverse fauna and flora. Anthropogenic influences such as over-exploitation of useful species or fire events can result in the decline of forest tree species, often despite being appreciated by local communities, which can in terms of biodiversity not be compensated by anthropogenic parklands (Lykke 1998, Kindt et al. 2008).

#### 4. Human activities related to the forest and potential for conflict

The following paragraphs present different types of anthropogenic influences on West African forest-savanna mosaics occurring during the last several hundred years, with a focus on southern Mali. Primarily, local populations constitute the direct actors involved, but the frame of their activities is strongly determined by the policy-making of the government, the activities of NGOs based on the objectives of development projects, and the implementation of scientific recommendations. Further on, each human activity is linked to the other parameters, all of them together finally resulting in the form of a given landscape. Whereas direct anthropogenic influences will be discussed in detail, the analysis of the dynamics of cattle breeding and bushfires, referred to as indirect influences, will be presented in condensed form. Given the large body of literature and discussions pertaining to these topics, a more detailed portrayal would be beyond the scope of this review and we point to the respective references for further information.

#### 4.1 Direct influences

##### *4.1.1. Farming*

Traditional agriculture in southern Mali is characterized by subsistence farming and shifting cultivation, with agroforestry parklands as the dominant farming system. Crop composition, field arrangements and fallow cycles differ depending on cultural and local parameters, but seasonal extensive management patterns, the presence of scattered fruit-yielding trees within fields, e.g. *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* and *Adansonia digitata*, rainfed agriculture and long fallow periods of 10-50 or more years are common (Koenig & Diarra 1998, Basset & Zuéli 2000, Laris 2002, Kelly et al. 2004a, Maranz 2009). The traditional agroforestry system not only benefits the farmers that manipulate and manage it by providing ecosystem services (shade, water retention) and valuable goods (medicine, fruits), but can also contribute to preserve regional tree species diversity with some parklands harbouring 40-50 woody plant species (Boffa 1999). In this regard, humans manipulated the West African savanna landscapes considerably: they influenced the selection processes acting on parkland tree species and species composition, favouring high-yield individuals and the above average abundance of useful trees (Dhillion & Gustad 2004, Gustad et al. 2004). For forests, however, there is no sound data available on a potential shift towards a higher percentage of fruit tree species, based on the removal of non fruit tree species (Kelly et al. 2004b, Maranz 2009). On the other hand, it is well known that forests adjacent to cultural land play an important role for the natural regeneration of anthropogenic parklands as suppliers of young trees from the forest-fallow cycle, thereby promoting gene flow (Kelly et al. 2004b, Maranz 2009).

During the last 50 years, an incremental tendency to generate income through cash crops (especially cotton) has developed, though on varying levels in different areas, resulting in the reduction of subsistence farming and the expansion as well as intensification of

agriculture (Koenig & Diarra 1998, Nyerges 1996, Becker 2000, 2001, Devineau et al. 2008, Kindt et al. 2008). This development is considered to result not only in the gradual degradation and diminution of resources and a loss of production potential (Gilruth et al. 2005) but also in the decrease of traditional knowledge concerning land management and use of forest products due to a lack of interest and financial incentives among young people (Devineau et al. 2008, Weber et al. in prep.). Various studies presented data showing that the traditional agroforestry parklands are now at risk due to the decline in tree cover and the lack of tree regeneration (Boffa 1999, Gibbons et al. 2008, Maranz 2009).

Decreasing agricultural productivity and environmental degradation are strongly linked to the shortening of fallow periods, which is crucial for the maintenance of tree species diversity and soil fertility (Chatelain et al. 1996, Gilruth et al. 2005, Kindt et al. 2008). Only long fallow periods allow for tree regeneration, the re-establishment of secondary forests, and the functionality of reservoirs of wild plant species (Duvall 2000, Kindt et al. 2008, Maranz 2009). The length of fallow cycles depends generally on land availability, population density and soil fertility. In Mali, the shortening of fallow periods is additionally fostered by official laws enacting the appropriation of agricultural land by the state if the land is left uncultivated for more than ten years (Kindt et al. 2008). Besides the reduction of fallow periods, the introduction of new technologies can also negatively affect natural fallow succession and forest structure, e.g. the increased use of ox ploughs or tractors can cause farmers to clear more trees from their fields to be able to plough in straight lines (Boffa 1999). However, vegetation dynamics in conjunction with agricultural practices show high local and cultural variations, and general conclusions on a regional or larger scale can at most describe trends.

The correlations between agricultural activities and population dynamics on a local scale have been studied by Basset and Zuéli (2000) at two villages in northern Ivory Coast. Similarly to our study sites in the Sikasso area, both villages are predominantly inhabited by Senufo farmers, cotton constitutes the main cash crop, and agroforestry parklands are dominated by *V. paradoxa* and *P. biglobosa*, both considered to be economically important tree species. One village, Katiali, was characterized by a low population density (17 persons/km<sup>2</sup>) and agricultural systems that sustained a fallow cycle with 10-30 years of fallow and 5-6 years of cultivation. The area under cultivation had doubled within a period of 20 years, with a steep rise in cotton production accounting for 45% of the cultivated land, but still allowing for the cultivation of various other crops such as millet. Within only ten years, the percentage of households owning sedentary cattle rose from 37% to 92% in 1992, and at the same time the number of sedentary cattle increased from 578 to 1417 heads. Population growth increased dramatically in the 70s when Fulbe pastoralists were attracted by the high availability of pastoral land. In the second village, Tagbanga, the population density was higher (73 persons/km<sup>2</sup>), and the area under cultivation per person was half of the area under cultivation per person in Katiali. Cotton covers more than half of the farming land. There was

no expansion of the area under cultivation but rather a decline due to a high emigration rate. According to the authors, low populated areas attract immigrants due to land abundance, whereas densely populated areas rather face a high emigration rate due to decreased soil fertility and resource availability. They concluded that these population dynamics can lead to vegetation increase-decrease cycles over long periods, and that the presence of forests in low populated areas is not necessarily a natural state, but might be the result of fallow lands ranging back in the past. This result is in line with the findings of other studies from the West African forest-savanna mosaic showing that the traditional shifting agriculture system is designed to maintain an equilibrium between cultivated land and forest area, at least up to a certain threshold value of population pressure, without a decline in forest area (Fairhead & Leach 1996, André et al. 2003, Leach & Fairhead 2000). However, these studies do neither address whether the secondary forests on old fallows can ensure the persistence of typical forest tree species, nor if specific natural forest habitats such as gallery and ravine forests are impacted by the dynamics of shifting agriculture.

There are almost no studies on the farming systems at our study areas. Duvall (2000, 2007, 2008) presents information on the agricultural practices in the Bafing area, which constitutes the most remote of our study areas with a population density of 5-10 persons/km<sup>2</sup>. It is further characterized by a low degree of infrastructure and a lack of job opportunities, which is likely to cause male migration in this area (Raynaut 1997), contrasting the observations of Basset and Zuéli (2000). Otherwise, the farming system of the Maninka, who represent the dominant ethnic group in the Bafing (as well as in the Manding Mts.) area, shares some basic characteristics of shifting agriculture and agroforestry parklands with the Senufo system. Records of the management of agroforestry parklands by the Maninka in the Manding Mts. already date back to the early 20<sup>th</sup> century (Chudeau 1921). Contrarily to the Sikasso region, cotton cultivation is of minor importance there.

A particular feature of the Maninka farming system is the high degree of shifting settlements. Especially young farmers that have limited access to fields in the vicinity of their village of origin install temporary hamlets close to arable land. These hamlets constitute outliers subordinate to larger, permanent settlements (Duvall 2007). They benefit particularly young people by providing higher food security and income potential, which outweighs the costs of moving away from the permanent settlement. The costs in this case are comparatively low as the larger villages do not provide valuable infrastructure such as potable water, continuative schools or medical care. Hamlet sites often cluster around farmland but are usually not inhabited simultaneously due to the limited availability of arable land in the Bafing area (Duvall 2008). Shifting settlements facilitate mobility and are hence obligatory for people living in landscapes with a patchy distribution of arable land. Further on, it permits to react to ecological, economical or political instability (Duvall 2008). The emergence of new hamlets has formerly been interpreted as increase in settlement area, but there is evidence

that the continuously shifted hamlets occupy a relatively constant net area. Overall, Duvall (2000) indicates that the natural resources in the Bafing area are less affected by human activities than other areas of southern Mali.

The Maninka settlement practices fostered the establishment of baobabs in southwestern Mali and continually contribute to its dispersal since baobab recruitment in the Bafing area is higher around settlements and fields than in natural habitats (Duvall 2007). Baobab trees are the most important species of useful trees in the Bafing area. Moreover, they constitute an important food source for animals, including chimpanzees, which benefit from their presence at abandoned settlements, demonstrating that traditional farming practices can account for the allocation of suitable resources for wildlife. In this context, the increased threat of hunting in the vicinity of such habitats cannot be denied. Hunting of chimpanzees often arises from competition for food resources between humans and chimpanzees. As the degree of competition depends on the availability of resources, and governmental prohibition of the traditional shifting system reduces the availability of fruit tree patches, negative effects on the Bafing chimpanzee population due to the decline of habitat and the aggravation of human-animal resource competition could emerge unintentionally (Duvall 2008). This notion confirms that environmental policy-making should not categorically condemn anthropogenic landscapes as loss of valuable wildlife habitat from the beginning, but rather strive to understand the dynamics of local land management.

Another notable aspect of the Maninka farming system is the geographic restriction of its impact to areas which provide arable soil, i.e. mostly lowland savanna habitats (Duvall 2000). In general, the establishment of new fields crucially depends on the accessibility of a given site. The ravine (and gallery) forests in the Bafing area, which are highly relevant for the conservation of biodiversity due to the presence of endemic and rare tree species, are mostly situated on steep slopes. Since the level of anthropogenic impact on slopes and plateaus in southern Mali seems to be generally low with regard to their low accessibility as well as the poor soil conditions, they constitute relatively undisturbed habitats (Duvall 2000, Picard et al. 2006). We conclude that the majority of the gallery and ravine forests in the Bafing area, and in the Manding Mts., respectively, are not targeted by agricultural encroachment unless local people are forced to expand their farming activities into these habitats, e.g. through restrictive laws changing the geographical patterns of the traditional shifting settlement system. In Piama in the Sikasso area, which is less marked by slopes and plateaus than the Bafing and Manding Mts. area, we also observed a scenario that confirmed the interrelation between accessibility and land use. Whereas the banks of a major river there were under cultivation, the slopes of a tributary were very abrupt and bordered by intact forest (P. Birnbaum, pers. obs.).

As has been investigated in parts of the Bafing area, changes in the economic framework of local populations can also induce the cultivation of marginal agricultural land

and surmount the deterring effects of inaccessibility and poor soils (Koenig & Diarra 1998). The interrelations between the resettlement of villages that had to be vacated due to the construction of a dam at the Bafing River and an official structural adjustment initiative, aiming at the privatisation and commercialisation of agriculture on a local scale, altered the livelihood circumstances of the concerned people considerably : the amount of land required to fulfil the needs of the relocated villagers was underestimated and the structural adjustment initiative decreased access to the instruments of intensification, e.g. fertilizers (Koenig & Diarra 1998). Consequently, the villagers adapted to the conditions of their new environment and expanded the area of cultivation at the expense of forest formations and other natural habitats. They were thereby enabled to pursue the economic benefits of the structural adjustment and participate in the production of cash crops. However, they also noticed that increased land clearing and a low agricultural input resulted in the loss of valuable forest products and soil impoverishment.

Overall, the results of the presented studies indicate that traditional farming systems in areas with low population densities and subsistence agriculture maintain an equilibrium with the surrounding ecosystems. The intensification or expansion of agriculture, due to a shift to cash crops, new agricultural techniques, or demographic changes, however, can result in the encroachment of otherwise untouched habitats such as gallery forests and put these forests at risk (cf. Goetze et al. 2006, Clerici et al. 2007). In this context, it would be interesting to assess the influence of cotton cultivation on vegetation structures in the Sikasso and the Madina Diassa study areas in order to identify potential threats to the natural habitats there. Since the farmers in both areas reported that income from cotton has decreased in recent years, they need to choose between switching to other crops and increasing productivity. The latter may require the expansion of area under cultivation due to a lack of access to other means that facilitate a higher productivity such as fertilizer. Apart from direct influences of cotton cultivation on adjacent forest habitats and hydrology, attention should be directed to the consequences of side effects on animal and plant compositions, such as the impact of insecticides which have been shown to negatively affect biodiversity (Biaou et al. 2003, Marvier et al. 2007, Baudron et al. 2009).

#### 4.1.2. Fuelwood collection

Local fuelwood consumption has been consistently blamed as one of the major causes for deforestation in Mali (Benjaminsen 1993, 1997a, 1997b, Commission Européenne 2006). The urban and rural energy consumption in Mali depends on the collection of fuelwood by 90–97% percent (Benjaminsen 1993, 1997b, Commission Européenne 2006). The high growth rate of the urban population demands for an increased supply with fuelwood, and especially Bamako depends on fuelwood supply from its surroundings, including the Manding Mts. Forest. There, plantations of fast growing tree species such as *Gmelina arborea*

(Verbenaceae) were established by the Forestry service to cope with this demand (Sow & Anderson 1996). The same applies to the eucalyptus plantations in the Farako State Forest in the Sikasso area. This approach contrasts local fuelwood management and the perception of management units: local communities traditionally collect fuelwood from individual trees of certain species spread over a landscape rather than they manipulate and subsequently harvest a continuous area.

The traditional methods to collect fuelwood vary, depending on season and access patterns. Schneider (1996) reports from the Farako State Forest that exclusively dead wood is collected during the dry season, whereas the emergence of high grasses during the wet season causes a switch towards green wood. However, the pressure on woody resources from the forests is mitigated through the preferential exploitation of trees in more open habitats such as agroforestry parklands and savannas. Trees in savannas are open-pool resources, i.e. according to traditional land tenure rights, the collection of fuelwood is free to all villagers since the trees do not belong to a particular person (Becker 2000, 2001). The collection of fuelwood is hence an important source of income for poorer households and women, but also creates a dependence on the availability of this resource (Becker 2001). Around the Farako State Forest, villagers describe that they have to cover increasing distances to arrive at fuelwood collection sites, indicating that the area experiences a fuelwood shortage. Traditionally, women in this area collected fuelwood for subsistence and to sell small quantities at local markets or along the road to Sikasso. Nowadays the exploitation rate has become remarkably higher through the intrusion of non-local merchants that pick up fuelwood in the villages and sell it in the city (Schneider 1996). A similar scenario needs to be expected in the Manding Mts. due to their proximity to Bamako, whereas pressure on fuelwood resources should be lower in the remote parts of the Bafing area and at the Baoulé River.

The need to economize wood consumption in southern Mali is obvious, though the local consumption of fuelwood appears to exert only a low pressure on forests. However, the overall increased demand for fuelwood forces the villages to take on a high collection effort to fulfil their own needs and to maintain their income from fuelwood. Further on, if woody resources are already scarce, it might initiate the collection of wood from species which are not commonly used as fuelwood. For instance in Koutiala, a very important area for cotton production, the fuelwood also includes valuable trees such as *Vitellaria paradoxa* and *Parkia biglobosa* (P. Birnbaum, pers. obs.). Since monocultures of fast growing tree species are no suitable solution as they add up to negative environmental effects, it would rather be advisable to promote the implementation of energy-saving stoves or gas cylinders to meet especially the energy requirements of urban populations.

#### *4.1.3. Harvesting of non-timber forest products*

The extraction of non-timber forest products (NTFPs; e.g. fruits, medical products) is an important aspect of West African land management systems. Various studies report on the enrichment of landscapes by the plantation of useful tree species, their retention when the surrounding areas are cleared and the protection of their seedlings (Chudeau 1921, Benjaminsen 1993, Schreckenberg 1999, Duvall 2000, André et al. 2003, Kelly et al. 2004a, 2004b, Kindt et al. 2008, Maranz 2009). The effects of these management practices on the distribution of particularly valued tree species and thus the vegetation composition of West African parkland and savanna landscapes have been seemingly underestimated until recently (Maranz & Wiesman 2003). Beyond, a study on Shea tree (*Vitellaria paradoxa*, Sapotaceae) populations in West and Central Africa revealed that human preferences for certain fruit traits probably modify genetic population patterns: anthropogenic selection for favourable fruit characteristics fosters the growth and regeneration of individuals with desired characteristics, whereas individuals with undesired traits are more likely to be eliminated (Maranz & Wiesman 2003).

NTFPs play crucial roles in the livelihoods of local communities, either for consumption or for marketing. They serve as food, medicinal products and other household articles such as soap. Economically, they are not suitable to satisfy the entire financial requirements of local people, but they can fill important income gaps during the start of the agricultural season and create income especially for women (Schreckenberg 1999). Tree tenure varies within southern Mali and also between different NTFP species. The different systems have in common that NTFPs from the forest are free to everyone, whereas the collection of NTFPs from fields is restricted to the field owner or the planter of the tree (Schneider 1996, Duvall 2000). The collection of NTFPs from fallows, the main place of harvest, is generally not restricted. Ecologically, the production of NTFPs is mostly based on the harvest of certain plant parts and not on the removal of the whole plant. It has thus the potential to be less harmful to the environment than other forest uses such as timber extraction and to contribute to the protection of forest habitats that shelter these natural resources by raising their value (Schreckenberg 1999, Shanley et al. 2005). However, the sustainability and equitability of NTFP production have been doubted in various studies (Schreckenberg 1999, Arnold & Perez 2001, Belcher et al. 2005), and knowledge concerning the influence of commercial NTFP harvesting on the integrity of forest habitats is very limited. The economical profitability for local communities and the sustainability of NTFP extraction are generally determined by the interrelations between official and local land management as well as the distinction between private and public resources on a local scale, market dynamics, livelihood requirements as well as the extraction mode (non-destructive vs. destructive).

Most studies on NTFPs in West Africa report mainly on those derived from savannas, fallows and parklands (Lykke 1998, Gustad et al. 2004, Kindt et al. 2008, Maranz 2009). In the Sudanian vegetation zone, only few NTFP tree species are strictly forest species

(Schreckenbergr 1999). From a conservation point of view, those species might be most interesting, but at the same time their use is in decline in some places due to the increase in collection effort as the expansion of agriculture results in longer distances between villages and remaining forests. Accordingly, Schreckenbergr (1999) revealed that 69% of the income from NTFPs in her study area in Benin stemmed from NTFPs collected in fields and fallows, whereas only 24% resulted from adjacent gallery forests. She concludes that the low percentage of income from NTFPs harvested in forests could affect the perception of local communities of the importance of forest habitats.

There is a broad variety of NTFPs collected and processed at our study sites, with comprehensive data available for the *Gillettiodendron* forests of the Bafing area, a specific Sudano-Guinean gallery forest type dominated by the endemic tree *Gillettiodendron glandulosum* (Leguminosae), and the Farako State Forest (Tab. 1). Duvall (2000) reports that almost half (62) of the 126 plant species he identified in the *Gillettiodendron* forests of the Bafing area are used by humans, out of which 52 woody plant species provide NTFPs (Tab. 1). Schneider (1996) identified 58 ligneous NTFP plant species out of 135 he inventoried at the Farako State Forest. Apparently, only 17 of these species are used in both areas, indicating that the species composition within these two forest areas varies considerably and/or that local uses differ. The importance of each species and the frequency of utilisation are highly variable and determined by resource accessibility, subsistence requirements and marketability. Many of the food NTFPs such as the fruits of *Sarcocephalus latifolius* (Rubiaceae) and *Lannea microcarpa* (Anacardiaceae) are mainly consumed by children or in times of famine (Duvall 2000).

In the Bafing area, the baobab (*Adansonia digitata*, Bombacaceae) constitutes one of the most important and emblematic NTFP species, also with regard to local markets, and probably the most used wild fruit (Duvall 2007). The most appreciated NTFP species around the Farako State Forest are the Shea tree (*Vitellaria paradoxa*, Sapotaceae) and the Nere (*Parkia biglobosa*, Leguminosae; Schneider 1996). They constitute important income sources for the Senufo farmers there which are more involved in (inter-)national markets than the Maninke from the Bafing area. These three species are thus valued for different reasons, however, none of them constitutes a typical forest species and they grow mostly on fallows and in parklands. The NTFP species occurring in gallery and ravine forests comprise e.g. *Carapa procera* (Meliaceae), *Cola laurifolia* (Sterculiaceae), *Albizia zygia* (Leguminosae) and *Eugenia nigerina* (Myrtaceae), but not all of them are strictly associated with forest habitats. With the exception of the products from the forest-dependant species, the majority of NTFPs are preferably obtained from individual plants outside of the forest, probably since they are easier to access and since the most common NTFP species have a higher density in fallows (Schreckenbergr 1999, Duvall 2000). Schneider (1996) specifies that almost half of the

NTFP tree species are situated within a 1km radius from the villages, but to span the complete scope, some collectors might have to cover up to 10km.

Overall, the local uses of NTFPs have decreased due to the availability of purchasable substitutes and the lack of marketing and financial incentives to invest labour in processing them. However, it is assumed that the demand for NTFPs is not in decline in view of population growth and improved market accessibility (Duvall 2000, Gustad et al. 2004). Further on, we observed around the Farako State Forest that the recent increase in pressure on natural resources (Schneider 1996, see chapter 3) rather contributes to competition within and between villages for access to the NTFP resources. Our discussions with villagers concerning the re-plantation of *Carapa* trees within the Farako State Forest (see chapter on production of *Carapa* oil) were exacerbated by some village women that showed a high interest in collecting *Carapa* seeds, but disagreed to plant trees on public ground due to concerns that these trees could later be exploited by everyone. Accordingly, Duvall (2000) assumes that new market demands in the frame of demographic changes might even cause greater pressure on NTFP species in the future. This could also add to the concurrence between wild animals and humans for fruit resources as has been observed for chimpanzees and market harvesting of *Saba senegalensis* (Apocynaceae) in southeastern Senegal (Pruetz et al. 2002). To cope with these developments, the plantation of species that are threatened by over-exploitation of seeds is required to compensate for the senescence of existing populations. The best practices to successfully and ecologically replant certain species require further research.

Most NTFPs are marketed locally around our study sites, whereas only few attract external merchants such as the fruits of *Mangifera indica* (Anacardiaceae) and *Anacardium occidentale* (Anacardiaceae; Schneider 1996). Both species, however, need to be set apart from native NTFPs in our context since they constitute introduced species and require human assistance to reproduce. It is known from another study that these two species can constitute the only ones which are planted by villagers (Kindt et al. 2008). This reflects that there is a trend towards the proliferation of exotic tree species, which had been enhanced by forestation programs favouring these non-native tree species, due to their linkage to international markets and their high economic potential. At the same time, native tree species such as the Shea tree are more and more affected by over-harvesting and a lack of regeneration (Schreckenber 1999, Kindt et al. 2008). The plantation of exotic tree species might contribute to this situation since they are often installed on the most fertile soils (Schneider 1996). Accordingly, the declining availability of native NTFPs might enhance their replacement with purchasable substitutes, even though the high labour efforts to produce the traditional commodities play an important role, too (Schneider 1996). As an example, “soubala”, a spice made from the seeds of *Parkia biglobosa* (Leguminosae) is more and more substituted by soup cubes despite the market price of the cubes being fivefold higher (Schneider 1996, pers. obs.). The purchase of the modern product creates thus a financial pressure on the people, but the return to the

traditional product is highly unlikely once it has been replaced (Schneider 1996). This development impedes the justification for the maintenance of the habitats that harbour NTFPs. To avoid a further decrease of the relevance of native tree species and to contribute to the conservation of forest formations and traditional parklands, future governmental or development programs should promote the use and plantation of indigenous NTFP tree species, the decrease of tree mortality, and develop better marketing opportunities for native NTFPs (Gibbons et al. 2008, Kindt et al. 2008). Moreover, governmental laws concerning land use rights should allow for the maintenance of long fallows to enable the growth of mature trees.

Table 1: List of relevant NTFP providing ligneous plant species in the vegetation formations of the Farako State Forest, Sikasso area, and the *Gillettiodendron* forests in the Bafing area (<sup>1</sup>: identification doubtful; <sup>2</sup>: introduced species that do usually not occur in natural vegetation, except for *Tamarindus indica* and *Spondias mombin*; <sup>3</sup>: probably uncommon species; <sup>4</sup>: included in list due to importance, but botanically not considered as ligneous plant). Ligneous species used as fuelwood without another NTFP use are excluded. Data extracted from Schneider (1996) and Duvall (2000).

Species	Family	Location	Use
<i>Acacia macrostachya</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit); Leaves; Pharmacopeia
<i>Azelia africana</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Albizia zygia</i>	Leguminosae	Bafing	Pharmacopeia
<i>Allophylus cf. africanus</i> <sup>1</sup>	Sapindaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Anacardium occidentale</i> <sup>2</sup>	Anacardiaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Annona senegalensis</i>	Annonaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Anthocleista djalensis</i>	Gentianaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Azadirachta indica</i> <sup>2</sup>	Meliaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Baissea multiflora</i>	Apocynaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Balanites aegyptiaca</i> <sup>3</sup>	Balanitaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Bombax costatum</i>	Bombacaceae	Farako	Food (Fruit); Forage
<i>Boscia angustifolia</i>	Capparaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Bridelia ferruginea</i>	Euphorbiaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Burkea africana</i>	Leguminosae	Farako; Bafing	Pharmacopeia
<i>Carapa procera</i>	Meliaceae	Farako; Bafing	Soap (Fruit)
<i>Carica papaya</i> <sup>2</sup>	Caricaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Cassia sieberiana</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Ceiba petandra</i>	Bombacaceae	Farako	Soap (Fruit); Pharmacopeia
<i>Celtis toka</i>	Ulmaceae	Bafing	Food (Leaves)
<i>Cissus populnea</i>	Vitaceae	Bafing	Food
<i>Citrus limon</i> <sup>2</sup>	Rutaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Cola cordifolia</i>	Sterculiaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit); Leaves
<i>Cola laurifolia</i>	Sterculiaceae	Bafing	Food (Fruit)
<i>Combretum adenogonium</i>	Combretaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Combretum micranthum</i>	Combretaceae	Farako; Bafing	Pharmacopeia (Fruit, Leaves)
<i>Combretum molle</i>	Combretaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Combretum nigricans</i>	Combretaceae	Farako; Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Combretum sericeum</i> <sup>1*</sup>	Combretaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Combretum tomentosum</i>	Combretaceae	Bafing	Other (Stems as rope)
<i>Cordia myxa</i>	Boraginaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit); Handicraft (Fruit); Pharmacopeia
<i>Crateva adansonii</i>	Capparaceae	Bafing	Food (Leaves)

<i>Cussonia arborea</i>	Araliaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Detarium microcarpum</i>	Leguminosae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit); Handicraft (Fruit); Pharmacopeia
<i>Elaeis guineensis</i> <sup>4</sup>	Arecaceae	Farako	Food (Fruit); Leaves
<i>Entada africana</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Erythrina senegalensis</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Eugenia nigerina</i>	Myrtaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Euphorbia sudanica</i>	Euphorbiaceae	Bafing	Pharmacopeia (Latex)
<i>Faidherbia albida</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Feretia apodanthera</i>	Rubiaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Ficus abutilifolia</i>	Moraceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves, Bark)
<i>Ficus cordata</i>	Moraceae	Bafing	Food (Fruit)
<i>Ficus glumosa</i>	Moraceae	Bafing	Food (Fruit)
<i>Ficus platyphylla</i>	Moraceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Ficus sycomorus</i>	Moraceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Ficus thonningii</i>	Moraceae	Bafing	Pharmacopeia (Latex)
<i>Gardenia erubescens</i>	Rubiaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Gardenia sokotensis</i>	Rubiaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Gyrocarpus americanus</i>	Hernandiaceae	Bafing	Handicraft (Seeds)
<i>Hexalobus monopetalus</i>	Annonaceae	Bafing	Food (Fruit)
<i>Hibiscus sterculiifolius</i>	Malvaceae	Bafing	Other (Stems as rope)
<i>Khaya senegalensis</i>	Meliaceae	Farako	Soap (Fruit); Pharmacopeia
<i>Kigelia africana</i>	Bignoniaceae	Bafing	Pharmacopeia (Fruit)
<i>Landolphia heudelotii</i>	Apocynaceae	Farako	Food (Fruit); Other (Latex)
<i>Lannea acida</i>	Anacardiaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Lannea microcarpa</i>	Anacardiaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit)
<i>Leptactina senegambica</i>	Rubiaceae	Bafing	Handicraft (Stems)
<i>Leptadenia hastata</i> <sup>3</sup>	Apocynaceae	Bafing	Food (Leaves); Pharmacopeia
<i>Lophira lanceolata</i>	Ochnaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit); Soap (Fruit); Pharmacopeia (Leaves, Stems)
<i>Mangifera indica</i> <sup>2</sup>	Anacardiaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Manilkara obovata</i>	Sapotaceae	Bafing	Food (Leaves)
<i>Mitragyna inermis</i>	Rubiaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Opilia amentacea</i>	Opiliaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Oxytenanthera abyssinica</i>	Poaceae	Bafing	Other (Various)
<i>Parinari curatellifolia</i>	Chrysobalanaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Parkia biglobosa</i>	Leguminosae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Paullinia pinnata</i>	Sapindaceae	Bafing	Pharmacopeia
<i>Pericopsis laxiflora</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Piliostigma thonningii</i>	Leguminosae	Bafing	Food (Leaves)
<i>Psidium guajava</i> <sup>2</sup>	Myrtaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Pteleopsis suberosa</i>	Combretaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Leguminosae	Farako; Bafing	Pharmacopeia; Forage (Leaves)
<i>Pterocarpus lucens</i>	Leguminosae	Bafing	Forage
<i>Pterocarpus santalinoides</i>	Leguminosae	Farako; Bafing	Food (Seeds); Handicraft (Fruit)
<i>Raphia sudanica</i>	Arecaceae	Farako; Bafing	Food (Fermented sap); Handicraft
<i>Reissantia parviflora</i>	Celastraceae	Bafing	Handicraft (Stems); Pharmacopeia (Leaves)
<i>Saba senegalensis</i>	Apocynaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit)
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	Rubiaceae	Farako	Food (Fruit)
<i>Spondias mombin</i> <sup>2</sup>	Anacardiaceae	Farako; Bafing	Fruit (Food); Pharmacopeia
<i>Stereospermum kunthianum</i>	Bignoniaceae	Bafing	Pharmacopeia (Fruit, Bark)
<i>Synsepalum brevipes</i> <sup>1°</sup>	Sapotaceae	Bafing	Other (Bark as rope)
<i>Tamarindus indica</i> <sup>2</sup>	Leguminosae	Farako; Bafing	Food (Fruit; Leaves); Pharmacopeia
<i>Terminalia avicenioides</i>	Combretaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	Bafing	Food (Leaves)

<i>Trichilia emetica</i>	Meliaceae	Bafing	Pharmacopeia (Fruit, Leaves)
<i>Vepris heterophylla</i>	Rutaceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves)
<i>Vernonia colorata</i>	Asteraceae	Bafing	Pharmacopeia (Leaves, Stems)
<i>Vitellaria paradoxa</i>	Sapotaceae	Farako	Food (Fruit); Pharmacopeia
<i>Vitex doniana</i>	Verbenaceae	Farako; Bafing	Food (Fruit, Leaves)
<i>Xeroderris stuhlmannii</i>	Leguminosae	Farako	Pharmacopeia
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	Rutaceae	Farako	Pharmacopeia
<i>Ziziphus mucronata</i>	Rhamnaceae	Bafing	Food (Fruit); Pharmacopeia

\*: difficult to distinguish from *Combretum micranthum*

°: probably *Synsepalum pobeguinianum*

The production of NTFPs does usually not require the deletion of the respective trees, however, there are destructive and non-destructive harvest methods. Trees can be damaged or killed by removal of the bark, and over-harvesting of fruits or seeds can impede regeneration as it has already been observed in *Vitellaria paradoxa* and *Parkia biglobosa* (Schneider 1996, Schreckenberg 1999, Arnold & Perez 2001). The harvest of plant parts for medicinal uses is reported to usually exert only a minor impact on the tree populations (Duvall 2000). Production of honey, which is considered as NTFP due to its bond with certain trees, can be practiced in a sustainable way through the installation of bee-hives. In some places, however, honey is obtained by burning and felling the tree that harboured the bees (Schreckenberg 1999, N. Weber pers. obs.). Sustainable practices to extract NTFPs would enhance the continuous availability of the NTFP itself, and furthermore the conservation of its habitat. Consequently, the transfer of knowledge on non-destructive methods should be stimulated.

NTFP species that depend on forest habitats should gain particular attention since they require more specific habitat conditions and are more susceptible to habitat loss than species that can also persist in parklands. Their valorisation would support the continuity of important traditional knowledge and the protection of valuable forest habitats at the same time. Especially young people would probably regain a higher interest in NTFP production if it was linked to economic incentives. Given that the growth of urban populations is likely to increase the demand for certain NTFPs and to create new market opportunities, the government and external organisations should strive to prepare for the commercialisation and establish certificates: the certification of NTFPs as ecological would foster sustainable production modes and environmental protection, and the certification of NTFPs as equally would assure that the benefits for local communities are in due proportion to the production efforts.

#### 4.1.4. Hunting

Most hunters in West Africa chase game animals for subsistence meat supply, whereas commercial hunters sell the game meat on markets, to restaurants or to merchants. In the frame of the decrease of income from cash crops, however, many former subsistence hunters decided to participate in commercial hunting to achieve a supplementary income, which is enhanced by the high urban demand for bushmeat (Basset 2005). Further on, hunting has

become more effective through the availability of fire arms. Traditional subsistence hunters possess a broad knowledge on wildlife since they have to pass through an initiation process which provides them with a lot of ancestral cultural information, often transferred from a father to his son (Schneider 1996, Bassett 2005). Hunters hold therefore a particular social status and obtain respect for their courage and power over natural forces (Schneider 1996, Bassett 2005). Hunting is practiced in forests and uncultivated land, whereby old village grounds and fallows are often frequented by hunters due to the high density of fruit trees attracting game animals (Laris 2002, Duvall 2008). Despite the historic hunting ban in Mali, hunting has always been practiced and is considered as an important use right by villagers (Schneider 1996). New regulations and laws were installed in 1995, recognizing the traditional hunter associations and the local demands to use the faunal resources. Only national parks and nature reserves are subject to a strict conservation policy. Otherwise, the new regulations aim at a participatory approach, integrating the hunter associations in conservation and education activities (Schneider 1996).

A broad variety of large mammal species, including the African buffalo (*Syncerus caffer nanus*, Bovidae), the African elephant (*Loxodonta africana*, Elephantidae) and the roan antelope (*Hippotragus equinus*, Bovidae) have been abundant in West Africa until the 1970s, but are now locally extinct or rare (Sayer 1977, Bassett 2005). Currently, especially large ungulates and primates are threatened due to their low reproductive rates, but the pressure on smaller and abundant animal species has increased likewise (Bassett 2005). Hunting might constitute a considerable portion of the overall pressure on game animals, however, the decrease in their abundance is probably also linked to changes in rural agricultural practices, i.e. the expansion of area under cultivation, the increase in cattle breeding and the application of toxic chemicals to protect crops. Further on, some animals, in particular warthogs and monkeys, are not commonly hunted for bushmeat, but to protect crops and due to the competition for fruits (Schneider 1996, Duvall 2000, 2008). Other faunal elements such as large predators are indirectly affected from hunting due to its consequences on prey communities. Thiollay (2006) has revealed the importance of protected areas to stop the decline of vulture populations in West Africa which are increasingly threatened by the reduction of prey availability through shortage of carcasses, but also by the heavy application of pesticides and direct persecution with poison.

The apparent decline of game animals in the Farako State Forest has been recognized by the local communities as well as by the forestry service. Local hunters mainly blame large safari events until the 1980s, and state that customary laws are now aimed at the recovery of animal populations (Schneider 1996). The importance of the Farako State Forest as refuge for wild animals is clearly accepted by them. Traditional hunting rules include the sparing of pregnant females, and except for warthogs, bushmeat serves for self-supply and is barely commercialized. Schneider (1996) does not provide data on the density of game animals and

their population trends, but gives information on the animal species hunters mention when being asked what they encountered in the forest (Tab. 2). From the species identified at the species level, except for the lion ranked as “Vulnerable”, all are considered to be of “Least Concern” by the international IUCN Red List (IUCN 2009). However, we never saw indications of the frequent presence of lions in the Farako State Forest.

Following Redford’s (1992) empty forest hypothesis, the local or ecological extinction of game animal species is expected to have notable consequences on the functionality of forest ecosystems and the livelihoods of local populations. On the long term, especially the depletion of game animals contributing to seed dispersal and pollination will have substantial effects on the diversity as well as the structure of forests and other vegetation formations. The distribution of *Carapa* seeds, for instance, has most probably been performed by elephants which are now extinct in southern Mali. Accordingly, the persistence of *Carapa* trees depends now on human practices of distribution and plantation, which is already happening at some study sites. However, the continued existence of other plant species, in particular those that do not directly benefit local people as the *Carapa*, is not assured. Even though the forest patches we studied still appear intact, the consequences of the extirpation of most large mammal species in Mali for several decades might currently set in and should receive more attention from the conservation community, scientists and national authorities.

Table 2: List of game animals reported to occur in the Farako State Forest, Sikasso area. Order of appearance reflects frequency of citation by residents. Data extracted from Schneider (1996).

<b>Latin name of species</b>	<b>Family</b>	<b>French name</b>
<i>Tragelaphus scriptus</i>	Bovidae	Guib harnaché
<i>Phacochoerus aethiopicus</i>	Suidae	Phacochère
<i>Sylvicapra grimmia</i>	Bovidae	Sylvicapre de Grimm
<i>Hystrix cristata</i>	Hystricidae	Porc-épic
<i>Erythrocebus patas</i>	Cercopithecidae	Singe rouge
<i>Lepus capensis</i>	Leporidae	Lièvre
<i>Papio cynocephalus</i>	Cercopithecidae	Cynocéphale, Babouin doguéra
<i>Numida meleagris</i>	Numididae	Pintade
<i>Thryonomys cf. swinderianus</i>	Thryomyidae	Aulacode (incorrectly often called „Agouti“
<i>Orycteropus afer</i>	Orycteropodidae	Oryctérope
<i>Varanus niloticus</i>	Varanidae	Varan du Nil
<i>Xerus erythropus</i>	Sciuridae	Ecureuil fouisseur, rat palmiste
<i>Varanus exanthematicus</i>	Varanidae	Varan de savanes
<i>Cricetomys gambianus</i>	Nesomyidae	Rat géant de Gambie
<i>Cephalophus rufilatus</i>	Bovidae	Céphalophe à flancs roux
<i>Crocodylus niloticus</i>	Crocodylidae	Crocodile (incorrectly often called „Caïman“)
<i>Kinixys sp.</i>	Testudinidae	Oiseaux (perdrix, pintades)
<i>Panthera leo</i>	Felidae	Tortue
<i>Hippotragus equinus</i>	Felidae	Lion
<i>Kobus kob</i>	Bovidae	Hippotrague
<i>Canis aureus</i>	Bovidae	Cobe de Buffon
	Canidae	Chacal

To prevent the Malian fauna from further depletion, it seems to be a promising approach to integrate governmental policies and customary laws to raise awareness for the high pressure on game animals and the need to establish sustainable hunting practices. This could include the recruitment of hunters as actors in wildlife conservation and environmental education (Bassett 2005). Protected areas provide shelter to wild animals and the adherence of hunting bans within these zones should be strictly controlled, particularly with regard to commercial hunting. The clarification of the importance of seasonal hunting restrictions in unprotected areas should be another major issue. Further on, hunters, bushmeat merchants and restaurant owners should require licenses to allow for transparency in this business. Finally, the reduction of poverty among farmers through more equitable income from cotton or other cash crops would contribute to prevent them from hunting for commercial purposes.

#### 4.2. Indirect influences

##### *4.2.1. Pasture and cattle breeding*

Two forms of cattle breeding occur in southern Mali, sedentary and transhumant. For many rural households, sedentary cattle constitute an inherent part of the production system, contributing to the income from cash crops (Becker 2000, 2001, Turner 2009). Apart from the direct benefits of cattle through meat, milk as well as its value as status symbol, the increase of oxen ploughs enhances the intensification of agriculture. Transhumant cattle are mostly associated with nomadic Fulbe herders. Grazing pressure within a certain area depends on livestock population and distribution, traditionally based on the movement decisions of the herders (Turner 1993). Within the last 30 years, the movement of Fulbe herders from the Sahelian to the Sudanian or Guinean vegetation zone is considered as major event with regard to analysing the current situation (Bassett & Turner 2007). The widespread assumption that biophysical influences such as rainfall patterns are most important to determine cattle population size and migration schemes is misleading on its own. Beyond, economical and social impacts of market developments, e.g. the globalisation of West African beef, measures to reduce susceptibility of cattle to diseases, e.g. inoculation campaigns, biological processes and social networks stipulate livestock level and management (Turner 1993, 2009, Bassett & Turner 2007). Overall, it seems that the cattle populations in the Sudanian and Guinean zones of West Africa proliferate in many areas including the Sikasso area (Schneider 1996, Bassett & Zuéli 2000, Diallo & Démbéle 2003, Bassett 2005, Bassett & Turner 2007). This probably also applies to the Madina Diassa area which is known for cattle breeding experiments linked to the abatement of trypanosomiasis transmitted by tsetse flies (Diarra et al. 1998).

A high grazing pressure on humid savanna landscapes is reported to favour tree and shrub invasion in natural savanna vegetation (Bassett & Zuéli 2000, Higgins 2007). Grazing

eliminates parts of the herbaceous layer, allowing for the expansion of woody plants and a higher tree cover. This development is further aggravated by soil trampling, which hinders the regeneration particularly of palatable perennial grasses, and by the attenuation of fires due to the lack of grasses, favouring especially the establishment of pioneer tree species (Fairhead & Leach 1996, Hiernaux & Gerard 1999, Bassett & Zuéli 2000). The application of herbicides by farmers contributes to the reduction of the herbaceous layer likewise (Bassett & Zuéli 2000). Despite a quantitative increase in tree cover and woody vegetation, the habitat quality is likely to decrease: The subsequent perturbation of natural vegetation successions, which are characterized by different species compositions, results in a reduction of the diversity of savanna vegetation communities and the dominance of few pioneer species such as *Piliostigma thonningii* (Leguminosae) and *Isobertinia doka* (Leguminosae; Bassett & Zuéli 2000). To maintain the diversity of natural savanna habitats as well as a high rangeland quality, grazing should be kept on a reasonable low level and strong (late) fires should be applied to retard tree abundance (Bassett & Zuéli 2000, Higgins 2007). However, these fires need to be strictly controlled and restricted in their expansion to avoid negative effects on surrounding vegetation structures.

Bassett and Zuéli (2000) provide information on the remarkable livestock boost in their study region in northern Côte d'Ivoire. The overall cattle population of ca. 123000 heads in 1962 grew to almost one million heads in 1991, with a four-fold increase in sedentary cattle and 52-fold increase in transhumant cattle. Aerial photographs confirmed the perceptions of the local people that the high number of cattle in the area resulted in the expansion of woodlands at the expense of savanna vegetation. The high grazing pressure and its environmental implications are recognized by the sedentary Senufo farmers and the Fulbe herders likewise. Beyond, the increase in cattle can result in disputes between the two ethnic groups. Conflicts include unreplaced crop damage through cattle and competition for land, either used for cultivation or as rangeland (Bassett & Zuéli 2000). A similar situation is reported from the Farako State Forest where conflicts due to crop damage by cattle occur within and between villages. However, claims for damages are only effected in case of village strangers (Schneider 1996). Usually, the Fulbe herders with the transhumant cattle arrive around the Farako State Forest at the onset of the wet season, and stay in one place for two to three weeks, until the landowner indicates that he wants to start his agricultural activities (Schneider 1996). The same author observed an increase of the transhumant cattle population in the area due to tax liberations for herders which might exacerbate the land use conflicts between farmers and herders.

#### 4.2.2. Bushfires

West African savanna landscapes are characterized by a long history of burning events, dating back 400,000 years (Bird & Cali 1998). The bushfires can on occasion occur

naturally or have an anthropogenic origin, both of them having a considerable impact on the shape of vegetation formations. The reasons for fires include the preparation of new farming land, displacement of dangerous animals such as snakes, the acceleration of the florescence of useful trees, e.g. the Shea tree, scaring up game animals and regeneration of grasses for cattle nourishment. In general, areas that are protected from fire exhibit a higher density and diversity of ligneous plant species. However, traditional human burning patterns are highly seasonal and follow a certain organized regime, and the widespread assumption that anthropogenic fires necessarily result in desertification, erosion and soil impoverishment has been found to lack precise data or to be based on miscomprehension (Basset & Zuéli 2000, Laris 2002, André et al. 2003, Laris & Bakkoury 2008). Fires were nevertheless officially prohibited and persecuted with fines in several West African countries including Mali, whose government did not change this policy until 1991, afterwards allowing for the restricted application of fires (Fairhead & Leach 1996, Schneider 1996, Laris 2002, Laris & Bakkoury 2008). The suppression of the traditional burning patterns has shown not to deter peasants from setting fires, but to result in more hidden and chaotic fire regimes as well as false accusations of strangers by locals to avoid financial or social penalties (Laris 2002). The new Malian policies, partly recognizing the traditional fire management, have the potential to combine burning restrictions with regard to uncontrolled and detrimental fires and its well-directed application (Laris & Bakkoury 2008).

Fires at the onset of the dry season are commonly referred to as early fires and differentiated from late fires. According to the Malian Forestry service, 92.5% of the area burnt each year is burnt down early by the end of December, the majority of it before the end of November (Laris 2002). The decrease of tree cover in burnt areas is probably mainly caused by the expansion of area under cultivation and shorter fallows, whereas indigenous burning regimes selectively protect trees from late season fires which are usually more violent (Laris & Wardell 2006). During the early dry season, only certain soil formations such as bowals are dry enough to be burnt (Laris 2002). The early fires do not appear as running on a large scale, but are numerous and highly fragmented. This characteristic is used by humans to create fire breaks and separate different patches in order to prevent later, more serious fires (Fairhead & Leach 1996, Laris & Wardell 2006, Laris & Bakkoury 2008). Whereas late heavy fires have the potential to damage mature trees and to destroy tree seedlings, occasionally causing the local extinction of woody plant species, early fires do probably not affect the density of tree seedlings and could thus act as suitable landscape management tool (Zida et al. 2007). Referring to the arguments supporting late fires set by herders in chapter 4.2.1., these are only advisable if the natural savanna succession and vegetation is disturbed by heavy grazing, and if the woody plant species composition mainly comprises pioneer species. In line with this, Laris & Wardell (2006), who generally support early burning regimes, admit that a reduction of flammable biomass, caused by the reduction of fallow

periods or overgrazing, has created a situation where the radius of the traditional early fires became too limited to shape the typical mosaic habitats.

Apart from avoiding later large-scale fires, the Malian mosaic burning regime creates highly heterogeneous habitats, which were recently identified to support a high biodiversity (Laris 2002, Laris & Wardell 2006). Even if the savanna is regularly burnt, the savanna-forest edges are not necessarily affected by fires (Duvall 2003). Moreover, it seems that the role of fire in determining the distribution of certain forest formations, although real, has been overrated in the past, as has been shown for the *Gillettiodendron* forests in the Bafing area which are located on soils too moist to be burnt (Duvall 2003). To present sound data on the biodiversity in fire-shaped heterogeneous habitats, the influence of burning should be incorporated in diversity analyses besides biophysical factors since the impact of fire on different species groups seems to vary considerably (Klop & Prins 2008).

Whereas natural forest blocks as well as patches of gallery and ravine forest should be protected from fire with regard to the ecosystem services they provide, the traditional burning regimes are essential to maintain the diversity of the characteristic savanna-forest mosaics (Goetze et al. 2006). The extent to which burning should be applied as a favourable landscape management tool depends strongly on the small-scale habitat settings: areas with a high population growth and a decline in biomass are reported to strive to reduce the frequency of burning in order to preserve special habitat features that constitute important resources during the late dry season, e.g. floodplains for pasture (Laris & Wardell 2006). To minimize damages from fire to particular useful or large trees with few offspring, which are more valuable than the subsequently invading shrub and pioneer tree species, they should be protected by cutting the surrounding grasses (Lykke 1998). This measure seems to be highly feasible and already applied locally since we observed its implementation in Woroni in the Sikasso area.

## **5. Conclusions and outlook**

There is no broad understanding of how human activities affect vegetation formations in southern Mali. The long history of traditional land use systems implies that the consequences of alterations in management strategies on the environment are well understood by local people. The expansion of agriculture, cattle breeding and other changes in land use might be recognized by peasants as drivers of degradation and destruction of natural resources on the long term. However, the increasingly rapid alteration of livelihood circumstances caused by demographic, economic, social and climatic changes leaves them no other option to secure their short-time survival. In conjunction with the official policies which lack participatory approaches and decentralized land use strategies, the anthropogenic pressure on forest habitats is expected to augment (cf Bassett & Zuéli 2000, Commission Européenne 2006, Goetze et al. 2006, Clerici et al. 2007). Overall, forests are highly valued since they provide important ecosystem services for adjacent communities such as the protection of

watersheds, a broad variety of NTFPs, and supply of shade and seeds (Fairhead & Leach 1996, Schreckenberg 1999, Leach & Fairhead 2000, Maranz 2009). Further on, they have a cultural value as places for traditional rituals or domicile of ancestral spirits (Leach & Fairhead 2000, Campbell 2004). Human activities not only affect vegetation structures, but also animal species compositions and consequently impact the vegetation capacities in dispersal. Besides the consequences of hunting, many animal species such as the emblematic chimpanzees depend on food sources from forests and cannot fulfil their needs from the surroundings alone (Duvall 2000).

New policies established in the 1990s often lack the precise allocation of responsibilities, the control over natural resources still remaining with the state and advisory institutions, and require a clear definition of roles and rights of local communities (Schneider 1996, Becker 2001). Ordinary village people should thus be integrated in policy-making in a real participatory approach to gain legitimacy of new rules and laws in the eyes of rural populations and to decentralize control over the natural resources surrounding the respective community (Basset & Zuéli 2000, Duvall 2003). This means that they should not only take part in the implementation of laws and guidelines, but contribute to their elaboration to enhance a better linkage between livelihood and conservation issues (Sayer et al. 2007, Evans et al. 2008). The attribution of responsibility for natural resources to local communities is expected to increase the motivation to engage in conservation (Sow & Anderson 1996, Diallo & Démbéle 2003). It could accordingly contribute to enhance the commercialisation of natural resources on a local scale in a sustainable way, given that the producer of the commodity is also the merchant. Marketing locally produced goods on a national or international scale, however, requires the establishment of official ecological and equitable certifications that aim at sustainable production cycles since then the trade patterns get more complex and producers get less able to control the resource exploitation level. The management of national issues, such as protected areas and the conservation of endemic and/or threatened species, should be planned by national and/or international authorities and organizations.

Furthermore, analyses and interpretations of environmental dynamics used in policy-making are often only applicable on a small scale and need to recognize locally different sets of demographic and cultural parameters, biodiversity patterns, landscape characteristics and management practices. There is the need to continue studies on land use systems to substantiate recent findings with regard to the development of future policies and management strategies based on a specific African model of forest dynamics (Nyerges & Green 2000). To date, governmental and non-governmental institutions involved in policy-making are often aware of environmental problems, but happen to misconceive the real causes due to relying on dated views and perceptions of traditional land management practices (Basset & Zuéli 2000, Laris & Wardell 2006). With regard to our study areas, the Maninke

constitute the most dominant ethnic group in the Bafing and the Manding Mts. area, and together with the Bambara in the Madina Diassa area, whereas our study sites in the Sikasso area were mostly inhabited by the Senufo, implicating different social as well as land use systems. Additionally, vegetation structures and plant species compositions vary in these areas. National policies therefore need to consider local differences instead of insisting on a countrywide validation.

Promising approaches to protect the natural resources in southern Mali should strive to combine the reinforcement of sustainable land management practices, the alleviation of rural poverty and the promotion of the long-term benefits of conservation measures that restrict access of local communities to certain resources. For instance, local communities should be supported to continue applying traditional agricultural systems, including long fallow cycles. This could be accompanied by projects to increase the recruitment of trees in fields as well as in forests with regard to landscape enrichment, if applicable favouring indigenous plant species that are in decline (Benjaminsen 1997b, Gilruth 2005, Gibbons et al. 2008, Kindt et al. 2008). Such management approaches should incorporate local knowledge and strengthen local preferences and responsibilities (Sow & Anderson 1996, Becker 2001, Diallo & Démbéle 2003, Clerici et al. 2007).

To protect natural savanna habitats, the fire management needs to be adapted to the state of a certain area or habitat: early fires should be used in areas with low or no grazing pressure to sustain the actual ratio of trees / grasses and to avoid uncontrolled burning which could severely damage and degrade innate woodlands and forest habitats (Bassett & Zuéli 2000, Laris & Bakkoury 2008). Given a high grazing pressure, the careful application of late fires can prevent rangeland degradation by disabling the persistence and the encroachment of undesirable pioneer tree species. The plantation of regionally typical palatable, perennial grasses might be a suitable measure to enhance the rejuvenation of the characteristic herbaceous layer (Hiernaux & Gerard 1999). Further on, a governmental rangeland rehabilitation policy should be developed, aiming at the recovery of degraded rangelands by protecting them from grazing for a period of at least 2-3 years (Basset & Zuéli 2000). The conflicts between the forestry service and local populations need to be eliminated by developing suitable fire management strategies on a local scale and in cooperation with residents, thereby rectifying too restrictive fire policies

The value of natural forests as provider of genetic and species diversity needs to be particularly highlighted. To this end, the maintenance of traditionally protected or sacred forests and plant species constitutes one measure and should be fostered to guarantee the continuity of these habitats and the valuable natural resources they shelter (Campbell 2004). This should also apply to other special habitat features, e.g. the Missirikoro limestone formation in the Sikasso area which is on the one hand a culturally important place and provides on the other hand important habitat for rock- and cave-dwelling animal species such

as bats. The valorisation of protected forest habitats through the development of income from tourism and community-based wildlife management is another measure to compensate the restricted use rights of local communities and to increase the willingness to participate in conservation activities (Clerici et al. 2007). Finally, we recommend the implementation of environmental education lessons in Malian schools which has been reported to raise the awareness of conservation issues among the students (Diarra 1999).

## References

- André, V., G. Pestana, and G. Rossi. 2003. Foreign representations and local realities: Agropastoralism and environmental issues in the Fouta Djallon tablelands, Republic of Guinea. *Mountain Research and Development* **23**:149-155.
- Arnold, J. E. M. and M. R. Perez. 2001. Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics* **39**:437-447.
- Aubreville, A. 1949. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris: Société d'Édition de Géographie Maritime et Coloniale.
- Bassett, T. J. 2005. Card-carrying hunters, rural poverty, and wildlife decline in northern Cote d'Ivoire. *The Geographical Journal* **171**:24-35.
- Bassett, T. J. and K. B. Zuéli. 2000. Environmental discourses and the Ivorian savanna. *Annals of the Association of American Geographers* **90**:67-95.
- Bassett, T. and M. D. Turner. 2007. Sudden Shift or Migratory Drift? FulBe Herd Movements to the Sudano-Guinean Region of West Africa. *Human Ecology* **35**:33-49.
- Baudron, F., M. Corbeels, F. Monicat, and K. Giller. 2009. Cotton expansion and biodiversity loss in African savannahs, opportunities and challenges for conservation agriculture: A review paper based on two case studies. *Biodiversity and Conservation* **18**:2625-2644.
- Becker, L. C. 2000. Garden money buys grain: Food procurement patterns in a Malian village. *Human Ecology* **28**:219-250.
- Becker, L. C. 2001. Seeing green in Mali's woods: Colonial legacy, forest use, and local control. *Annals of the Association of American Geographers* **91**:504-526.
- Belcher, B., M. Ruíz-Pérez, and R. Achdiawan. 2005. Global patterns and trends in the use and management of commercial NTFPs: Implications for livelihoods and conservation. *World Development* **33**:1435-1452.
- Benjaminsen, T. A. 1993. Fuelwood and desertification: Sahel orthodoxies discussed on the basis of field data from the Gourma region in Mali. *Geoforum* **24**:397-409.
- Benjaminsen, T. A. 1997a. Natural resource management, paradigm shifts, and the decentralization reform in Mali. *Human Ecology* **25**:121-143.
- Benjaminsen, T. A. 1997b. Is there a fuelwood crisis in rural Mali? *GeoJournal* **43**:163-174.
- Biaou, C., S. Alonso, D. Truchot, F. A. Abiola, and C. Petit. 2003. Contamination des cultures vivrières adjacentes et du sol lors d'une pulvérisation d'insecticides sur des champs de coton: Cas du triazophos et de l'endosulfan dans le Borgou (Bénin). *Revue de Médecine Vétérinaire* **154**:339-344.
- Bird, M. I. and J. A. Cali. 1998. A million-year record of fire in sub-Saharan Africa. *Nature* **394**:767-769.
- Boffa, J-M. 1999. *Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa*. FAO Conservation Guide 34, FAO, Rome.

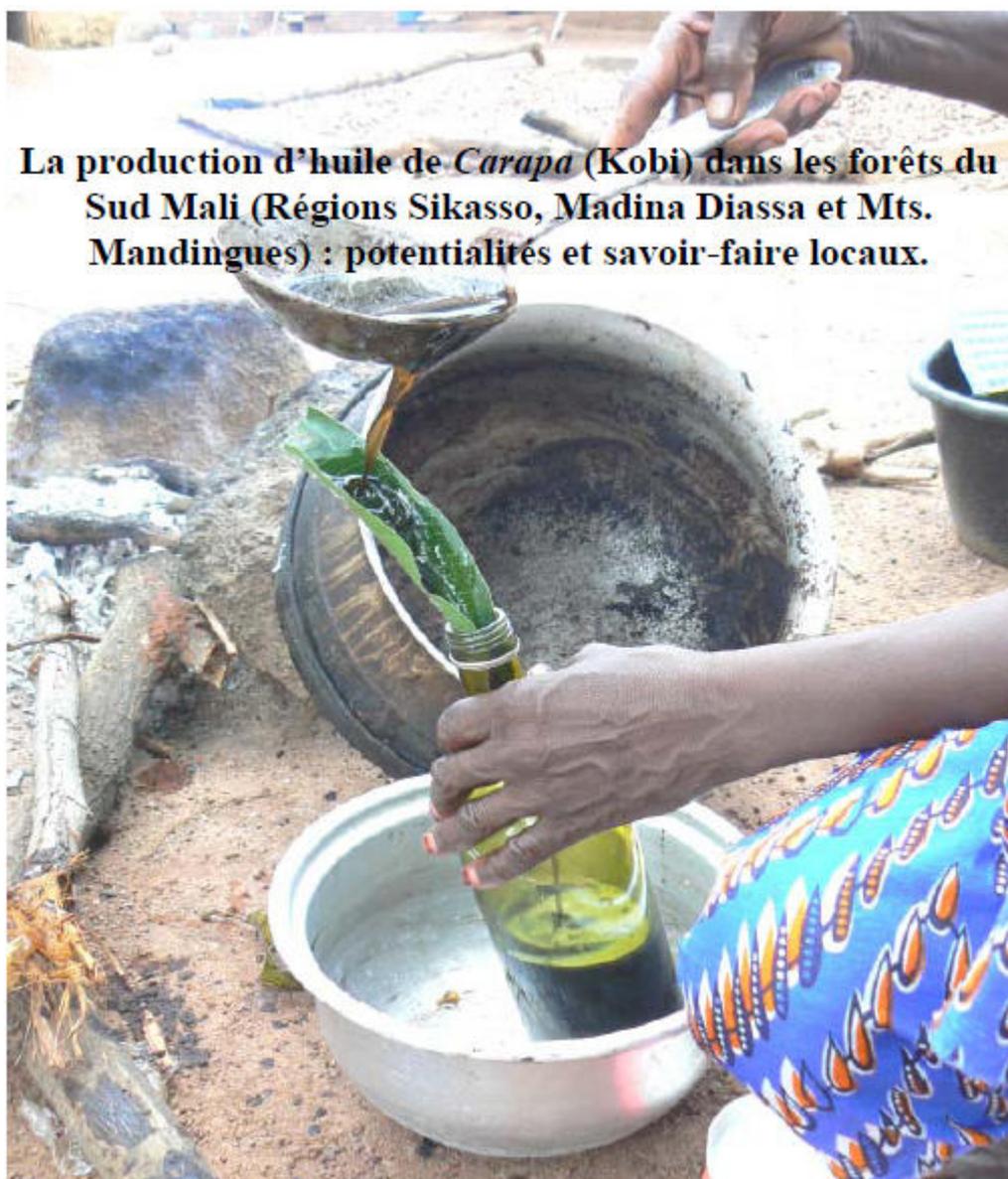
- Campbell, M. O. 2004. Traditional forest protection and woodlots in the coastal savannah of Ghana. *Environmental Conservation* **31**:225-232.
- Charney, J., P.H. Stone, and W.J. Quirk. 1975: Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science* **187**: 434-435.
- Chatelain, C., L. Gautier, and R. Spichiger. 1996. A recent history of forest fragmentation in southwestern Ivory Coast. *Biodiversity and Conservation* **5**:37-53.
- Chevalier, A. 1950. La progression de l'aridité, du dessèchement et de l'ensablement des sols en Afrique Occidentale française. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* **230**:1550-1553.
- Chudeau, R. 1922. Les irrigations du Niger et la culture du coton. *Annales de Géographie* **170**:155-163.
- Clerici, N., A. Bodini, H. Eva, J.-M. Grégoire, D. Dulieu, and C. Paolini. 2007. Increased isolation of two Biosphere Reserves and surrounding protected areas (WAP ecological complex, West Africa). *Journal for Nature Conservation* **15**:26-40.
- Commission Européenne. 2006. Profil Environnemental du Mali. Rapport Final Provisoire.
- Devineau, J.-L., A. Aurouet, M. Douanio, and A. Hladik. 2008. Changes in the availability and uses of wild yams according to climatic dryness and land-cover in western Burkina Faso (West Africa): A joint ecological and ethno-botanical approach using GIS and remote-sensing. *Biodiversity and Conservation* **17**:1937-1963.
- Devineau, J.-L. and A. Fournier. 2005. To what extent can simple plant biological traits account for the response of the herbaceous layer to environmental changes in fallow-savanna vegetation (West Burkina Faso, West Africa)? *Flora* **200**:361-375.
- Dhillion, S. S. and Gustad, G. 2004. Local management practices influence the viability of the baobab (*Adansonia digitata* Linn.) in different land use types, Cinzana, Mali. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **101**:85-103.
- Diallo, C. O. and N. Z. Dembélé. 2003. Méthodologie et expérience d'appui à l'élaboration d'un plan de gestion des ressources naturelles à l'échelle d'une commune rurale. Cas de la commune de Diou (Kadiolo-Sud Mali). Programme Jèkasy, Intercooperation au Sahel 19.
- Diarra, B., O. Diall, S. Geerts, P. Kageruka, Y. Lemmouchi, E. Schacht, M. C. Eisler, and P. Holmes. 1998. Field evaluation of the prophylactic effect of an isometamidium sustained-release device against trypanosomiasis in cattle. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* **42**:1012-1014.
- Diarra, S. O. 1999. School-community linkages in environmental education. Factors of success in PFIE, non-PFIE and community schools in Mali. Greencom, Washington, DC.
- Doumbia, Y. 1991. Problématique des feux de brousse au Mali, débat nationale sur les feux de brousse. Unpublished report, Direction Nationale des Eaux et Forêt, Bamako.
- Duvall, C. S. 2000. Important habitat for chimpanzees in Mali. *African Study Monographs* **21**:173-203.
- Duvall, C. S. 2003. Symbols, not data: Rare trees and vegetation history in Mali. *The Geographical Journal* **169**:295-312.
- Duvall, C. S. 2008. Human settlement ecology and chimpanzee habitat selection in Mali. *Landscape Ecology* **23**:699-716.
- Evans, K., W. de Jong, and P. Cronkleton. 2008. Future scenarios as a tool for collaboration in forest communities. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society* **1**:97-103.
- Fairhead, J. and M. Leach. 1994. Contested forests: Modern conservation and historical land use in Guinea's Ziama Reserve. *African Affairs* **93**:481-512.

- Fairhead, J. and M. Leach. 1996. Enriching the landscape: Social history and the management of transition ecology in the forest-savanna mosaic of the Republic of Guinea. *Africa* **66**:14-36.
- Fairhead, J. and M. Leach. 1998. Reconsidering the extent of deforestation in twentieth century West Africa. *Unasylva* **49**:38-46.
- Fuller, D. O. and C. Ottke. 2002. Land cover, rainfall and land-surface albedo in West Africa. *Climatic Change* **54**: 181-204.
- Gibbons, P., D. B. Lindenmayer, J. Fischer, A. D. Manning, A. Weinberg, J. Seddon, P. Ryan, and G. Barrett. 2008. The future of scattered trees in agricultural landscapes. *Conservation Biology* **22**:1309-1319.
- Gilruth, P. T., S. E. Marsh, and R. Itami. 1995. A dynamic spatial model of shifting cultivation in the highlands of Guinea, West Africa. *Ecological Modelling* **79**:179-197.
- Goetze, D., B. Hörsch, and S. Porembski. 2006. Dynamics of forest-savanna mosaics in north-eastern Ivory Coast from 1954 to 2002. *Journal of Biogeography* **33**:653-664.
- Gornitz, V. and NASA. 1985. A survey of anthropogenic vegetation changes in West Africa during the last century — climatic implications. *Climatic Change* **7**:285-325.
- Gustad, G., S. S. Dhillion, and D. Sidibe. 2004. Local use and cultural and economic value of products from trees in the parklands of the municipality of Cinzana, Mali. *Economic Botany* **58**:578-587.
- Hiernaux, P. and B. Gérard. 1999. The influence of vegetation pattern on the productivity, diversity and stability of vegetation: The case of 'brousse tigrée' in the Sahel. *Acta Oecologica* **20**:147-158.
- Higgins, S. I., J. Kantelhardt, S. Scheiter, and J. Boerner. 2007. Sustainable management of extensively managed savanna rangelands. *Ecological Economics* **62**:102-114.
- IUCN. 2009. 2009 IUCN Red List of Threatened Species. <[www.redlist.org](http://www.redlist.org)>
- Kelly, B. A., J.-M. Bouvet, and N. Picard. 2004a. Size class distribution and spatial pattern of *Vitellaria paradoxa* in relation to farmers' practices in Mali. *Agroforestry Systems* **60**:3-11.
- Kelly, B. A., O. Hardy, and J.-M. Bouvet. 2004b. Temporal and spatial genetic structure in *Vitellaria paradoxa* (shea tree) in an agroforestry system in southern Mali. *Molecular Ecology* **13**:1231-1240.
- Kindt, R., A. Kalinganire, M. Larwanou, M. Belem, J. Dakouo, J. Bayala, and M. Kairé. 2008. Species accumulation within land use and tree diameter categories in Burkina Faso, Mali, Niger and Senegal. *Biodiversity and Conservation* **17**:1883-1905.
- Klop, E. and H. H. T. Prins. 2008. Diversity and species composition of West African ungulate assemblages: Effects of fire, climate and soil. *Global Ecology and Biogeography* **17**:778-787.
- Koeing, D. and T. Diarra. 1998. The Environmental Effects of Policy Change in the West African Savannah: Resettlement, Structural Adjustment and Conservation in Western Mali. *The Journal of Political Ecology* **5**:23-52.
- Laris, P. 2002. Burning the seasonal mosaic: Preventative burning strategies in the wooded savanna of southern Mali. *Human Ecology* **30**:155-186.
- Laris, P. and D. A. Wardell. 2006. Good, bad or 'necessary evil'? Reinterpreting the colonial burning experiments in the savanna landscapes of West Africa. *The Geographical Journal* **172**:271-290.
- Laris, P. and A. Bakkoury. 2008. Nouvelles leçons d'une vieille pratique: Mosaïque du feu dans la savane du Mali. *Bois et forêts des tropiques* **296** :5-16.
- Leach, M. and J. Fairhead. 2000. Challenging neo-Malthusian deforestation analyses in West Africa's dynamic forest landscapes. *Population and Development Review* **26**:17-43.

- Lykke, A. M. 1998. Assessment of species composition change in savanna vegetation by means of woody plants' size class distributions and local information. *Biodiversity and Conservation* **7**:1261-1275.
- Maranz, S. 2009. Tree mortality in the African Sahel indicates an anthropogenic ecosystem displaced by climate change. *Journal of Biogeography* **36**:1181-1193.
- Maranz, S. and Z. Wiesman. 2003. Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharan Africa north of the equator. *Journal of Biogeography* **30**:1505-1516.
- Marvier, M., C. McCreedy, J. Regetz, and P. Kareiva. 2007. A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. *Science* **316**:1475-1477.
- Mortimore, M. 1989. *Adapting to Drought: Farmers, Famines, and Desertification in West Africa*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nyerges, A. E. 1996. Ethnography in the reconstruction of African land use histories: A Sierra Leone example. *Africa* **66**:122-144.
- Nyerges, A. E. and G. M. Green. 2000. The ethnography of landscape: GIS and remote sensing in the study of forest change in West African Guinea savanna. *American Anthropologist* **102**:271-289.
- Picard, N., S. Ouattara, D. Diarisso, M. Ballo, and D. Gautier. 2006. Defining units for savanna management in Sudano-Sahelian areas. *Forest Ecology and Management* **236**:403-411.
- Pruetz, J. D., L.F. Marchant, J. Arno and W. C. McGrew. 2002. Survey of Savanna Chimpanzees *Pan troglodytes verus* in Southeastern Sénégal. *American Journal of Primatology* **58**:35-43.
- Raynaut, C. (ed). 1997. *Sahels: diversité et dynamiques des relations sociétés-nature*. Karthala, Paris. 430pp.
- Redford, K. H. 1992. The empty forest. *BioScience* **42**:412-422.
- Sayer, J. A. 1977. Conservation of large mammals in the Republic of Mali. *Biological Conservation* **12**:245-263.
- Sayer, J., B. Campbell, L. Petheram, M. Aldrich, M. Perez, D. Endamana, Z.-L. N. Dongmo, L. Defo, S. Mariki, N. Doggart, and N. Burgess. 2007. Assessing environment and development outcomes in conservation landscapes. *Biodiversity and Conservation* **16**:2677-2694.
- Schneider, P. 1996. *Sauvegarde et aménagement de la forêt classée de Farako (Région de Sikasso, Mali-Sud), avec la participation et au profit des populations riveraines*. Thèse EPFZ (Switzerland), no. 11867, Zurich (Switzerland).
- Schreckenberg, K. 1999. Products of a managed landscape: Non-timber forest products in the parklands of the Bassila region, Benin. *Global Ecology and Biogeography* **8**:279-289.
- Shanley, P., A. Pierce, S. Laird, and D. Robinson. 2005. *Beyond Timber: Certification and Management of Non-Timber Forest Products*. CIFOR, Washington DC.
- Sow, M. and J. Anderson. 1996. La forêt vue par les villageois Malinké des alentours de Bamako, au Mali. *Unasylva* **47**:22-27.
- Thiollay, J.-M. 2006. The decline of raptors in West Africa: long-term assessment and the role of protected areas. *Ibis* **148**:240-254.
- Turner, M. D. 1993. Overstocking the range: A critical analysis of the environmental science of Sahelian pastoralism. *Economic Geography* **69**:402-421.
- Turner, M. D. 2009. Capital on the move: The changing relation between livestock and labor in Mali, West Africa. *Geoforum* **40**:746-755.

- Warshall, P. 1989. Mali: biological diversity assessment (Updated by Mamadou Augustin Dembele, USAID, March 2002). Natural Resources Management Support Project, USAID Project #698-0467, USA. 95 pp.
- Weber, N., P. Birnbaum, P.-M. Forget, M. Gueye, and D. Kenfack. [in prep.]. L'huile de carapa (*Carapa* spp., Meliaceae) en Afrique de l'Ouest: utilisations et implications dans la conservation de l'environnement. To be submitted to *Fruits*.
- Zida, D., M. Tigabu, L. Sawadogo, D. Tiveau, and P. C. Odén. 2009. Long-term effects of prescribed early fire, grazing and selective tree cutting on seedling populations in the Sudanian savanna of Burkina Faso. *African Journal of Ecology* **47**:97-108.

**Annexe 3 : « La production d'huile de Carapa (Kobi) dans les forêts du Sud Mali (Régions Sikasso, Madina Diassa et Mts. Mandingues) : potentialités et savoir-faire locaux » par Natalie WEBER.**



**Natalie Weber (2008)**

**HELVETAS-Mali** : BP 1635, Quartier Hippodrome, Rue 254 Porte 416, Bamako, Mali  
**MEDD-ECOFOR** : « Forêts de failles et forêts galeries au sud du Mali : deux voies pour la pérennité des refuges guinées en zone soudanienne » (convention de recherche 0000337 entre le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable français - programme Ecosystèmes Tropicaux - et l'IRD/CIRAD) représenté par Ph. Birnbaum (Cirad) – UMR AMAP - TA-A51/PS2, Boulevard de la Lironde - 34398 Montpellier cedex 5 (France) et L. Granjon (Ird) - UMR CBGP, Campus international Baillarguet, CS 30016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex (France).

## Cadre du projet

Au Mali, l'espèce d'arbre *Carapa procera* est présente exclusivement dans les forêts galeries et les forêts de failles à écoulement permanent. Généralement, les forêts galerie et forêts de faille constituent des ressources importantes pour les populations humaines adjacentes. En plus de représenter une source d'eau permanente et un microclimat clément, elles fournissent toute une gamme de produits vitaux depuis le bois jusqu'aux médicaments traditionnels. Les activités humaines influencent la composition de ces zones forestières, ainsi que leur extension. Les populations locales possèdent par ailleurs une grande expérience dans les pratiques traditionnelles relatives à l'utilisation des terres et des plantes « utiles ». De ce fait les études écologiques visant à orienter la protection de ces forêts et de la biodiversité qu'elles hébergent doivent prendre en compte les connaissances, perceptions et besoins des populations locales, et associer ces dernières aux prises de décision afférentes. Les communautés rurales du sud Mali dépendent essentiellement de l'agriculture de subsistance, de la forêt, et de petits revenus générés par leurs produits. La détérioration des conditions de vie de ces populations du fait de la dégradation de l'habitat et l'accroissement de l'aridité induit une pression supplémentaire sur les ressources forestières et les espèces de plantes utiles.

*Carapa procera* (le Kobi en langue Bambara) est une espèce-cible du projet MEDD-Ecofor du fait de ses caractéristiques écologiques (essence forestière, liée à une source d'eau permanente), qui expliquent sa distribution lacunaire au Mali et son aptitude comme modèle pour comprendre les processus liés au fractionnement des milieux écologiques. C'est par ailleurs, une espèce traditionnellement utilisée par les populations locales : La production d'huile à partir de ses graines est connue de longue date au sud Mali, cette huile étant essentiellement appréciée pour ses caractéristiques insecticides/insectifuges. Malgré ce rôle important pour les hommes, les animaux et les cultures, cette huile naturelle a été progressivement remplacée par des produits chimiques. Au-delà de ces utilisations traditionnelles, elle a permis récemment la mise au point, avec d'autres composants naturels, d'un insecticide biologique utilisé dans la culture du coton biologique. Dans le cadre des activités de la promotion du coton biologique et équitable menées par HELVETAS et MOBIOM, l'huile de Kobi constitue un ingrédient nécessaire à la production d'un insecticide d'origine biologique, à côté des huiles de Neem (*Azadirachta indica*) et de Npeku (*Lannea microcarpa*). Jusqu'à maintenant, l'huile de Kobi requis est exclusivement importée de Guinée, malgré la disponibilité des ressources au Mali. Cette année, MOBIOM a acheté 2500 litres en provenance de la Guinée à un prix de 2500 Frs CFA/litre (soit environ 3.8 €/litre). Progressivement, la quantité nécessaire augmentera en raison du plein essor du marché du coton biologique. Selon les prévisions, l'édification d'une filière significative de production d'huile de Kobi au Mali multiplierait le nombre de bénéficiaires du marché du coton biologique et aiderait MOBIOM à assurer la quantité requise d'insecticide.

## Stratégie de mise en oeuvre

En adéquation avec les objectifs de HELVETAS reliés à la production du coton biologique et équitable, notre projet vise à améliorer les conditions de vie des communes rurales et parallèlement à promouvoir l'utilisation durable des ressources naturelles, ainsi que le co-développement économique et écologie. Notre concept vise à accompagner la production du coton biologique et équitable en optimisant le développement de la production d'insecticides biologiques tout en favorisant la conservation des milieux. En effet jusqu'à présent, la durabilité de la production d'huile de Kobi n'est pas garantie tant que les circonstances de la production en Guinée ne sont pas traçables.

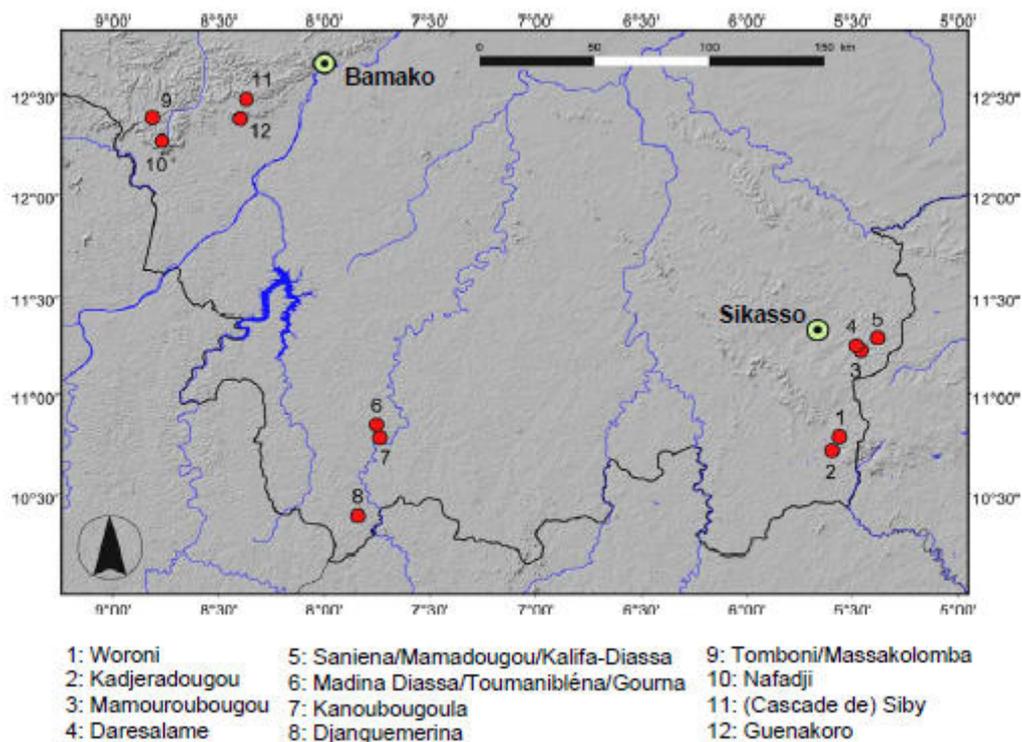
En intégrant l'importance traditionnelle de l'huile de Kobi au Mali et son potentiel économique dans le secteur du coton biologique, cette étude pilote a visé la réhabilitation de l'extraction de l'huile de Kobi dans les zones rurales, en favorisant la participation des populations locales dans le marché du coton. Notre approche comprend le renforcement du savoir traditionnel associé aux produits du *Carapa*, et l'utilisation de ce potentiel pour améliorer les

revenus des communautés locales. Les rendements s'adressent en particulier aux paysannes, puisque l'extraction de l'huile de Kobi est traditionnellement exercée par les femmes.

Au-delà de ces retombées économiques locales, l'idée est également de faire participer les populations locales à la protection des habitats naturels liés au développement des populations de *Carapa*. La combinaison des recherches scientifiques et des savoirs locaux peut permettre d'élaborer des stratégies de conservation applicables aux forêts du sud Mali. Pour cela, nous nous sommes efforcés de mettre en évidence les perceptions des populations locales par rapport aux produits tirés de *Carapa*. La relation directe entre la survie des populations de *Carapa* et la préservation des forêts galeries et forêts de faille qui les abritent constitue une base adéquate pour une prise de conscience par ces communautés humaines de la nécessité de la préservation des écosystèmes et de la gestion durable des ressources forestières.

### Aspects méthodologiques

Le travail de terrain a été réalisé, en deux phases, dans 17 villages répartis dans trois zones géographiques (régions de Sikasso, du Baoulé et des Monts Mandingues, Fig. 1): la première étape s'est déroulée entre le 8 février et le 3 mars 2008 autour de la collecte d'information sur les expériences et les perceptions des populations locales liées à *Carapa*. La deuxième partie s'est effectuée entre le 5 juin et le 2 juillet 2008 centrée autour de la prospection des populations de *Carapa*, la participation à l'extraction d'huile de Kobi, l'achat d'huile et des discussions concernant les activités futures.



**Figure 1 : Position géographique des 17 villages visités lors de notre étude sur la production d'huile de Kobi. Les chiffres sur la carte font référence à l'énumération au-dessous.**

Au total, 13 interviews ont été conduites dans 13 villages. Un questionnaire structuré, préparé à l'avance, a été appliqué de façon semi-formelle pour permettre des allers-retours entre interviewers et interviewés. Le questionnaire était composé de questions « ouvertes » et « fermées » ; les premières permettant à l'interviewé de développer et discuter ses opinions, les secondes amenant à des réponses concrètes et comparables d'une interview à l'autre. Les questions se

référaient aux usages traditionnels et actuels de l'huile de *Carapa*, au statut actuel des populations et habitats de *Carapa*, ainsi qu'à la production d'huile elle-même. Par ailleurs, les personnes impliquées directement dans l'extraction d'huile étaient identifiées, et caractérisées (âge, statut social). Les résultats indiqués en pour cent se reportent aux 13 villages.

La seconde phase du travail avait lieu en juin, pendant la période de fructification de *Carapa*. Elle a été préparée suite aux accords obtenus en février-mars concernant par exemple la récolte des graines par les villageois. Nous avons (re-)visité tous les villages inclus, tandis que les activités ont varié considérablement en fonction de la disponibilité des ressources et de l'intérêt des communes dans la participation au projet. Dans toutes les zones d'étude, nous avons estimé la taille des populations de *Carapa* afin de classer le potentiel de production d'huile. Des tables rondes ont été initiées afin d'évaluer l'intérêt des gens quant à l'expansion de la production d'huile en vue de l'étendre à une production annuelle en accord avec la culture du coton biologique. Pour associer les aspects économiques et écologiques, nous avons précisé le lien entre les populations de *Carapa* sur les sites d'étude et la conservation des habitats concernés, en particulier en fonction de leur rôle de réserves en eau.

De plus, le but était de susciter des discussions sur la perception par les résidents de l'intérêt de replanter du *Carapa* dans ses habitats naturels d'origine et également de développer la conscience locale de l'importance de l'intégrité environnementale comme une base durable de revenus.

## Résultats

### Enquêtes

Les données d'enquête formelle ont concerné 13 villages (5 dans la région de Sikasso, 4 dans celle de Madina-Diassa et 4 dans les Monts Mandingues, Tab. 1), et des informations complémentaires ont été obtenues via une discussion ouverte dont les résultats ne sont pas présentés ci-après. L'extraction de l'huile de Kobi est encore pratiquée dans neuf villages (69%). Quatre villages (31%) ont abandonné la production d'huile de Kobi depuis près de 50 ans pour deux raisons principales : 1- l'accroissement de l'aridité a induit une raréfaction des ressources et 2- la disponibilité de substituts chimiques a rendu le processus laborieux de production locale d'huile de Kobi inutile.

**Tab. 1 : Noms et dates d'interviews (si applicable) des 17 villages visités lors de notre étude sur la production d'huile de Kobi.**

Region	Village	Date d'interview
	Woroni	-
Sikasso	Kadjeradougou	08.02.2008
	Mamoroubougou	13.02.2008
	Daresalame	15.02.2008
	Saniena	17.02.2008
	Kalifa-Diassa	10.06.2008
	Mamadougou	-
Madina Diassa	Madina Diassa	20.02.2008
	Toumanibléna	24.02.2008
	Kanoubougoula	21.02.2008
	Gourna	-
	Djanguemerina	16.06.2008
Mts. Mandingues	Tomboni	29.02.2008
	Massakolomba	-
	Nafadji	28.02.2008
	Siby	02.03.2008
	Guenakoro	03.03.2008

Au total, 109 personnes ont participé aux interviews formelles, le nombre de participants par village allant de 3 à 15. Dans les villages « non-productifs », la longueur des interviews s'est trouvée limitée aux questions adéquates. Préalablement, le chef du village a été rencontré pour lui présenter notre projet, et organiser la réunion avec les personnes concernées par la production d'huile de Kobi. Les discussions ont essentiellement concerné 74 femmes de tous âges, actuellement ou anciennement productrices d'huile, ou même qui avaient observé leur mère dans cette activité il y a longtemps. Les chefs des villages ont systématiquement été intégrés aux discussions du fait de leur pouvoir de décision sur tout projet éventuel de coopération à venir. Par ailleurs, 22 autres hommes, conseillers ou parents des chefs des villages, planteurs ou jeunes intéressés par les questions relatives à l'environnement, ont participé aux discussions.

Les interviews ont révélé, sur nos sites d'étude, que les résidents apprécient les usages traditionnels de *Carapa*, et en retirent de multiples bénéfices (Tab. 2). Il est à noter que 15 applications supplémentaires n'ont pas été listées ici en faveur des données les plus fiables possible car excluant un seul dénombrement. L'huile tirée des graines de *Carapa* est la substance la plus utilisée, avant les feuilles, l'écorce et les racines. Dans 54% des villages, un fréquent manque de ressource a été mentionné, associé à de grandes variations dans la quantité de graines disponibles avec seulement quelques bonnes années permettant de fournir des quantités suffisantes de graines. Toutefois, cette donnée fait souvent référence à l'exploitation d'une certaine part des ressources étant donné que les collecteurs des graines n'ont pas l'habitude de voir tous sites de Kobi qui font partie de leurs villages. 54% des villages ont signalé le changement d'importance traditionnelle de l'huile de Kobi du fait de l'introduction des médicaments et insecticides chimiques. Cependant, 92% considèrent les produits du *Carapa* comme importants à très importants, contre seulement 8% qui les estiment non- importants. Le bois de *Carapa* est en revanche très peu exploité : Seuls les troncs et branches mortes en sont collectés comme bois de chauffe, et rarement pour la construction.

L'espèce est présente à proximité de tous les villages concernés, et 85% d'entre eux ont pu préciser que ces populations de *Carapa* donnaient des fruits. Les arbres n'ont pas été comptés et leur quantité à proximité de chaque site d'étude est très variable, toutefois tous les villages, sauf un, ont déploré la régression globale de *Carapa*. De plus, plusieurs villageois ont observé des pieds de *Carapa* qui fleurissaient mais ne donnaient pas de fruits ultérieurement, sans pouvoir l'expliquer. Les mesures de protection des arbres font la plupart du temps défaut, en particulier dans les villages les plus aisés, du fait de la croyance culturelle selon laquelle le maintien des ressources naturelles est sous la responsabilité de Dieu. Les quelques mesures prises étaient plutôt passives, comprenant la prévention des feux et des activités de déforestation près des rivières et des marigots. Les villageois de Kadjeradougou ont déclaré donner une grande importance à la protection des forêts riveraines dans le contexte de l'aridification, même si les zones concernées pourraient être consacrées aux cultures. Le chef du village de Toumanibléna a expliqué protéger les forêts galeries par des feux précoces contrôlés, qui sont moins dommageables pour les arbres du fait de l'humidité résiduelle dans le sol et la végétation en début de saison sèche.

**Tab. 2: Utilisation des produits de *Carapa* dans 11 villages du sud Mali, à l'exclusion des usages rapportés d'un seul village (soit 8 % des villages étudiés).**

Produit utilisé	Utilisation	Distribution des utilisations (% de 13 villages)
Huile	- Traitement des piqûres d'insectes (en particulier mouche tsé-tsé) des animaux domestiques pour éviter les infections et éloigner les mouches	62
	- Lotion corporelle contre les blessures, maladies de peau et comme insectifuge	77
	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (en particulier les infections associées à des vers parasitiques)	62
	- Production de savon	69
	- Protection des céréales	15
Ecorce séchée	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (vers parasitiques)	15
Racines séchées	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (vers parasitiques)	15
Décoction de feuilles	- Bains contre la fatigue	15

La période de récolte des fruits de *Carapa* a été unanimement désignée comme correspondant au début de la saison des pluies, entre fin mai et juin. Les informations sur la quantité de graines collectées varient considérablement (entre 30 et 3600 litres, en équivalent-volume), mais la proportion de graines collectées par rapport aux graines disponibles est relativement constante : A une exception près, les villages produisant de l'huile collectent la totalité des graines mûres tombées au sol, n'en laissant pratiquement aucune sur les sites de ramassage. En relation avec ces quantités variables de graines ramassées, les volumes d'huile produits varient entre 2 et 200 litres par village. Les années de bonne production de graines, la production peut doubler par rapport aux années de faible production, ces dernières devenant de plus en plus fréquentes d'après les villageois. Le prix de vente de l'huile de Kobi varie en proportion inverse de sa disponibilité, entre 1000 et 3000 Frs CFA/litre. Dans les villages non producteurs, les femmes achètent de l'huile sur les marchés urbains (p. ex. Bougouni, mais aussi en Côte d'Ivoire) et la revendent en petite quantité dans leur village à un prix pouvant atteindre 10000 Frs CFA/litre.

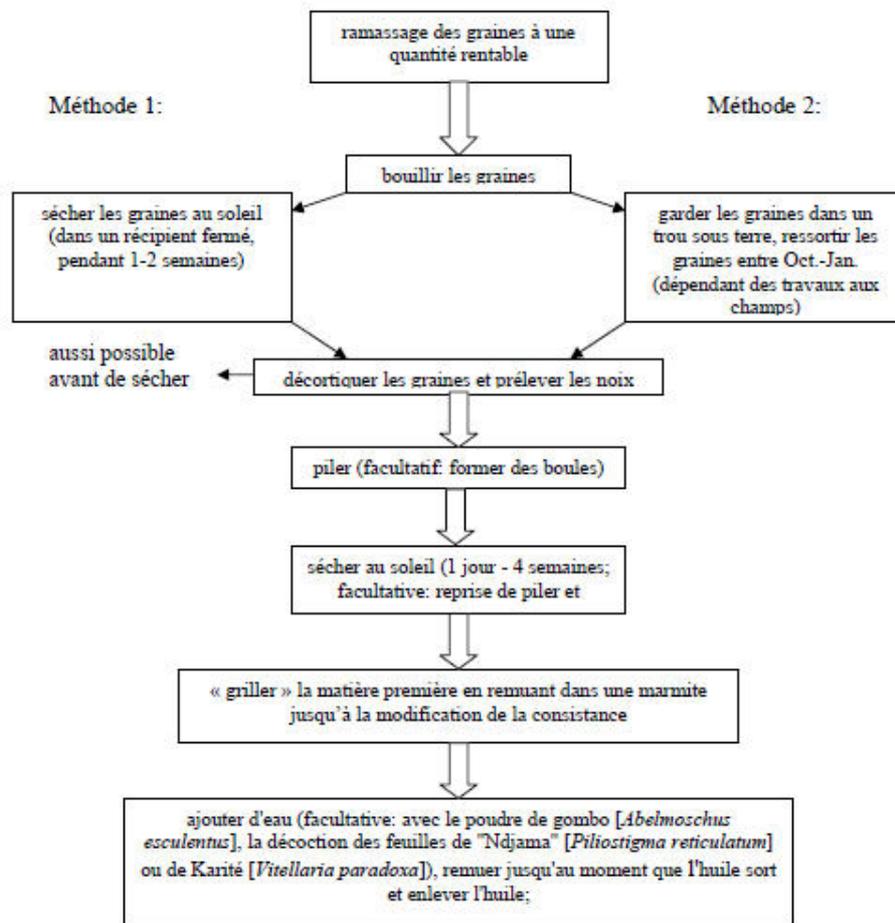
#### *Production d'huile de Kobi*

Depuis des générations, les graines sont collectées par les femmes, parfois accompagnées par leurs filles ou leurs petites filles qui se forment ainsi aux pratiques. Il en est de même pour ce qui est du processus d'extraction d'huile, pour lequel nous avons identifié deux méthodes fondamentalement différentes (pouvant être mises en oeuvre simultanément dans le même village, Fig. 2). La différence principale intervient dans la deuxième étape de la production, après la phase de bouillage des graines : Certains producteurs passent alors directement à la phase d'extraction de l'huile, alors que d'autres enterrent les graines bouillies dans le sol pour une période allant jusqu'à 6 mois avant de poursuivre l'extraction. Cette dernière méthode est dictée par la nécessité de suivre d'autres activités agricoles, non reportables. Malgré les interférences champêtre et la fatigue associée à ce travail d'extraction de l'huile, plus de la moitié des villages concernés (54%) considèrent la production d'huile comme profitable à très profitable. 77% se sont ainsi déclarés intéressés voire très intéressés à monter une collaboration avec le programme MEDD-Ecofor et HELVETAS/OBIOM pour vendre l'huile directement.

En coopération avec les villages de Woroni et de Kadjeradougou, nous avons assisté à l'extraction d'huile. Cet événement était arrangé exclusivement à une fin démonstrative sans fondement commercial, et la majeure partie des graines était enterrée. 8.6 kg de graines de *Carapa* fraîches étaient transformées suivant la première méthode (Fig. 2) et correspondant à 1.2 litres d'huile pure de Kobi. La comparaison avec la deuxième méthode en ce qui concerne l'efficacité

de chaque processus n'était pas réalisable pendant notre étude puisque la deuxième méthode s'appuie sur un certain degré de décomposition atteinte entre octobre et janvier. Actuellement, la production d'huile de Kobi sur nos sites d'étude est orientée vers les besoins traditionnels des populations locales et pas vers le commerce en gros. À cela près, toutes les régions impliquées abritent des populations de Carapa qui permettent l'augmentation considérable de la production d'huile. Compte tenu du fait que l'acquisition d'huile de Kobi par MOBIOM pour la culture du coton cette année était déjà clôturée, nous ne conviions pas les villageoises à extraire l'huile à l'instant. Cette décision était renforcée par le fait que les villageoises étaient très occupées par les activités agricoles essentielles, liées au début de la saison des pluies, qui ne laissent pas beaucoup de temps libre. Au lieu de cela nous avons proposé de collecter autant de graines de Carapa que possible et de les enterrer jusqu'à la prochaine période d'extraction entre octobre et janvier. Cependant trois villages autour de la forêt classée de Farako (Mamoroubougou, Daresalame et Mamadougou) ont décidé de produire immédiatement de l'huile: Cette zone produit par ailleurs la plus grande quantité d'huile de Kobi de tous nos sites d'étude, et nous sommes convenu avec MOBIOM d'acheter 52 litres d'huile directement afin d'affirmer l'intérêt pour les producteurs et de confirmer la pérennité du programme. Nous avons obtenu 38 litres à Mamoroubougou, dix litres à Mamadougou et quatre litres à Daresalame. Malgré tout, l'achat de toute la quantité totale en vente ne fut pas possible en raison de contraintes financières, une part de l'huile produite a été laissée sur place. Par ailleurs, nous avons suggéré aux producteurs d'huile et aux représentants de villages de s'organiser en coopératives pour accumuler une quantité importante d'huile, afin de rendre cette production efficace et rentable.

**Figure 2 : Description schématique des deux processus de l'extraction d'huile de Kobi appliqué à nos sites d'étude.**



### *Replantation*

Les discussions au sujet de la replantation de *Carapa* aux alentours des villages ont eu un écho très favorable, 85% des villages s'étant déclarés prêts à participer à de telles activités. En plus de l'opportunité d'intervenir dans le marché du coton biologique, les villageois ont désigné comme motivations le maintien des traditions et la conservation d'arbres utiles pour les générations futures. Pour les villageois les plus âgés, le Kobi existait de tout temps et ne peut pas disparaître. Pourtant, à la vue de la réduction évidente des fruits portés et aussi du manque de pieds jeunes, les gens sont disposés à prendre des mesures pour rajeunir les populations de *Carapa*.

Les populations locales savent que le *Carapa* germe facilement pourvu que l'habitat fournisse des conditions favorables. Pour cette raison, nous avons suggéré aux villageois de planter chaque année une petite quantité des graines dans les endroits où le *Carapa* est déjà présent, promettant de réussir plus facilement plutôt que d'installer des arbres dans des sites moins appropriés, p. ex. dans les champs. Corrélativement, toutes les populations significatives de *Carapa* à proximité des villages étudiés étaient associées à des forêts galeries ou des forêts de faille, toutefois à des stades de conservation variés. Les plus sérieuses menaces pesant sur l'intégrité de ces habitats apparaissent être les feux incontrôlés et le manque d'eau. Dans certains villages, p. ex. à Kadjeradougou et Toumanibléna, des planteurs ont fait des efforts pour installer quelques exemplaires de *Carapa* dans les champs dans le passé. Cependant, la pénurie croissante d'eau empêche la survie des plantules et probablement inhibe la fructification. Nous avons détecté une tentative prometteuse à Woroni, où un vieux a pris l'initiative de replanter du *Carapa* dans son champ il y a trois ans à proximité d'un emplacement de Kobi et à côté d'une rivière.

### **Conclusions et recommandations générales**

Le *Carapa* étant à la fois un indicateur des zones de forêts humides et un constituant majeur de l'insecticide naturel dédié à la culture du coton biologique, le projet présenté a cherché à établir une synergie d'action pour permettre : 1. aux paysans de bénéficier d'un revenu supplémentaire issu des ressources locales et 2. qu'ils favorisent en conséquence la protection des forêts de *Carapa* pour assurer la pérennité de ce marché. Ce message était extrêmement bien perçu par les paysans qui comprennent aisément ce double intérêt. Afin d'apprêter la suite de notre étude pilote, notre objectif visait à aider MOBIOM à acheter, dès cette année, de l'huile de Kobi produite autour de Farako, et de promouvoir un cycle de production annuel significatif aux trois régions du program.

Nous avons fortement conseillé MOBIOM d'organiser des visites dans tous les villages concernés afin de discuter et planifier les actions futures avec les habitants locaux. Il semble qu'établir l'achat d'huile pendant la période d'extraction habituelle constitue l'approche la plus prometteuse, en évitant la perturbation avec les travaux champêtres indispensables et non déplaçable, p. ex. l'ensemencement du mil et du maïs. En outre, la mise en place du contact personnel entre les producteurs et les acheteurs d'huile de Kobi contribuerait à éliminer le manque de confiance qui est rapporté par pratiquement toutes les communes participantes en raison de mauvaises expériences passées avec des projets de développement.

Le niveau de la production d'huile de Kobi au sud Mali est plus haut qu'attendu initialement et il dispose du potentiel nécessaire pour fournir une quantité importante d'insecticides biologiques pour les producteurs du coton biologique. L'augmentation de la production d'huile de Kobi est atteignable dans toutes les régions étudiées, en fonction de la disponibilité des ressources. Entretenir l'utilisation traditionnelle des produits de *Carapa* pour les populations locales est toutefois indispensable pour garantir la durabilité de la production d'huile. Nous favorisons donc le développement d'un cycle de production approprié pour permettre à la fois aux villageois de couvrir leurs besoins locaux et à la fois de satisfaire la demande des producteurs du coton.

Un autre écueil à éviter est la surexploitation des ressources existantes de *Carapa*, comme cela a été fait pour le Karité (*Vitellaria paradoxa*), où l'accroissement inconsidéré de la production d'huile à partir des graines de Karité pour des motifs commerciaux a compromis la régénération des populations naturelles de l'espèce, du fait du ramassage systématique de toutes les graines produites. Nous insistons donc sur la nécessité de discuter en détails des conditions d'utilisation rationnelle et durable des ressources du Kobi avec les populations concernées.

En général, le *Carapa* n'est pas une espèce d'arbre menacé, mais sa pérennité au sud Mali est exposé à certains risques. La diminution graduelle des fruits, malgré l'existence des fleurs, pourrait être en relation avec la dégradation des habitats ou encore avec le vieillissement des populations de *Carapa*. Il y a donc urgence d'amplifier la recherche pour éclairer ce problème. En plus, quelques sites sont complètement dépourvus de jeunes pieds de *Carapa* puisque les plantules particulièrement craignent le feu et le manque d'eau pour leur développement. Les villageois ont déclaré éviter de mettre le feu à côté des points d'eau, mais aussi de ne pas avoir la possibilité de l'empêcher d'arriver. La situation s'aggrave par la détérioration générale des forêts, et en particulier par l'abattement des grands arbres le long des zones d'écoulements en laissant des troncs sur place ce qui favorisent la pénétration du feu dans ces zones forestières. L'importance exceptionnelle de cet aspect devient évidente si l'on compare la distribution de *Carapa* avec celle du Neem (*Azadirachta indica*) et du Npeku (*Lannea microcarpa*), les deux arbres utilisés de surcroît comme insecticide biologique par HELVETAS/MOBIOM : Ces deux dernières espèces ne posent pas de problèmes d'approvisionnement, elles sont généralement et depuis longtemps plantées tandis que le *Carapa* ne pousse actuellement qu'à l'état naturel. Tout de même, toute tentative de replantation dans l'habitat naturel doit se faire en respectant les forêts existantes, et non à leurs dépens. Nous proposons donc aux acteurs futurs de poursuivre nos efforts portant sur l'intégrité des forêts galeries et des forêts de failles dans les zones d'étude et d'aspirer à l'institution d'un code dictant l'exploitation durable de ces forêts, en coopération avec les populations locales et les autorités administratives.

## Mesures à prendre par endroit

### Région Sikasso

#### *Woroni et Kadjeradougou*

- Expansion des relations excellentes et de la coopération entre les deux villages: pour le moment, le savoir-faire d'huile de Kobi est restreint à Kadjeradougou pour la plupart, mais Woroni a accès à des ressources supérieures. La population de *Carapa* dans les forêts galeries est prometteuse pour l'extraction d'huile, mais les graines ne sont que collectées sporadiquement et par endroits, entre autres parce que les femmes évitent certains lieux. En conséquence, l'intégration des hommes au ramassage semble préférable à partir de l'année prochaine. Nous proposons aux acheteurs de convenir de la transformation des ressources enterrées et de l'achat d'huile dès cette année avec les personnes impliqués.

- Les riverains ont une forte conscience de l'importance de leur environnement, et à Woroni la construction d'un camp écotouristique est en cours. Le bon état de la forêt galerie semble acquis, mais il ne faut pas négliger des menaces indirectes, p. ex. la construction des barrages.

- Prise de contact avec M. Ladjo Ballo à Woroni pour soutenir ses expériences de la replantation de *Carapa*.

#### *Forêt classé de Farako (Daresalame, Mamoroubougou, Saniena, Kalifa-Diassa, Mamadougou)*

- Acquisition d'huile existante à Mamoroubougou, Daresalame et Mamadougou.
- La mise en place du commerce annuel et contractuel (fusion de Mamoroubougou-Daresalame et Mamadougou-KalifaDiassa-Mamadougou comme coopératives opportune) en vue d'un potentiel exceptionnel de production d'huile de Kobi.

- Prise en compte des besoins locaux particuliers : la population locale se fournit en permanence au savon sur la base d'huile de Kobi.

- Prudence de l'imbrication des activités avec des autres projets : les villageoises nous ont informés de la présence de la Coopération Irlandaise dans la même zone pour l'achat d'huile de Kobi.

- Engagement dans la protection des forêts classées : la partie de la forêt galerie est distincte de tous les autres sites d'étude, du fait de la présence de très grands arbres. Les populations avoisinantes exploitent et dépendent des ressources naturelles de la forêt, mais ne sont pas impliquées dans l'exploitation commerciale du bois qui se fait sous couvert de l'état. Les résidents se plaignent de l'enlèvement excessif des grands arbres favorisant la dispersion des feux, de la sécheresse croissante, et de leur non-participation aux prises de décisions.

### **Région Madina Diassa (Rivière Baoulé)**

*Madina Diassa, Toumanibléna, Kanoubougoula, Gourna*

- Demander les résultats du rassemblement des responsables des villages, initié au but de la reprise des travaux liés au Carapa : l'extraction d'huile de Kobi était abandonné dû à son remplacement par des produits chimiques et à la perte des arbres par le feu. Le savoir-faire traditionnel a survécu à Toumanibléna, mais les ressources là-bas ne suffisent pas pour une production importante. Notre idée consiste donc à connecter les habitants de ces quatre villages puisque Kanoubougoula et Gourna ensemble abritent une population de Carapa appropriée. À condition qu'on s'intéresse à élargissement du marché d'huile de Kobi dans l'avenir et qu'on maintienne le contact avec les résidents, il se peut que l'extraction d'huile soit relancée.

*Djanguemerina*

- La mise en place du commerce d'huile annuel et contractuel : il y a une bonne population de *Carapa* appartenant au village, et la production d'huile est vivace. Actuellement, la quantité produite est pour la plupart adaptée aux besoins locaux, pourtant aménageable en incluant des jeunes femmes et des hommes. Nous avons convenu d'augmenter la quantité des graines collectées, et les villageoises attendent des nouvelles du côté des acheteurs.

- Support à la gestion de la forêt traditionnelle : il y a un loi orale imposant de ne pas installer des champs adjacent à une certaine partie de la forêt, le site de *Carapa*, afin de le protéger.

### **Mts. Mandingues**

*Massakolomba et Tomboni*

- La mise en place du commerce d'huile annuel et contractuel en vue d'un potentiel significatif à la production d'huile de Kobi.

- Prise de contact avec M. Gedeya Keita à Massakolomba, interlocuteur des coopératives locales : Massakolomba est le village principal dans cette zone, mais sans ressources considérables de *Carapa*. En accord avec les chefs du village à Tomboni et après consultation du chef de Massakolomba, Massakolomba doit représenter le centre de la coopération entre les hameaux fabriquant l'huile (Tomboni, Djalakoro).

*Nafadji*

- La mise en place du commerce d'huile annuel et contractuel en vue d'un potentiel significatif à la production d'huile de Kobi.

- Prise en compte des besoins locaux particuliers : en générale dans les Mts. Mandingues, l'huile de Kobi a une grande importance pour l'approvisionnement des éleveurs en insectifuge protégeant les animaux domestiques

## **Remerciements**

La mission remercie HELVETAS et MEDD-ECOFOR et BIOTA pour le financement de cette étude. Le program BIOTA a gentilleme nt contribué à faire les frais du déplacement. Merci beaucoup aussi aux collaborateurs de MOBIOM pour leur intérêt et leur entrée dans ce projet. En particulière, j'apprécie grandement les discussions essentielles avec et les suggestions importants de Philippe Birnbaum, Pierre-Michel Forget, Laurent Granjon et Jakob Fahr à propos du Kobi, la réalisation de l'étude et l'aide logistique. Je remercie Amadou Coulibaly de l'IPR (Institute Polytechnique Rural) pour son appui spontané aux interviews et son engagement motivé. Mille fois merci à mes accompagnateurs sur le terrain, l'équipe de l'IRD à Bamako, en particulière Doukary Abdoullaye pour son enthousiasme pour le sujet et son endurente assistance comme traducteur. C'était un grand plaisir de faire la connaissance de toutes les villageoises rencontrées au cours de ce projet, j'ai appris beaucoup de grande valeur.

**Appendice 1: Photos de *Carapa* et des activités lié à l'huile de *Carapa* aux sites d'étude, de gauche à droite, et de haut en bas :**

Feuilles de *Carapa* à Woroni.

Grande *Ceiba pentandra* coupé à côté de la rivière, avec un jeune *Carapa* devant

Fruit de *Carapa* à Kanoubougoula.

Achat d'huile de Kobi à Mamadouougou.

Extraction d'huile de Kobi à Kadjeradougou.

Site de *Carapa* autour de la Cascade de Woroni.

