



## Analyse spatiale de la biodiversité végétale dans les jardins agroforestiers de la région des Ghâts occidentaux de l'Etat du Karnataka en Inde.



James DESAEGHER

Maitres de Stage: Prasanna J. Kolte / Sunita Rao

Laboratoire / Organisation d'accueil : ATREE / Vanastree

Rapport présenté le 24 septembre 2013 en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome de l'ENSAIA, spécialisation « Protection des cultures ».

## Table des matières

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction.....                                                                                         | 1  |
| I. Les Ghâts occidentaux: un point chaud de biodiversité.....                                             | 2  |
| II. Les pratiques agroforestières dans la chaîne de montagnes des Ghâts .....                             | 3  |
| II.1. L'agrobiodiversité dans les Ghâts.....                                                              | 3  |
| II.2. Définition des jardins agroforestiers .....                                                         | 4  |
| II.3. Caractéristiques spatio-temporelles des jardins agroforestiers .....                                | 4  |
| III. Le rôle des jardins agroforestiers pour la sécurité alimentaire .....                                | 6  |
| III.1. Définition de la sécurité alimentaire .....                                                        | 6  |
| III.2. Les relations entre la sécurité alimentaire et les caractéristiques des jardins agroforestiers.... | 7  |
| III.2.1. La taille des jardins agroforestiers: un déterminant majeur.....                                 | 7  |
| III.2.2. Le rôle de la densité et de la richesse spécifique pour la fertilité des terres.....             | 9  |
| III.2.3. Les relations entre la richesse spécifique et la sécurité alimentaire .....                      | 10 |
| IV. Objectifs et hypothèses d'étude .....                                                                 | 11 |
| V. Matériels et méthodes.....                                                                             | 13 |
| V.1. La zone d'étude .....                                                                                | 13 |
| V.2. Echantillonnage des jardins agroforestiers.....                                                      | 14 |
| V.2.1. Adaptation du concept de jardins agroforestiers .....                                              | 14 |
| V.2.2. La sélection des exploitations .....                                                               | 15 |
| V.2.3. Les critères de sélection des exploitations présentant un jardin agroforestier .....               | 16 |
| V.3. Les indices écologiques .....                                                                        | 16 |
| V.4. Analyses statistiques .....                                                                          | 17 |
| VI. Résultats et discussion .....                                                                         | 18 |
| VI.1. Description des exploitations de la région.....                                                     | 18 |
| VI.1.1. Les personnes interrogées .....                                                                   | 18 |
| VI.1.2. La main-d'œuvre .....                                                                             | 19 |
| VI.1.3. La fonction des unités de production et les chiffres d'affaires des cultures .....                | 19 |
| VI.1.4. La fertilisation.....                                                                             | 20 |
| VI.1.5. La protection des cultures.....                                                                   | 21 |
| VI.1.6. L'irrigation .....                                                                                | 21 |
| VI.1.7. La gestion semencière.....                                                                        | 22 |
| VI.2. L'agrobiodiversité végétale dans les jardins agroforestiers.....                                    | 23 |
| VI.2.1. La richesse totale de la zone d'étude.....                                                        | 23 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VI.2.2. L'effort d'échantillonnage .....                                             | 23 |
| VI.2.3. La richesse spécifique.....                                                  | 24 |
| VI.2.4. La diversité spécifique.....                                                 | 26 |
| VI.2.5. L'indice de similarité de Sorenson .....                                     | 27 |
| VI.3. Les différents facteurs impliqués dans la variabilité de la biodiversité ..... | 28 |
| Conclusion et perspectives.....                                                      | 31 |
| Remerciements : .....                                                                | 32 |
| Bibliographie :.....                                                                 | 32 |
| Annexes : .....                                                                      | 36 |
| Cartes SIG de l'Uttara Kannada au 1/1000000.....                                     | 36 |
| Liste des Figures .....                                                              | 38 |
| Liste des Tableaux .....                                                             | 38 |

## Liste des abréviations:

JAF: Jardin agroforestier  
 JH : Jardin d'habitation  
 AR : Plantation d'aréquier  
 Brahmin : Caste des Havyaka Brahmins  
 GSB : Caste des Gaur Saraswat Brahmins  
 SC : Caste des Scheduled Caste  
 ST : Caste des Scheduled Tribe  
 SOC (Soil Organic Carbon): Carbone organique du sol  
 CA : Chiffre d'affaire  
 ACP : Analyse en composante principale  
 UK : District de l'Uttara Kannada

## Glossaire :

District : Division administrative des Etats en Inde  
 Taluk : Division administrative des Districts  
 Gram panchâyat : Division administrative des Taluks

## Introduction

Les Ghâts occidentaux représentent une chaîne de montagnes se situant sur la côte ouest de la péninsule Indienne à une distance de 30 à 80 km de la mer d'Arabie. Cette chaîne de montagnes, d'une altitude moyenne de 1500 m, s'étend du nord au sud sur près de 1600 km en traversant les Etats du Maharashtra, de Goa, du Karnataka, du Kerala, et du Tamil Nadu (Nayar, 2011).

Les Ghâts occidentaux constituent une barrière physique sur laquelle les vents du sud-ouest apportant la mousson viennent se heurter. Ainsi, sur les plaines côtières il est possible d'observer des précipitations annuelles de près de 5000mm. Ces dernières peuvent même être supérieures sur les contreforts montagneux. Par opposition les précipitations à l'est de la chaîne des Ghâts, sur le plateau du Deccan, sont moins importantes et ne dépassent pas 1000mm. Bien que le climat de la région soit principalement caractérisé par un gradient pluviométrique d'Ouest en Est, il est également possible d'observer que les dates d'arrivée et de retrait de la mousson sont fonction de la latitude. En effet au niveau du Cap Comorin (pointe sud de la péninsule) la mousson arrive fin mai et se retire début décembre alors qu'à la latitude de Bombay les pluies débutent mi-juin et s'arrêtent dès la fin septembre. Par ailleurs, il existe également dans la chaîne des Ghâts un gradient de précipitation lié à l'altitude (Pelissier, 1995).

Au sein de ce milieu physique extrêmement varié se sont développés des systèmes de production, que l'on nommera jardins agroforestiers (JAF). Ces derniers sont caractérisés par leurs petites tailles, leur proximité aux habitations ainsi qu'une forte diversité de cultures générant des productions très variées à destination de l'autoconsommation. L'agencement des jardins agroforestiers est complexe et fait généralement intervenir différentes unités de production ainsi que plusieurs étages de végétation. Actuellement, dans un contexte de prise de conscience de plus en plus accrus des impacts des activités humaines sur l'environnement, notamment par une érosion de la biodiversité, ces systèmes de culture traditionnels semblent aptes à fournir des solutions de durabilité.

L'étude qui suit a pour but de brosser le portrait des jardins agroforestiers au travers d'un gradient agroclimatique dans la chaîne de montagne des Ghâts. Une attention particulière sera donnée à la caractérisation de l'agrobiodiversité végétale au sein de ces systèmes de production ainsi que la relation de cette dernière avec la sécurité alimentaire des exploitants. Dans un premier temps nous reviendrons sur la particularité biologique de la région des Ghâts occidentaux ainsi que sur les caractéristiques des jardins agroforestiers. Par la suite, il sera présenté les objectifs et hypothèses de l'investigation menée dans le district de l'Uttara Kannada dans l'Etat du Karnataka. Cette partie sera suivie d'une description du matériel et des méthodes utilisées ainsi que des résultats de l'enquête. Nous finirons par une conclusion ainsi qu'une mise en perspective des résultats obtenus.

## I. Les Ghâts occidentaux: un point chaud de biodiversité

Développé pour la première fois en 1988 par l'écologiste britannique Norman Myers, le concept de points chauds de la biodiversité a pour objectif de protéger les zones du globe présentant à la fois une exceptionnelle concentration en espèces endémiques mais également d'importantes pertes d'habitats (Myers et al., 2000). Plus précisément, pour être qualifié de « point chaud » la zone doit comporter au moins 1500 espèces de plantes vasculaires endémiques, c'est-à-dire 0,5% du nombre total d'espèces au monde, et doit avoir perdu plus de 70% de son habitat initial. En 2004, 34 points chauds de la biodiversité ont été définis sur la planète. Ainsi, les Ghâts occidentaux, regroupé avec le Sri Lanka, fait partie de l'un d'entre eux (**Figure 1**). Initialement cette zone couvrait près de 189611 km<sup>2</sup> et ne présente actuellement plus que 43611 km<sup>2</sup> de végétation. Elle abrite 5916 espèces de plantes dont 51% sont endémiques à la région. Parmi les 650 espèces d'arbres que l'on peut retrouver dans la chaîne des Ghâts, 352 espèces (54%) sont endémiques (Bawa et al., 2007; Nayar, 2011).



Figure 1 : Carte de la zone classée en tant que point chaud de biodiversité (www.conservation.org)

Par ailleurs la biodiversité végétale de cette zone s'accompagne également d'une incroyable diversité animale. En effet, il a été recensé plus de 140 espèces de mammifères (12,9% d'endémisme), 458 espèces d'oiseaux (7,6% d'endémisme). Le taux maximum de 73% d'endémisme est atteint pour les 178 espèces d'amphibiens. C'est ainsi que tout récemment une nouvelle famille de grenouilles a été identifiée dans cette région unique (Conservation International, 2013). Divers éléments viendraient expliquer la particularité biologique et écologique des Ghâts occidentaux. Etant donné que cette région présente une forte hétérogénéité topographique, climatique et édaphique, ceci aurait permis le développement d'espèces ayant des besoins différents. De plus, cette zone aurait connu un relatif isolement géographique par rapport à l'arrivée de nouvelles espèces en provenance de la région himalayenne (Gadgil et al., 2011; Nayar, 2011).

Nous verrons par la suite que cette région exceptionnelle abrite également une remarquable diversité de plantes cultivées, économiquement incontournable pour les populations locales. Cette diversité biologique semble concomitante avec une richesse des cultures et des traditions humaines.

## II. Les pratiques agroforestières dans la chaîne de montagnes des Ghâts

### II.1. L'agrobiodiversité dans les Ghâts

Au sein de l'exceptionnelle biodiversité présente dans les Ghâts, il est possible de définir un sous-ensemble d'espèces constituant l'agrobiodiversité. Une des définitions serait d'inclure dans l'agrobiodiversité l'ensemble des composantes de la biodiversité (animaux, végétaux et microorganismes) qui contribue à promouvoir la production agricole et alimentaire. Ce terme recouvre la diversité des écosystèmes, ainsi que la diversité intra et inter spécifiques (FAO, 2004; Thrupp, 2000).

Etant donné l'étendue de cette définition nous nous intéresserons dans la suite plus particulièrement à la fraction de l'agrobiodiversité végétale utilisée directement par les agriculteurs afin de subvenir à leurs besoins. Cependant il est important de souligner que dans un grand nombre de cas, les exploitations agricoles des Ghâts, présentent un atelier de production animale (Bovin lait, volaille, etc.) essentiel pour répondre aux besoins alimentaires de la famille.

Afin d'illustrer l'importance de l'agrobiodiversité dans les Ghâts, on s'intéressera à des exemples pris dans l'Etat du Kerala. Au sein des Ghâts, le Kerala contribue en grande partie à la biodiversité totale, notamment par l'agrobiodiversité. La place de l'agriculture dans l'Etat du Kerala est prédominante ; près de 2,13 millions d'ha sont dédiés à cette activité, soit 54,8% de la superficie totale de l'Etat. Sur les terres agricoles 142 espèces, appartenant à 104 genres et 43 familles différentes ont été recensées (Nayar, 2011). Une grande partie des systèmes de production agricole sont basés sur l'exploitation d'une association d'espèces végétales variées, leur conférant ainsi une forte agrobiodiversité. Une étude, menée au centre de l'Etat, a révélé qu'au total 127 espèces différentes étaient cultivées. Ces espèces ont été classées dans les 10 grandes catégories d'usages suivants: nourriture de base, fruits et noix, breuvages et stimulants, épices, bois de construction, bois de chauffage, plantes ornementales, plantes médicinales, latex, et les usages liés aux cocotiers. Le nombre moyen d'espèces par exploitation varie de 34 à 38 avec des densités spécifiques comprises entre 4,9 et 5,5 espèces/100m<sup>2</sup>. Cependant il est important de souligner l'hétérogénéité des fréquences de présence des espèces. Il semblerait que les cocotiers (*Cocos nucifera* L.) et les bananiers (*Musa spp.*) aient été retrouvés dans l'ensemble des exploitations. Par ailleurs, les papayers (*Carica papaya* L.) ont été retrouvés à hauteur de 88%, les aréquiers (*Areca catechu* L.) à 81%, les manguiers (*Mangifera indica* L.) à 78%, les jacquiers (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) et maniocs (*Manihot esculenta* Crantz.) à 56%, et les cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) à 13% (Mohan, 2004). Le bureau d'information du Kerala a mis en évidence les 25 classes de systèmes de cultures les plus communs. Ces classes comprennent des systèmes en monoculture telle que celle du riz, du cocotier, de l'hévéa, ou du café mais peuvent également être plus complexes et diversifiées comme l'association Cocotiers-

Aréquiers-Anacardiens (*Anacardium occidentale* L.)-arbres fruitiers-poivre noir (*Piper nigrum* L.). Cependant sur ces 25 systèmes de culture 17 intègrent la culture des Cocotiers (Nayar, 2011).

Malgré une grande diversité de cultures et de plantes utilisées à l'heure actuelle il a néanmoins été possible d'observer une simplification des systèmes de culture ces dernières années. On assiste notamment à une diminution du nombre d'espèces ainsi qu'une augmentation des cultures de rente. Les exploitations ont également tendance à s'agrandir et présentent des plantations qui sont de plus en plus disposées en rangs (Nair and Sreedharan, 1986; Peyre et al., 2006).

## II.2. Définition des jardins agroforestiers

Dans les Ghâts, ainsi que dans d'autres régions tropicales dans le monde, il est souvent rapporté l'existence de systèmes de production ayant des caractéristiques particulières. Ces exploitations sont nommées « Homegarden » en anglais. Etant donné que ces systèmes d'exploitation présentent une forte variabilité entre différentes régions ainsi que dans le temps, il est relativement difficile d'en trouver une définition très précise dans la littérature. Cependant la définition suivante nous permet de mieux appréhender les caractéristiques de ces « jardins ». Il s'agit de systèmes agroforestiers gérés de façon intensive et se situant près d'une habitation. Ces systèmes résultent d'une association délibérée d'arbres et arbustes à usages multiples, de plantes herbacées (annuelle et/ou pérennes) et dans certains cas d'animaux d'élevage (Mohan, 2004). Généralement ces systèmes de production sont de petite taille et présentent une forte part de production dédiée à l'autosuffisance (Mohan et al., 2007). Dans sa classification des systèmes agroforestiers Torquebiau (2000) préfère utiliser le terme « jardin-forêt » ou « Jardin Agroforestier » afin d'éviter toute confusion, notamment avec les jardins potagers. Ainsi par la suite nous utiliserons le terme Jardin agroforestier ou l'abréviation JAF pour faire référence à ces systèmes de culture.

## II.3. Caractéristiques spatio-temporelles des jardins agroforestiers

Comme précédemment, par manque de littérature dans les autres Etats, l'exemple des JAF du Kerala sera utilisé dans la suite pour décrire la logique de structuration de ces systèmes de culture traditionnels. Bien qu'à première vue certains JAF ne semblent présenter aucune structure, un examen plus précis met en évidence que les espèces cultivées ne sont pas plantées aléatoirement. Ainsi il a pu être constaté que chaque espèce avait une place bien déterminée dans le but d'optimiser l'utilisation de l'espace. Tout d'abord, il est possible de distinguer une configuration multi-stratifiée de la canopée. Dans l'étude de Jose et Shanmugaratnam (1993) la quasi-totalité des JAF présentait 3 à 4 strates de végétation. En effet, jusqu'à 2 m de hauteur on retrouve les plantes à légumes, à tubercules et autres herbacées. La seconde couche, de 2 à 10 m, se caractérise par le feuillage des bananiers, papayers, cacaoyers, jambosiers (*Syzygium jambos* L.) ou encore des manguiers. Le dernier étage de végétation, entre 10 et 25 m, est constitué de cocotiers, d'aréquiers ou encore de jacquiers. Cependant il est intéressant de souligner que dans les étages de végétation inférieurs il est possible de rencontrer de jeunes arbres qui occuperont à

maturité des étages supérieurs. Ainsi l'ensemble de ces résultats rend bien compte d'une structuration verticale de la production.

En outre, les JAF présentent également une structuration horizontale. La plupart du temps les cocotiers, généralement espacé de 7,5m, déterminent la structure quadratique de base de ces jardins (**Figure 2**). Les autres espèces seront ensuite disposées par rapport aux cocotiers. Ainsi, les cacaoyers sont généralement plantés au centre de 4 cocotiers. Les plantes grimpantes telles que le poivre noir, les ignames, ou les haricots, sont plantées au pied des cocotiers, leurs troncs constituant un support de développement. Des dispositions similaires sont également observables dans les plantations d'aréquieres. Les plus petits arbres et plantes ornementales seront généralement plantés près de l'habitation alors que les arbres à larges canopées seront placés en bordure d'exploitation. La plupart du temps certaines parties du jardin sont aménagées pour présenter une plus forte luminosité et seront utilisées pour cultiver des plantes annuelles (*Amorphophallus sp.*, *Colocasia sp.*, manioc, légumes) ayant des besoins plus importants en lumière. Les bananiers, plus tolérant à l'ombrage, seront eux plantés partout où il reste de la place (Jose and Shanmugaratnam, 1993).

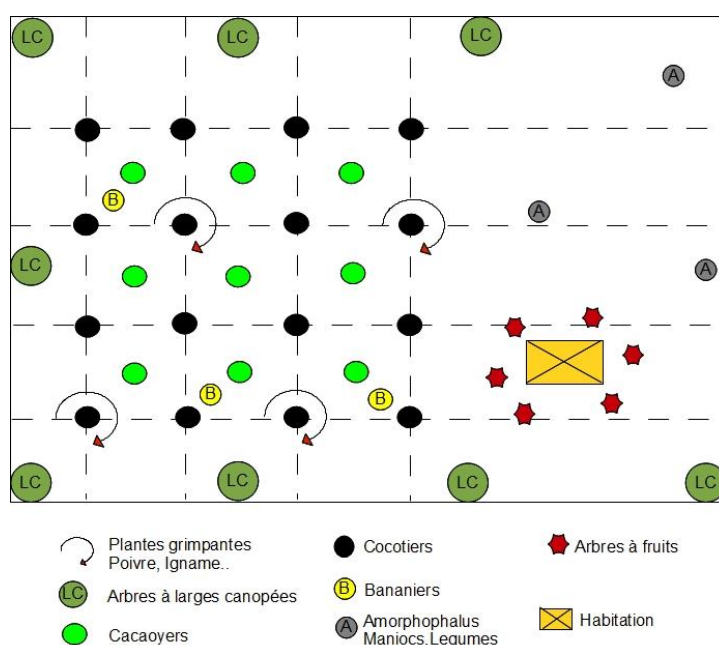


Figure 2 : Schématisation d'un jardin agroforestier d'après Jose and Shanmugaratnam, 1993

Cette différenciation horizontale mène dans certaines régions à distinguer différentes unités de production au sein des exploitations agroforestières. Si on prend l'exemple des exploitations dans l'Etat du Karnataka, il arrive que les plantations d'aréquieres soient séparées des zones de production environnant l'habitation. Etant donné que l'aréquier a d'importants besoins en eau, il est fréquent de voir ces plantations dans le contre-bas des terres, près des champs de riz (Ranganathan et al., 2008). Par ailleurs, il existe une unité de production nommée « Soppina betta » ou « Betta », signifiant les forêts à feuillages. Ces « Bettas » sont des parcelles de forêt qui ont été attribuée, par l'Etat du Karnataka, aux agriculteurs ayant des plantations d'aréquieres afin de faciliter la production. Ces terres sont notamment une source de feuilles et de terre essentielle pour améliorer la fertilité des plantations. Les agriculteurs vont également avoir le droit de cultiver un certain nombre d'espèces (poivre noir, aréquieres, anacardiers,...) et

pouvoir bénéficier, pour leur autoconsommation, des productions issues d'essences forestières bien définies (Government of Karnataka, 1976; Nayak et al., 2000).

Etant donné la place centrale qu'occupent les arbres dans ces systèmes de production, la gestion de l'installation et de l'évolution dans le temps des communautés végétales joue un rôle fondamental. Les JAF s'initient à partir d'un certain stade du processus de succession naturel et seront au cours du temps, orientés par les agriculteurs, afin de satisfaire leurs besoins d'une saison à l'autre et ceci au fil des années. L'intervention humaine consiste donc à favoriser l'installation d'une association végétale par sélection des espèces naturellement présentes sur l'exploitation ou par implantation d'espèces adaptées aux conditions du milieu. A terme, cette gestion conduira à l'établissement d'un stade de développement dynamique présentant une communauté végétale dite « climacique » (**Figure 3**). Pendant les premières années, dans l'attente du développement des arbres tels que les cocotiers, il sera cultivé des plantes ayant de plus grands besoins en lumière. Par la suite, lorsque l'ombre ne sera plus présente par le développement des arbres, les exploitants vont cultiver dans les strates inférieures des plantes ayant des besoins moins importants en lumière. Dans l'idéal, l'équilibre dynamique sera atteint par une gestion des arbres « du futur » du « présent » et du « passé » (Jose and Shanmugaratnam, 1993; Mohan et al., 2007).



Figure 3 : Schématisation de la mise en place d'un jardin agroforestier au Kerala à partir de l'éclaircissement d'une forêt (Moench, 1991)

Néanmoins, il est important de rappeler que ce modèle de JAF n'est pas statique et évolue dans le temps. En effet, on a assisté dernièrement à une simplification et une homogénéisation des systèmes de culture, en passant d'une agriculture de subsistance à une agriculture de marché. Cependant il n'existe pas qu'une seule solution pour réaliser cette transition et certaines d'entre elles semblent être plus durables que d'autres (Peyre et al., 2006).

### III. Le rôle des jardins agroforestiers pour la sécurité alimentaire

#### III.1. Définition de la sécurité alimentaire

Selon le « World food summit plan » de la FAO (1996) la sécurité alimentaire est atteinte lorsque les gens, à toute période, ont un accès physique et économique en quantité suffisante à une alimentation saine et nutritive pour répondre à leurs besoins et préférences

alimentaires, et ceci pour une vie active. Quatre piliers fondamentaux déterminent le cadre de travail de la sécurité alimentaire: la disponibilité en nourriture, la stabilité de l'approvisionnement alimentaire, l'accès à la nourriture et l'utilisation de la nourriture pour une personne donnée (In Magcale-Macandog et al., 2010). Dans le cadre de ce travail nous tenterons d'amener des éléments de réflexion concernant le lien existant entre la sécurité alimentaire et l'agrobiodiversité à l'échelle des exploitations.

## III.2. Les relations entre la sécurité alimentaire et les caractéristiques des jardins agroforestiers

### III.2.1. La taille des jardins agroforestiers: un déterminant majeur

Comme expliqué précédemment l'un des critères utilisés pour définir la notion de « homegarden » est la petite taille de ces systèmes de production. Ceci est particulièrement vrai dans la région de la chaîne de montagnes des Ghâts. En effet, dans l'Etat du Kerala, la taille moyenne des exploitations est de 0,27 ha. Il a également été rapporté que près de 53% des 5,9 millions d'exploitations de cet Etat présentait une surface de moins de 1 ha (Nayar 2011). Cette proportion est d'autant plus forte dans le district de l'Uttara Kannada de l'Etat du Karnataka, où plus de 70% des exploitations font moins d'1 ha. (Government of Karnataka, 2013).

Etant donnée la contrainte que peut représenter, pour les exploitants, l'accès limité à des surfaces de production, de nombreuses investigations ont été menées afin de caractériser quel était l'effet de la taille des exploitations sur la gestion du système de culture en vue de mieux répondre à des problématiques de durabilité et de sécurité alimentaire. Au vu de la taille moyenne des JAF dans la plupart de ces études, il est considéré qu'une exploitation de plus de 1 ha est déjà «grande» ou encore appelée «commerciale». L'appellation de petit JAF est généralement réservée aux exploitations de moins de 0,40 ha, bien que cette définition soit fonction des auteurs (Kumar, 2011; Mohan et al., 2006, 2007; Saha et al., 2009; Vlkova et al., 2011).

Dans l'Etat du Kerala, il a pu être mis en évidence que les densités de plantes (herbacées + arbustes + arbres) et d'arbres, étaient plus importantes dans les petits JAF que dans les grands. Cette décroissance en fonction de la taille de l'exploitation peut être interprétée comme étant la conséquence de la gestion des systèmes de culture par les exploitants. En effet, pour générer un revenu suffisant pour subvenir à leurs besoins les agriculteurs, n'ayant que peu de surface de culture, seront poussés à adopter un mode de gestion plus intensif et vont notamment augmenter la densité de plantations c'est-à-dire le nombre d'individus par unité de surface.

Dans cette même étude il a également été mis en évidence qu'il existait une densité d'espèce différente plus importante dans les petits JAF. Cette décroissance des densités de richesses spécifiques (Nombre d'espèces.ha<sup>-1</sup>) en fonction de la taille des JAF a été déterminée comme suivant une fonction exponentielle négative (**Figure 4**). Cependant il est important de remarquer que la richesse spécifique totale a plutôt tendance à légèrement augmenter avec la surface des exploitations. La diversité spécifique est, quant à elle, plus importante dans les petits JAF. Il semblerait que la taille des JAF affecte d'autant plus l'abondance spécifique plutôt que la richesse spécifique. Ces derniers résultats pourraient s'expliquer par une volonté des

agriculteurs, ayant moins de terres, d'assurer la disponibilité d'un maximum de productions végétales différentes (richesse) et le plus équilibré possible en termes de quantité (diversité) pour leurs autoconsommations (Kumar, 2011; Vlkova et al., 2011).

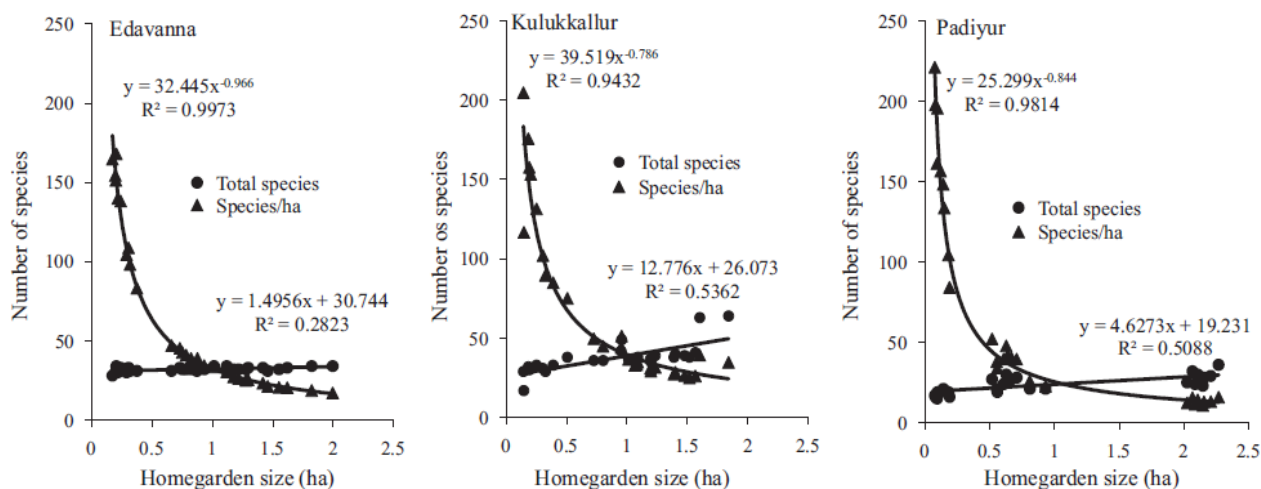


Figure 4 : Richesse spécifique (herbacées + arbustes + arbres) en fonction de la taille des JAF dans trois différents Taluks de l'Etat du Kerala (Kumar 2011).

En s'intéressant plus finement à la composition spécifique présente sur les exploitations, beaucoup d'auteurs s'accordent pour dire qu'il existe de fortes similarités entre les différentes exploitations et ceci peu importe leurs tailles. En effet, cette similarité de composition, estimée par l'indice de Sorenson, peut dans certains cas atteindre 90% d'espèces communes entre les différents JAF (Mohan et al., 2007; Saha et al., 2009; Vlkova et al., 2011). Néanmoins, par l'intermédiaire de l'indice de valeur d'importance (IVI) agrégeant à la fois la fréquence relative, la densité relative et la dominance relative des espèces, il a été mis en évidence que la catégorie de plantes « légumières-médicinales-ornementales » avait plus d'importance « agroécologique » dans les petits JAF. L'une des raisons qui pourrait être avancée serait que ces plantes soient principalement cultivées pour l'autoconsommation et soient ainsi d'autant plus indispensables pour les petites unités de production. Par opposition, les arbres à épices semblaient être plus importants dans les grands JAF (Mohan et al., 2007). Des analyses de profits et d'importances économiques des plantes cultivées ont montrées que les plantes économiquement importantes étaient également agro-écologiquement prédominantes.

Une comparaison des marges brutes (chiffre d'affaires - charges d'opération), par classe de taille de JAF, a montré que les petites exploitations génèrent des marges plus importantes par unité de surface (80,28 Roupies/m<sup>2</sup> contre 40,6 Roupies/m<sup>2</sup> pour les grandes). Cependant le profit total des grandes exploitations reste plus important que celui des petites. Il faut souligner que dans les grands JAF, l'abondance en plantes ornementales et plantes sauvages était plus forte et qu'il demeure plus difficile d'en évaluer les bénéfices bien que ces plantes soient importantes pour les agriculteurs. Dans cette même étude il a été déterminé que les espèces contribuant le plus au profit des exploitations sont les cocotiers, les aréquiers et les bananiers. Contrairement aux exploitations de petite taille ayant près de 50% de la production à destination de l'autoconsommation, les plus grands JAF sembleraient plus investir sur ces trois espèces. Il a été mis en évidence par une analyse de sensibilité, simulant une chute des prix de ces trois espèces ou une hausse des charges de main-d'œuvre, que l'économie des grands JAF était bien

plus touchée que celle des petits JAF. Ce résultat souligne le fait que la résilience des exploitations agricoles à des perturbations du marché est dépendante de la richesse et diversité spécifique et que cette résilience décroît avec la taille des exploitations (Mohan et al., 2006).

### III.2.2. Le rôle de la densité et de la richesse spécifique pour la fertilité des terres

Nous avons vu précédemment que les cultivateurs des petits JAF vont avoir une gestion plus intensive du système de production. Ces derniers se caractérisent notamment par la présence de densités de plantes (herbacée + arbuste + arbre) et arbres (exprimée en nombre individu.ha<sup>-1</sup>) mais également de densités spécifiques (nombre d'individu.espèces<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>) plus importantes. Des études, visant à mettre en lumière les relations entre la diversité des plantes et la quantité de carbone organique dans les sols, ont montrées que cette séquestration est fonction de la densité de plantes et de la densité spécifique présentes sur ces exploitations. Ainsi le carbone organique présent dans le premier mètre de sol serait d'autant plus important que la densité spécifique est grande. En parallèle aucune différence statistique n'a pu être mise en évidence sur l'effet de la densité de plantes (herbacé + arbuste + arbre). La densité d'arbres présente quant à elle un effet positif sur l'accumulation de carbone organique dans le sol alors que la densité spécifique d'arbre ne semble présenter aucun effet. Si on considère la richesse spécifique totale, mesuré par l'indice de Margalef, il a pu être constaté que les JAF ayant les plus fortes richesses spécifiques présentent les plus grandes quantités de carbone organique dans les 50 premiers centimètres de sol (**Figure 5**)(Saha et al., 2009).

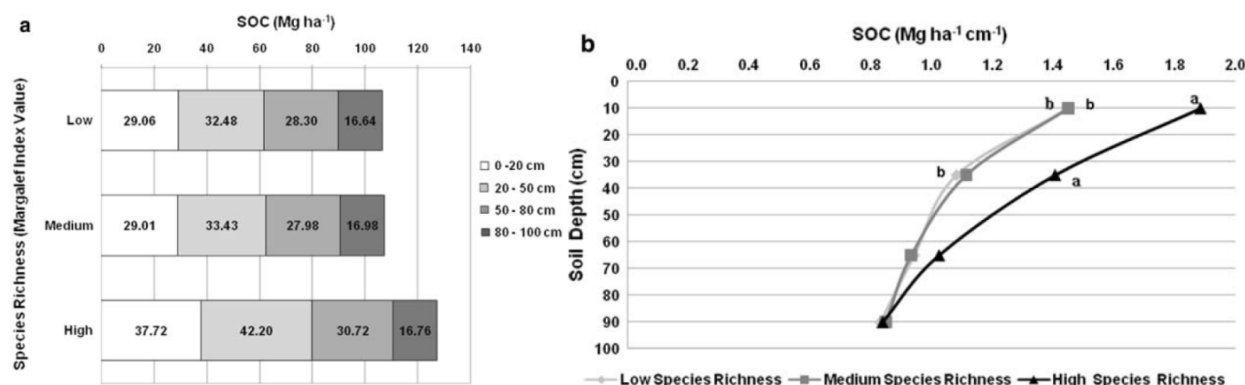


Figure 5 : Carbone organique du sol(SOC) des JAF selon la profondeur de sol et la richesse spécifique dans le district de Thrissur au Kerala. a) Carbone organique du sol en mg.ha-1, b) Carbone organique du sol en mg.ha-1.cm-1 pour une classe de profondeur donné. La profondeur indiquée représente la valeur moyenne des classes de profondeur. La richesse spécifique selon les valeurs de l'indice de Margalef(MI) : low (<5,2) ; medium (5,2-6) ; High(>6). Les lettres a et b mettent en évidence les différences statistiquement significatives (P>0,05) entre les valeurs de carbone organique du sol des différentes classes de richesse spécifique pour chaque profondeur (Saha et al., 2009).

L'une des interprétations pouvant être énoncée pour expliquer ces résultats est que l'utilisation des ressources (lumière, nutriments) serait d'autant plus complète que le nombre d'espèces incluses dans le système serait important. Par conséquent ceci entrainerait de meilleures productions primaires et ainsi une plus grande séquestration de carbone dans le sol. La matière organique augmente particulièrement dans les horizons superficiels des sols d'une

part par les accumulations de litière en surface et d'autre part par la présence de plus forte densité racinaire dans ces horizons.

L'ensemble de ces résultats aura de fortes conséquences sur la gestion de la fertilisation et de l'irrigation. En effet, il est reconnu que la matière organique contenue dans les sols est l'un des éléments principaux entrants en ligne de compte dans la fertilité. Cette matière organique aura pour effet d'induire l'activité biologique dans le sol. La diversité d'activités de la faune et des micro-organismes va affecter la dynamique et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs pour les plantes cultivées. Par ailleurs la matière organique va également présenter la particularité d'améliorer la structuration des agrégats de sol, modifiant ainsi les propriétés physiques de ce dernier. La stabilisation de la structure du sol va conférer une plus grande résistance au phénomène d'érosion par l'eau et le vent (Robert, 2002). En outre le taux de carbone organique des sols est connu pour jouer un rôle fondamental dans la capacité de rétention en eau des sols (Hassan, 2008).

Cependant il est important de rappeler la fertilité organique des sols dépend non seulement de la quantité de matière organique mais également de la qualité de cette dernière. Les espèces végétales à l'origine des litières vont conférer à la matière organique des caractéristiques physico-chimiques conditionnant leur décomposition dans le sol. Il a notamment été montré que le taux de lignine et de polyphénols des litières, qui est fonction de la composition biochimique des espèces végétales, va avoir pour effet de ralentir et de stabiliser leur décomposition. Cette conséquence provient de la résistance de la lignine aux attaques enzymatiques. Elle peut également créer une interférence physique pour la dégradation de toute la litière, stabilisant ainsi mieux le carbone. A titre d'exemple les litières issues des espèces d'arbres telles que *Mangifera indica* L. (Manguier) du *Arthocarpus hétérophylus* (jacquier), *Anacardium occidentale* L. (anacardier) présentent une décomposition relativement rapide, favorisant ainsi un meilleur recyclage des éléments minéraux. Au contraire *Ailanthus Triphysa* Dennst., *Artocarpus hirsutus* et *Swietenia macrophylla* L. (acajou) seront des espèces à l'origine de litières plus lignifiées et donc moins labiles, s'accumulant ainsi dans le sol. Ces dernières, plus persistantes, pourront être utilisées pour faire du mulch (Isaac and Nair, 2006).

### III.2.3. Les relations entre la richesse spécifique et la sécurité alimentaire

Comme nous avons pu le remarquer précédemment, les JAF présentent de fortes similarités de composition spécifique de par une volonté des cultivateurs à disposer d'un maximum d'espèces et donc de production pour leur maisonnée. Dans une étude menée sur les systèmes agroforestiers des Philippines, il a été rapporté que les fruits provenant des cultures et des arbres fruitiers constituaient une source secondaire de nourriture essentielle pendant la période de soudure. On peut notamment donner l'exemple des arbres fruitiers, cultivés en bordure des exploitations, tels que les jacquiers, les cocotiers, les manguiers, les avocatiers dont les fruits constituent une source de nutriment supplémentaire pendant la période d'avril à mai ou décembre-janvier. Ainsi dans l'attente des récoltes des cultures principales (riz, maïs) ces productions sont fondamentales pendant la période estivale, pendant laquelle la nourriture se fait plus rare (Magcale-Macandog et al., 2010). Il semble également que le manioc soit, dans ces périodes plus difficiles, un bon substitut au riz ou au maïs. Des constats similaires ont pu être faits dans des études réalisées sur les JAF au Kerala (Mohan et al., 2006). Ainsi la diversité des

plantes et arbres cultivés sur l'exploitation permettent également aux exploitants d'avoir une production nourricière et génératrice de revenus plus échelonnée dans le temps. Dans le cas des productions arboricoles (fruits, bois d'œuvre, bois d'industrie, ou bois de feu), il arrive que les productions soient vendues sur les marchés locaux et représentent alors une source de revenu supplémentaire et mieux réparti dans l'année (Magcale-Macandog et al., 2010).

En comparaison à des systèmes en monoculture de Maïs, il a été déterminé que les systèmes agroforestiers augmentent les bénéfices des exploitations de 43 à 137%. Ce résultat s'expliquerait par une amélioration des cycles des nutriments et de l'eau ainsi qu'une meilleure capture de la lumière. En outre, les rendements des cultures seraient également plus stables d'une année sur l'autre. Les systèmes agroforestiers semblent ainsi être le lieu d'interactions positives entre les différentes plantes cultivées, assurant ainsi une plus forte productivité. Par ailleurs la diversité de productions confère une plus grande résilience de ces systèmes aux fluctuations de marché ainsi qu'aux aléas climatiques (Magcale-Macandog et al., 2010; Mohan et al., 2006; Thrupp, 2000).

Soulignons que le fort niveau de diversité végétale trouvé dans ces exploitations agricoles joue un rôle fondamental dans la conservation d'espèces sauvages. Pour illustrer ceci on peut prendre l'exemple des plantations d'aréquier de la région des Ghâts. En effet ces plantations, connues pour présenter une importante richesse en plantes cultivées, abritent par ailleurs une remarquable diversité d'oiseaux sauvages. Il est possible d'observer dans ces plantations près de 90% des espèces d'oiseaux retrouvées dans les forêts natives avoisinantes. Cette richesse spécifique des oiseaux serait à mettre en relation avec la complexité de structuration verticale de ces plantations (Ranganathan et al., 2008).

En retour, la conservation de la biodiversité des espèces natives est également à l'origine de services et bénéfices écosystémiques permettant d'accroître la production agricole. De par son activité, la biodiversité sera responsable de l'accomplissement de processus et fonctions écosystémiques comme par exemple le processus de production primaire ou la fonction de recyclage des nutriments dans le sol (Cardinale et al., 2012). Ces fonctions écosystémiques vont générer des services et bénéfices pour l'agriculteur. Parmi ces services écosystémiques on peut notamment citer la séquestration du carbone, les services de pollinisation ou encore le contrôle biologique des ravageurs par leurs ennemis naturels. Dans l'exemple précédant la conservation d'une forte diversité en oiseaux permettra à l'agriculteur de mieux lutter contre certains insectes ravageurs mais également pourra favoriser la dispersion des graines.

Ainsi le fort potentiel de conservation de l'agrobiodiversité dans les JAF, et particulièrement ceux de petite taille, peut en ce sens être un moyen de maintenir une productivité et une sécurité alimentaire durable (Jose and Shanmugaratnam, 1993; Thrupp, 2000).

## **IV. Objectifs et hypothèses d'étude**

La définition du projet, développé dans la suite, provient d'un partenariat entre deux organismes nommés Vanastree et ATREE (Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment).

Vanastree est une Organisation non gouvernementale autofinancée dont le bureau est situé à Sirsi, dans le district de l'Uttara Kannada, en plein cœur de la forêt des Ghâts occidentaux. L'objectif principal de cette organisation est de promouvoir la sécurité alimentaire et la conservation de la biodiversité dans les exploitations agricoles. Littéralement « Vanastree » veut dire dans la langue locale (Kannada) « les femmes vivant dans les forêts ». En effet la philosophie de cette organisation est d'améliorer les liens sociaux entre les exploitants de la région mais également de permettre une prise de conscience de l'importance de la place des femmes dans les exploitations. Afin d'atteindre ces objectifs, les membres de Vanastree organisent des festivals locaux et ont mis en place une banque de graines, permettant d'une part la conservation du patrimoine génétique des plantes cultivées tout en favorisant d'autre part le contact entre les adhérents de l'organisation. Ces rencontres sont également un excellent moyen pour les membres d'échanger et de vendre leurs graines mais aussi de partager leurs connaissances traditionnelles en matière de pratiques culturelles. Outre la banque de graines, Vanastree favorise, par ces échanges de semences, la conservation des graines *in situ*. L'organisation est à ce jour composée de 150 femmes organisées en près de 20 groupes semenciers, répartis dans les petits villages aux alentours de Sirsi. C'est ainsi, que dans l'objectif de documenter plus précisément l'agrobiodiversité et les pratiques culturelles dans les exploitations agricoles, ce projet a été défini. Vanastree cherche également à mieux comprendre le lien entre l'agrobiodiversité et la sécurité alimentaire des exploitants afin d'avoir une meilleure efficacité dans leurs actions collectives. A partir des observations faites au préalable par les membres de Vanastree il semblerait que les exploitations dans l'Uttara Kannada aient des caractéristiques très distinctes en fonction de leur localisation géographique, certainement à mettre en lien avec la forte hétérogénéité pédoclimatique mais également sociale que l'on peut trouver dans la région. Pour l'instant très peu d'études sur ce sujet ont été menées dans l'Uttara Kannada. Ainsi ce travail constitue un prétexte à des investigations plus poussées sur certains éléments, en particulier des systèmes de production de la région. Pour atteindre ces objectifs un partenariat a été mis en place avec le département d'Eco-informatique du laboratoire d'ATREE.

ATREE est un institut de recherche dans les domaines de la conservation de la biodiversité et du développement durable, dont les bureaux de direction se trouvent à Bangalore. Cet institut a été créé pour promouvoir des approches interdisciplinaires et intégratives, impliquant la recherche, l'éducation, et la politique de gestion de la préservation de l'environnement. La visée de cette structure de recherche est de donner des réponses concernant la conservation de la biodiversité en lien avec les changements climatiques et la volonté de développement durable. Ainsi c'est dans le cadre de la création d'un Atlas de la biodiversité dans l'Etat du Karnataka que les données de répartition des espèces présentes sur les exploitations de l'Uttara Kannada pourront être utilisées par ATREE.

Cette étude a ainsi pour but de documenter la variabilité spatiale de la composition spécifique et des caractéristiques des JAF au travers de différentes zones géographiques du district de l'Uttara Kannada. En complément nous tenterons de déterminer des facteurs bioclimatiques et sociaux pouvant être à l'origine de ces éventuelles différences.

## V. Matériels et méthodes

### V.1. La zone d'étude

Afin d'étudier la variabilité spatiale de la biodiversité présente dans les JAF de l'Uttara Kannada nous nous sommes intéressés à une zone orientée d'ouest en est. Cette zone a été définie car elle s'étale transversalement à la chaîne de montagnes des Ghâts Occidentaux et implique donc diverses conditions environnementales susceptibles d'avoir une influence sur la présence ou l'absence des espèces cultivées. La définition exacte de cette zone a été réalisée en s'appuyant sur les données géo-localisées (précipitations annuelles, altitudes, type de sol) à l'aide du logiciel QuantumGIS 1.8.0 (India Biodiversity Portal, 2008; QGIS Development Team, 2013). Ainsi quatre points GPS ont été choisis (P1:(74,239088 ; 14,655675), P2:(75,089088 ; 14,805675), P3:(75,189088 ; 14,505675), P4:(74,389088 ; 14,355675)) définissant une zone d'étude en bande, transversale à la ligne de crête des Ghâts ainsi qu'aux lignes d'isohyètes annuelles. Ceci nous a permis de définir les limites nord et sud. Les limites ouest et est étant la ligne côtière d'une part et la limite administrative de l'Uttara Kannada d'autre part. Par la suite cette zone d'étude a été subdivisée en trois sous-unités. Etant donné que le facteur hydrique est l'un des éléments majeurs pour la productivité des cultures, nous avons pris la décision de nous baser sur les cartes de précipitations annuelles afin de les définir. Pour différencier la zone côtière des deux autres zones nous avons également pris en compte l'altitude. Les trois sous-unités ainsi définies sont la zone côtière, la zone centrale de la chaîne de montagnes des Ghâts et une sous-unité sur la bordure est des Ghâts (**Figure 6**).

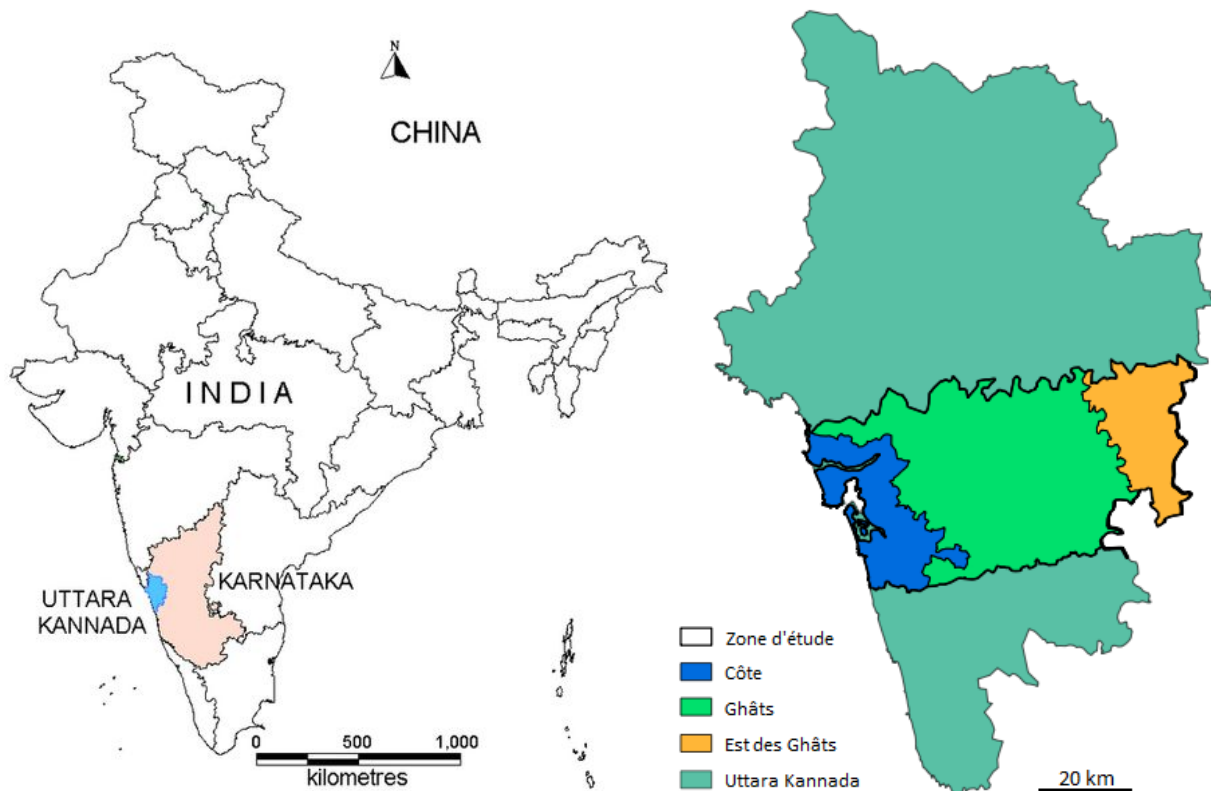


Figure 6 : Carte de L'inde à gauche et zone d'étude selon le découpage administratif des Gram Panchayat au sein du district l'Uttara Kannada à droite (Ramachandra et al., 2013).

Les précipitations annuelles sur la zone côtière varient de 4000 à 3200 mm, dans la zone des Ghâts de 3200 à 2400mm et sur la zone est de 2400 à 1200mm. Cependant il est important de souligner que le gradient de précipitation n'est pas isolé de la topographie du milieu ou encore d'autres facteurs pédoclimatiques tel que le type de sol ou la température, pouvant également former des gradients susceptibles d'avoir des conséquences sur la présence et l'abondance de certaines espèces sur les exploitations. C'est ainsi que la moitié ouest de la zone d'étude présente des sols latéritiques du type Altisol ainsi que des sols alluviaux côtiers du type Entisol alors qu'à l'est de la zone on retrouve des sols rouges sableux du type Alfisol (Voir cartes en annexe).

## **V.2. Echantillonnage des jardins agroforestiers**

### **V.2.1. Adaptation du concept de jardins agroforestiers**

Après la réalisation d'un prétest sur dix exploitations dans la zone centrale des Ghâts, il a pu être constaté, comme mentionné par Ranganathan et al. (2008), que dans certains cas les exploitations présentent plusieurs sous-unités agroforestières. Ainsi il a pu être distingué des plantations d'aréquiers en association avec de nombreuses espèces de plantes. La seconde unité de production est constituée des terres proches des habitations présentant une forte biodiversité végétale à vocation alimentaire mais également ornementale et médicinale. Par la suite cette unité sera nommée « jardin d'habitation ». Par ailleurs certaines exploitations présentaient des champs de riz, dans lesquels étaient aménagés des patches de potagers majoritairement destinés à la production de légumes. Ces potagers ne sont que temporaire, car durant la période de mousson ces champs seront entièrement utilisés pour la culture du riz. Généralement ces « potagers temporaires » viennent en supplément de la production légumière du « jardin d'habitation ». Dans la plupart des cas les « potagers temporaires » et « les jardins d'habitations » ne sont d'ailleurs pas considérés comme deux entités pour les agriculteurs. En outre, les unités appelées « Soppina betta », dont nous avons fait mention précédemment, étaient également présentes sur certaines exploitations. Il est important de souligner que cette mosaïque de productions n'a pas toujours été distinguable.

Au vu de ces résultats préliminaires il a été pris la décision d'analyser séparément les plantations d'aréquiers et les « jardins d'habitations ». En tenant compte des remarques des agriculteurs, les « potagers temporaires » ont ainsi été inclus dans les jardins d'habitations, considérés ainsi comme une seule unité. Cette séparation jardin d'habitation/plantation d'aréquiers nous laissait toujours la possibilité de faire des analyses globales sur les « jardins agroforestiers » (JAF) par la suite.

Outre les petits patches de potagers temporaires, les champs de riz n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. Il en est de même pour les « Soppina betta », car d'une part ces terres n'appartiennent pas aux agriculteurs et d'autre part ces derniers n'ont pas le libre arbitre de la coupe de certaines essences arbres.

### V.2.2. La sélection des exploitations

La première étape était la constitution d'une liste d'agriculteurs la plus grande possible. Pour cela nous nous sommes basés sur la liste des contacts de Vanastree. Cette base de données, collectée sur plus de dix ans, comprend à la fois les coordonnées des membres de Vanastree mais également ceux des exploitants en relations plus ou moins directes avec cette organisation. C'est ainsi que l'un des groupes de Vanastree sur la côte a pu nous fournir des adresses d'exploitants n'ayant jamais été au contact de l'organisation auparavant. Au final la liste complète était composée de 146 exploitants, répartis sur 37 villages.

Sachant que les trois zones étudiées sont de tailles différentes et présentent un nombre d'exploitations différent, il aurait été intéressant de pouvoir appliquer un échantillonnage aléatoire stratifié proportionnelle par rapport aux zones. Cependant la seule liste de Vanastree, ne nous permettait pas d'avoir accès au nombre d'exploitations présentes dans chacune des trois zones. Il nous était donc impossible de réaliser un échantillonnage aléatoire stratifié sur la base des nombres d'exploitants dans les trois zones. Sachant que l'objectif de notre étude était de documenter et d'analyser la biodiversité selon un gradient ouest-est, ceci dans les limites de temps et des données qui nous étaient alloués, la méthode choisie pour notre échantillonnage était de sélectionner les villages dans lesquels nous avions des contacts tout en quadrillant au mieux les trois zones d'études.

En faisant l'hypothèse que plus les zones d'étude sont grandes plus on peut s'attendre à avoir de la variabilité dans nos échantillons, nous avons pris la décision de choisir le nombre total d'exploitations dans chaque zone, proportionnellement aux surfaces respectives de ces dernières. Etant donné que nous avons 9 semaines (22/4/13 jusqu'au 15/06/13) pour faire les relevés, en raison de l'arrivée de la mousson, nous avons pris la décision d'échantillonner 40 exploitations. A l'aide du logiciel QGIS il a été estimé que la zone côtière représentait près de 18% de la surface d'étude, 65% pour la zone centrale des Ghâts et 17% pour la zone est des Ghâts. Ainsi le nombre d'exploitations à choisir dans ces trois zones était de 7 sur la côte, 26 dans la zone des Ghâts et 7 pour l'Est des Ghâts. Afin de réduire le risque de répartition spatiale inégale nous avons d'abord choisi aléatoirement les villages puis au sein des villages nous avons sélectionné aléatoirement dans la mesure du possible 2 exploitations. En effet dans certains cas il n'y avait dans les listes qu'une seule exploitation par village, et dans d'autres cas les exploitants n'étaient pas disponibles (**Figure 7**).

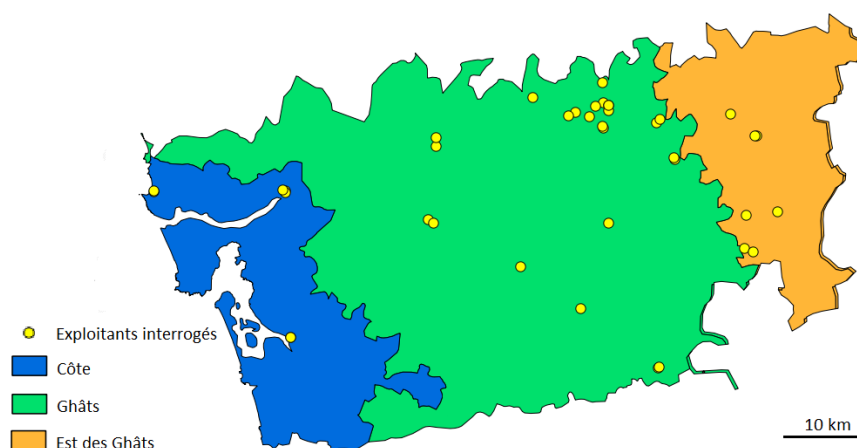


Figure 7 : Carte de la répartition spatiale de l'échantillonnage dans la zone d'étude.

### V.2.3. Les critères de sélection des exploitations présentant un jardin agroforestier

Etant donné que les JAF sont caractérisés par de petites unités de production, nous n'avons sélectionné, que les exploitations ayant moins de 3 acres (1,21 ha), incluant le jardin d'habitation et la plantation d'aréquiers dans le cas où ces deux unités de production étaient spatialement séparées. Au vu de la bibliographie, les exploitations de grande taille semblent perdre leurs caractéristiques de forte biodiversité en présentant plus de cultures à vocations commerciales et par conséquent moins de cultures destinées à l'autoconsommation. (Kumar, 2011; Mohan et al., 2006, 2007).

Une fois les exploitations choisies, les interviews se sont déroulées en deux grandes étapes. La première étape consistait à définir avec les agriculteurs les limites de leurs jardins d'habitations et plantations d'aréquiers. Les limites des unités de production étant définies, nous commençons, à partir d'une extrémité, à recenser l'ensemble des espèces utilisées par les agriculteurs. Ces espèces représentent l'ensemble des plantes n'étant pas considérées comme des adventices par les exploitants, et que les agriculteurs voulaient conserver. Cependant, les espèces n'ayant qu'un usage ornemental ou religieux n'ont pas été prises en compte. En effet, malgré l'importance de ces plantes dans les exploitations, cette décision a été prise d'une part pour la difficulté d'identification et de comptage et d'autre part car ces plantes jouent un rôle moins important pour la sécurité alimentaire. Pour l'ensemble des espèces recensées il a été demandé à l'exploitant s'il s'agissait d'une plante naturellement présente sur l'exploitation ou si elle était domestique. Concernant les espèces ligneuses, plantées en pleine terre et ayant plus de 1 m de hauteur, nous avons compté le nombre d'individus afin d'avoir accès à l'abondance spécifique (Mohan et al., 2007). L'abondance des plantes herbacées n'a ainsi pas été considérée dans l'analyse, d'une part pour la difficulté de comptage, et d'autre part car ces valeurs sont hautement transitoires dans l'année.

La seconde étape consistait en un entretien à l'aide d'un questionnaire semi-structuré. Les questions posées abordaient les thèmes suivants: informations sur les exploitants, caractéristiques économiques du JAF, main-d'œuvre, gestion semencière, pratiques de fertilisation et de protection des cultures, irrigation et évolution du JAF dans les 5 dernières années.

### V.3. Les indices écologiques

Dans le but d'évaluer la biodiversité végétale dans les JAF les espèces ont été subdivisées en différentes catégories. La première subdivision a consisté à séparer les espèces ligneuses (arbres et arbustes) et les espèces herbacées. Par ailleurs pour chaque espèce rencontrée, nous avons demandé aux exploitants s'il s'agissait d'une espèce qu'ils avaient plantée (domestique) ou s'il s'agissait d'une espèce sauvage. Ces informations ont ainsi permis d'affiner les résultats de richesse spécifique.

En outre l'indice de Shannon-Weaver a été calculé pour les espèces ligneuses afin d'estimer la diversité spécifique. Les raisons ayant poussé au choix de cet indice sont d'une part la volonté de prendre en compte à la fois la richesse et l'équitabilité des espèces et d'autre part la possibilité de comparaison des valeurs avec celles obtenues dans d'autres études. En effet, la majorité des auteurs, ayant étudié les JAF dans l'Etat du Kerala, ont utilisé ce même indice

(Marcon, 2013; Mohan et al., 2006, 2007; Saha et al., 2009; Vlkova et al., 2011). L'équation de l'indice de Shannon-Weaver est la suivante :

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

S représente le nombre d'espèces végétales sur la surface à étudier et  $p_i$  la probabilité qu'une espèce choisie au hasard appartienne à l'espèce  $i$ .

L'indice de Sørensen a été calculé afin de déterminer le pourcentage de similarité de composition spécifique pour différentes catégories de JAF. Cet indice représente le pourcentage de plantes communes entre deux JAF donnés. Pour calculer l'indice de similarité entre un JAF A et un JAF B, l'équation mathématique est la suivante :

$$S_s = \frac{\text{Nombre d'espèces communes}}{\frac{(S_a + S_b)}{2}} * 100$$

$S_s$  représente l'indice de Sørensen,  $S_a$  le nombre d'espèces dans le jardin A,  $S_b$  le nombre d'espèces dans le jardin B.

Les JAF ont d'une part été subdivisés selon les trois zones d'études et d'autre part selon le régime alimentaire des agriculteurs. Dans un premier temps l'indice a été calculé pour chaque couple de JAF puis ensuite les couples de JAF ont été regroupés selon les deux subdivisions afin d'en obtenir les moyennes. Ces moyennes ont ensuite été comparées entre elles (Mohan et al., 2007; Vlkova et al., 2011).

#### V.4. Analyses statistiques

L'exploration et l'analyse des données ont été réalisées en différentes étapes en suivant le protocole établi par Zuur et al. (2010). Ainsi dans un premier temps nous avons déterminé quelles étaient les valeurs « aberrantes ». Ceci nous a conduits à exclure une des exploitations de l'analyse. Le premier argument nous ayant amené à faire ce choix est qu'à posteriori il a été déterminé que la surface totale de ce JAF était supérieure à 3 acres alors que dans cette enquête nous avons fait le choix de n'étudier que les JAF inférieur à 3 acres. Par ailleurs les valeurs de richesse étaient près du double de celles observées dans les autres exploitations. Dans un second temps nous avons vérifié, à l'aide des tests de Shapiro-Wilk et Kolmogorov-Smirnov, l'hypothèse de normalité et à l'aide du test de Bartlett l'hypothèse d'homogénéité des variances afin de déterminer les tests d'hypothèse adaptés à la comparaison de moyenne. Ainsi lorsque l'hypothèse de normalité n'était pas atteinte nous avons utilisé les tests de Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis. Dans le cas contraire nous avons appliqué des modèles d'ANOVA et de régression linéaire en prenant soin de commencer avec les modèles faisant intervenir les interactions entre facteurs et de finir par des modèles simplifiés lorsque les interactions ou les facteurs n'étaient pas significatifs. En parallèle nous avons supprimé des modèles les variables corrélées entre elles afin d'éviter les effets de la multicolinéarité. La sélection des variables a été réalisée à l'aide des matrices de corrélations, des cercles de corrélations issues d'analyses en

composantes principales ainsi que des facteurs d'inflation de la variance (VIF). L'ensemble des analyses statistiques et des calculs des indices de Shannon-Weaver et Sørensen a été réalisé à l'aide du logiciel R 3.0.1 (R Development Core Team 2013).

## VI. Résultats et discussion

### VI.1. Description des exploitations de la région

#### VI.1.1. Les personnes interrogées

Au travers de la section des Ghâts étudiée, le profil social des exploitants nous est apparu très hétérogène. Le premier constat qui a pu être fait est la dominance de la caste des Havyaka Brahmins (nommée Brahmin par la suite). En effet sur les 39 exploitations interrogées près de 56 % des exploitants interrogés appartenaient à cette dernière. A hauteur de 13% la caste des Hallaki est la seconde caste la plus représentée. Les pourcentages des autres castes (Marathi, Namdari, Scheduled Caste(SC), Scheduled tribe(ST), Siddi) sont inférieurs à 8%. Par ailleurs, il a également été possible de constater que ces proportions de représentation des castes sont également fonction des trois zones définies. Ainsi sur la zone côtière les Hallakis représentent plus de 71% contre près de 29% pour la caste des GSB (Gaur Saraswat Brahmins). Au contraire, dans la zone des Ghâts et celle de la bordure Est des Ghâts la caste des Brahmins est dominante à hauteur de près de 71% (**Tableau 1**). Comme nous le verrons par la suite cette forte hétérogénéité de répartition spatiale des castes auxquelles appartiennent les exploitants, au sein de notre échantillon, semble avoir d'importantes conséquences sur la gestion du système de culture. L'une des grandes différences entre ces castes réside notamment dans leurs habitudes alimentaires. C'est ainsi que l'ensemble des exploitants appartenant à la caste des Brahmins sont végétariens alors que près de 95% des exploitants des autres castes ne le sont pas. Nous pouvons ainsi constater qu'il y a significativement plus de végétariens dans la zone des Ghâts et à l'Est des Ghâts que sur la côte.

Tableau 1 : Effectifs et pourcentages de représentation des castes auxquelles appartiennent les agriculteurs selon les trois zones. L'abréviation Brahmin renvoie à la caste des Havyaka Brahmins, GSB correspond à la caste des Gaur Saraswat Brahmins. SC et ST renvoient respectivement à la caste des Scheduled Caste et celle des Scheduled Tribe.

|                        | Côte    |      | Est des Ghâts |         | Ghât    |      |         |         |       |     |
|------------------------|---------|------|---------------|---------|---------|------|---------|---------|-------|-----|
| Castes                 | Hallaki | GSB  | Brahmin       | Namdari | Brahmin | SC   | Marathi | Namdari | Siddi | ST  |
| Effectifs              | 5       | 2    | 5             | 2       | 17      | 3    | 2       | 1       | 1     | 1   |
| Pourcentages par zones | 71,4    | 28,6 | 71,4          | 28,6    | 68,0    | 12,0 | 8,0     | 4,0     | 4,0   | 4,0 |

Concernant l'âge des exploitants interrogés, nous trouvons une plus grande homogénéité à l'échelle de la zone d'étude. En effet les proportions des classes d'âge semblent être similaires entre les trois sous-unités spatiales. Il est cependant possible de remarquer que la classe d'âge 50 à 60 est la plus fréquente, suivi de la classe d'âge 40-50 ans. La prédominance d'une population

relativement âgée pourrait s'expliquer par le fait que nous avons interrogé les propriétaires et gestionnaire principaux des exploitations.

### VI.1.2. La main-d'œuvre

Sur l'ensemble de la zone d'étude les exploitants se plaignent, à hauteur de près de 80%, d'un manque de disponibilité de la main-d'œuvre. Ce manque de disponibilité rend ainsi plus difficile la gestion des récoltes et l'entretien de la fertilité organique des sols. Ce phénomène semble être d'autant plus marqué pour les JAF d'une taille supérieure à 0,4 ha.

### VI.1.3. La fonction des unités de production et les chiffres d'affaires des cultures

Comme expliqué précédemment, les JAF dans l'Uttara Kannada présentent différentes unités de production. Ces dernières ont des fonctions bien distinctes les unes des autres. Toutes zones confondues il a été déterminé que 74 % des exploitants considèrent que le jardin d'habitation est en premier lieu une source de nourriture pour la maisonnée (**Figure 8**). Dans une moindre mesure ces jardins d'habitations sont également une source de revenus par la vente de graines ou de certains fruits et légumes. Les jardins d'habitations sont aussi le lieu privilégié pour la culture de plantes à vocation médicinale ou religieuse.

En ce qui concerne les plantations d'aréquier, tous les exploitants considèrent que leur fonction principale est de générer un revenu par la vente des productions. Ce résultat est bien confirmé par le fait que dans 65% des cas le chiffre d'affaires des plantations d'aréquier constitue la première source de revenus de la maisonnée. La fonction secondaire de cette sous-unité de production est alimentaire avec la production de fruits et légumes mais également d'épices. Ces résultats soulignent donc la forte complémentarité de production et de fonction de ces deux unités, permettant à la fois une production à destination de l'autoconsommation ainsi qu'une production génératrice de revenus.

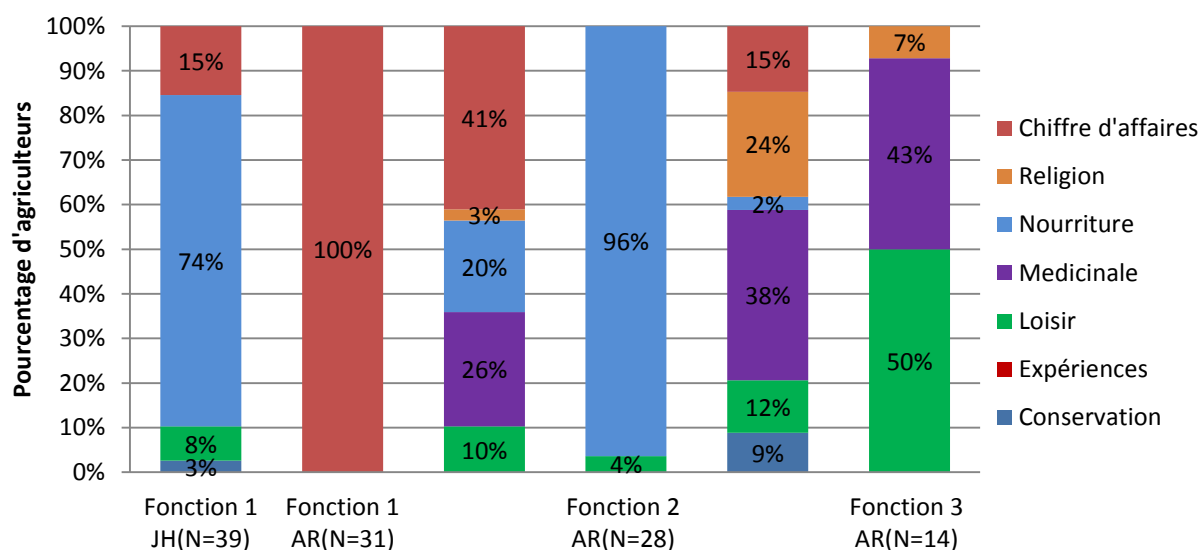


Figure 8 : Les fonctions principale, secondaire et tertiaire des jardins d'habitations(JH) et des plantations d'aréquier(AR) établis selon le classement dressé par les agriculteurs interrogés.

En outre il a pu être mis lumière que les exploitations de la zone côtière présentaient des chiffres d'affaires significativement moins importants que dans les deux autres zones. Ce résultat est à mettre en lien avec le fait que 68 % des exploitations côtières ne possèdent pas de plantations d'aréquier alors que ce n'est le cas que dans 12% des exploitations dans les Ghâts et 0% dans la zone Est des Ghâts (p-value = 0.038). Par ailleurs, les exploitations ne présentant pas de plantations d'aréquier ont significativement moins de revenus que les exploitations en possédant (p-value = 0.004).

Dans son analyse financière des JAF au Kerala, Mohan et al.(2006) soulignent également l'importance économique des aréquiers et des bananiers. Ces deux espèces représentent, dans notre zone d'études, la trame de base de ces plantations.

#### VI.1.4. La fertilisation

La fertilisation dans les JAF est dans la majeure partie des cas, basée sur une fertilisation organique des terres sans utilisation d'engrais de synthèse. Les sources de matière organique sont très diverses et sont à la fois d'origine animale et végétale. A titre d'exemple dans 38 exploitations sur 39 les déjections de vaches sont épandues sur les terres des plantations d'aréquier et du jardin d'habitation et ceci même si aucun atelier animal n'était présent sur exploitation. Concernant la matière organique, il est important de souligner le rôle des « Bettas » comme source de feuilles. Les résultats du questionnaire mettent en évidence que ces pratiques de fertilisation diffèrent selon les trois sous-unités. Ainsi sur la zone côtière seulement 29% des exploitations présentaient des Bettas alors qu'il y en a respectivement 84 et 86 % dans les Ghâts et à l'Est des Ghâts. Les Bettas sont certainement moins présents sur la zone côtière du fait d'une disponibilité inférieure en terre forestière en comparaison aux deux autres zones. En parallèle près de 57% des exploitants utilisent des fertilisants synthétiques alors que cette proportion est de 29% dans la zone Est des Ghât et de 0% dans les Ghâts. Ce dernier point reste

difficile à expliquer car l'analyse des effectifs ne montre aucune corrélation entre l'absence de fertilisation via les Bettas et l'utilisation de fertilisants synthétiques.

### VI.1.5. La protection des cultures

En ce qui concerne la protection des cultures, au même titre que la fertilisation, il a pu être constaté que l'utilisation de pesticides de synthèse était minoritaire en comparaison aux préparations naturelles et à l'utilisation de solutions de sulfate de cuivre. C'est ainsi qu'il y a respectivement 38% et 48% des exploitants qui utilisent de l'urine de vache et des cendres en tant que répulsif contre les insectes ravageurs dans leur jardins d'habitations. Par ailleurs l'on peut également citer l'exemple de l'huile de Neem provenant des fruits et des graines de l'arbre *Azadirachta indica*, ayant des propriétés répulsives contre une large gamme d'insectes tels que les pucerons, les nématodes et certains coléoptères.

La bouillie bordelaise ainsi qu'une solution nommée « Biofight », à base de phytoalkaloides, sont utilisées dans 75% des plantations d'aréquiers afin de lutter contre les attaques fongiques. L'une des maladies fongiques la plus citée par les agriculteurs interrogés est le « Koleroga », causé par l'Oomycète *Phytophthora palmivora*. En effet cet organisme est l'agent responsable de la pourriture brune des bourgeons ou des fruits, notamment sur les aréquiers, les cocotiers ou les cacaoyers. Il a été rapporté que la maladie du Koleroga est chaque année à l'origine de grandes pertes de récoltes et donc de revenus dans la région des Malnads (newzfirst 2013). Les résultats de l'enquête confirment bien la forte présence de ce champignon dans la zone d'étude car au moins 20% des exploitants, toutes zones confondues, se sont plaint spécifiquement du Koleroga sur leurs aréquiers.

Soulignons que les utilisations de pesticides sont fonctions des zones définies. Comme pour les pratiques de fertilisation la zone côtière présente près de 60 % des exploitants utilisant des solutions insecticides de synthèse, alors que ces pourcentages sont respectivement de 29% et 0% dans la zone Est des Ghât et dans les Ghâts.

Ainsi au vu des pratiques de fertilisation et de protection des cultures il semblerait que la zone côtière se démarque des deux autres zones par l'importance de l'utilisation d'intrants extérieurs plutôt que l'adoption de pratiques favorisant une utilisation optimale des ressources du milieu et des vertus répulsives de certaines espèces de plantes.

### VI.1.6. L'irrigation

Au cours des entretiens avec les exploitants nous leur avons posé la question consistant à savoir s'ils estimaient avoir des problèmes pour fournir suffisamment d'eau à leurs cultures. L'analyse statistique des résultats met en évidence que les problèmes d'eau sont localisés au nord de la zone d'étude (p-value = 0.007). Par ailleurs, un effet régime de précipitation a également été mis en évidence, notamment avec un nombre plus important de problèmes d'eau dans la zone Nord-Est.

L'une des raisons qui pourrait également être à l'origine du manque d'eau est la qualité du système d'irrigation présent sur les exploitations. Afin de confirmer cette hypothèse nous nous sommes penchés sur l'analyse des systèmes d'irrigation dans les jardins d'habitations car

c'est dans cette même unité de production que les problèmes d'eau étaient les plus fréquents. Ainsi nous avons classé les systèmes d'irrigation en trois catégories. La première était constituée des exploitations où l'irrigation se faisait manuellement ; les systèmes d'irrigation au tuyau constituaient la seconde catégorie alors que les systèmes de Jets, d'asperseurs ou de goutte à goutte constituaient la troisième. Ainsi les résultats confirment que les problèmes d'eau sont significativement supérieurs lorsque les systèmes d'irrigation sont manuels ou semi-manuels (tuyau). Comme nous pouvions nous y attendre les exploitations ayant des systèmes d'irrigation mécaniques présentaient également des revenus supérieurs.

Cependant il est important de remarquer qu'il ne semble pas y avoir de relation statistique entre la latitude des exploitations et la présence ou non des systèmes d'irrigation mécaniques. Ce dernier résultat suggère que les régimes de précipitations et la qualité des systèmes d'irrigation ne sont pas les seuls facteurs responsables du manque d'eau.

### VI.1.7. La gestion semencière

Etant donné l'importance de la gestion semencière pour l'autonomie de fonctionnement d'une exploitation agricole, nous avons demandé à chaque exploitant, d'estimer le pourcentage de semences achetées sur les marchés en opposition aux semences provenant d'échanges ou qu'ils auraient conservées à partir des récoltes précédentes. Par ailleurs nous avons également voulu savoir quel était le moyen d'acquisition des graines/plants. L'analyse de ces données met en lumière, qu'en moyenne, les exploitants de la zone des Ghâts présentent un pourcentage d'utilisation de semences fermières supérieur à celui retrouvé dans la zone côtière ( $P\text{-value} = 0.0011$ )(**Figure 9**). En complément, il a été déterminé que 38% des exploitants ont recours à l'échange de graines dans les Ghâts alors que ces pourcentages sont respectivement de 14% et 0% sur la côte et à l'Est des Ghâts ( $P\text{-value}=0.0766$ ). Dans notre échantillon, la zone des Ghâts semble ainsi se différencier en matière de gestion semencière. En effet les exploitants de cette zone ont tendance à avoir une plus grande indépendance face à l'achat des semences sur le marché. Cette caractéristique apporte en ce sens une plus grande sécurité alimentaire pour les agriculteurs.

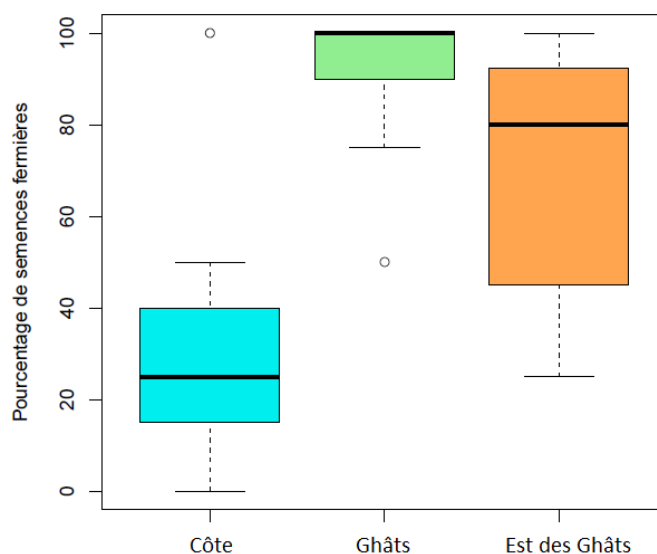


Figure 9 : Boîtes à moustaches du pourcentage d'utilisation de semence fermière en fonction de la zone.

## VI.2. L'agrobiodiversité végétale dans les jardins agroforestiers

### VI.2.1. La richesse totale de la zone d'étude

Les résultats d'analyse de richesse spécifique révèlent que sur l'ensemble de la zone d'étude il a pu être différencié 319 espèces végétales dont 303 ont été retrouvées dans les jardins d'habitations et 126 dans les plantations d'aréquiers. Ainsi une moyenne de près de 65 espèces par exploitation a été retrouvée sur l'ensemble de la zone d'étude. Etant donnée la difficulté de la collection d'échantillon durant la phase de terrain, 28 espèces sont restées indéterminées. En effet pour la grande majorité de ces 28 espèces il n'y avait qu'un seul ou deux individus sur l'exploitation. Les espèces retrouvées dans les JAF sont utilisées en tant que légumes, fruits pour le dessert, épices, boissons désaltérantes, bois d'œuvre, bois de feu, fourrage animal, fertilisant organique, support de développement d'autres plantes, création de zones ombragées ou pour la prévention de l'érosion des sols. On retrouve également des plantes à vocation religieuses, médicinales et ornementales.

En comparaison à d'autres études il est important de souligner que le nombre d'espèces retrouvées dans la zone d'étude est supérieur à ceux ayant été obtenus dans la majorité des études de biodiversité dans les JAF. Ainsi dans une étude réalisée dans le district de Thrissur au Kerala il a pu être rapporté 153 espèces sur 75 exploitations avec une moyenne de 36 espèces par exploitation (Mohan et al., 2007). Dans le même district 106 espèces ont pu être identifiées sur un total de 24 exploitations par Saha et al. (2009). Néanmoins nos résultats de richesse spécifique restent inférieurs aux 463 espèces identifiées au cours d'une enquête menée sur 839 JAF, répartis sur trois districts du Kerala (Kumar, 2011).

Dans le jardin d'habitation les cinq espèces les plus présentes sont respectivement *Solanum melongena*, *Cucumis sativus*, *Amaranthus cruentus*, *Capsicum annuum* et *Luffa acutangula*. Ces cinq espèces sont présentes dans plus de 90% des exploitations et sont majoritairement utilisées pour l'autoconsommation bien que le fruit de *Capsicum annuum* soit également fréquemment vendu sur les marchés locaux. En ce qui concerne les plantations d'aréquiers les cinq espèces les plus retrouvées, outre *Areca catechu*, sont les bananiers (*Musa spp.*), le poivre noir (*Piper nigrum*), les cocotiers (*Cocos nucifera*), la cardamome (*Ellattaria cardamomum*), et les jacquiers (*Artocarpus heterophyllus*). Parmi ces espèces, les aréquiers, le poivre noir et la cardamome sont essentiellement à vocation commerciale.

### VI.2.2. L'effort d'échantillonnage

En référence à la courbe d'échantillonnage Surface-Nombre d'espèces nous avons tenté de déterminer si notre densité d'échantillonnage était suffisante par rapport à la taille de la zone d'étude. Etant donné que cette étude s'inscrit dans le cadre d'un pré-test pour des investigations de plus grande envergure, la courbe d'accumulation des espèces en fonction du nombre d'exploitations nous permet théoriquement d'évaluer la taille d'échantillon minimal (Oksanen, 2013; Walter, 2006). Les courbes de la **Figure 10** mettent en évidence que l'accumulation des espèces semble tendre vers une asymptote oblique et non une asymptote horizontale. Ces résultats montrent qu'il aurait été préférable d'avoir une taille d'échantillon au moins deux fois plus importante notamment pour l'étude des jardins d'habitations(JH). Au vu de la courbe

d'accumulation la taille d'échantillon adopté ici semble plus adaptée à l'étude des plantations d'aréquier, car cette dernière laisse entrevoir une asymptote horizontale. Par ailleurs l'examen de ces trois courbes, ainsi que des analyses statistiques supplémentaires, nous suggèrent que la richesse spécifique dans les plantations d'aréquier est bien moins importante que dans les jardins d'habitations. Il est possible de constater que l'étude des Jardins agroforestiers (JH+AR), c'est-à-dire des jardins d'habitations(JH) et des plantations aréquier(AR), se résume quasiment à celle des jardins d'habitations en matière de richesse spécifique. La proximité de richesse spécifique entre les JAF et les jardins d'habitations s'explique par le fait que la majorité des espèces présentes dans les plantations aréquier se retrouve également dans les jardins d'habitations.

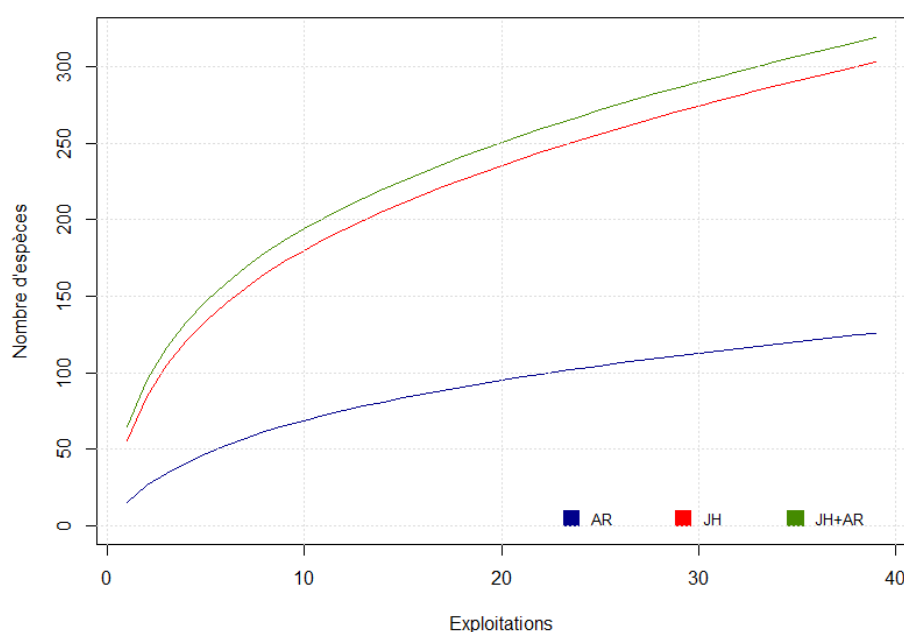


Figure 10 : Modèles d'accumulation spécifique en fonction du nombre d'exploitations échantillonnées pour différentes unités de production selon la méthode exact de Kindt. L'abréviation AR correspond aux plantations d'aréquier, JH aux jardins d'habitations et JH+AR à l'unité représentant la réunion des unités précédentes.

### VI.2.3. La richesse spécifique

L'analyse statistique de la richesse spécifique met en évidence que la zone côtière présente significativement moins d'espèces que la zone des Ghâts et cette dernière moins que la zone Est des Ghâts (figure 3). Ce résultat suggère donc qu'il existe un gradient croissant d'agrobiodiversité végétale au travers de la chaîne de montagne de Ghâts. Afin d'affiner cette observation nous avons examiné la richesse spécifique de différentes catégories de plantes. Ainsi les deux critères de séparation choisis sont d'une part une opposition entre espèces ligneuses et herbacées et d'autre part la distinction entre les espèces plantées par les exploitants (domestique) et les plantes naturellement présentes sur l'exploitation (Sauvage). Les résultats de ces analyses statistiques sont synthétisés dans la **Figure 11**. Ces résultats mettent en lumière que la différence de richesse spécifique entre les 3 zones est répartie de façons relativement homogènes entre les différentes classes d'espèces. Nous pouvons constater que les catégories dominantes pour les trois zones sont celles des plantes herbacées domestiques et ligneuses

domestiques. Ceci met donc en évidence que les agriculteurs jouent un rôle primordial dans la constitution de l'agrobiodiversité végétale présente sur les exploitations. Cependant le nombre d'espèces herbacées sauvages suit également un gradient positif allant de la côte à l'Est des Ghâts.

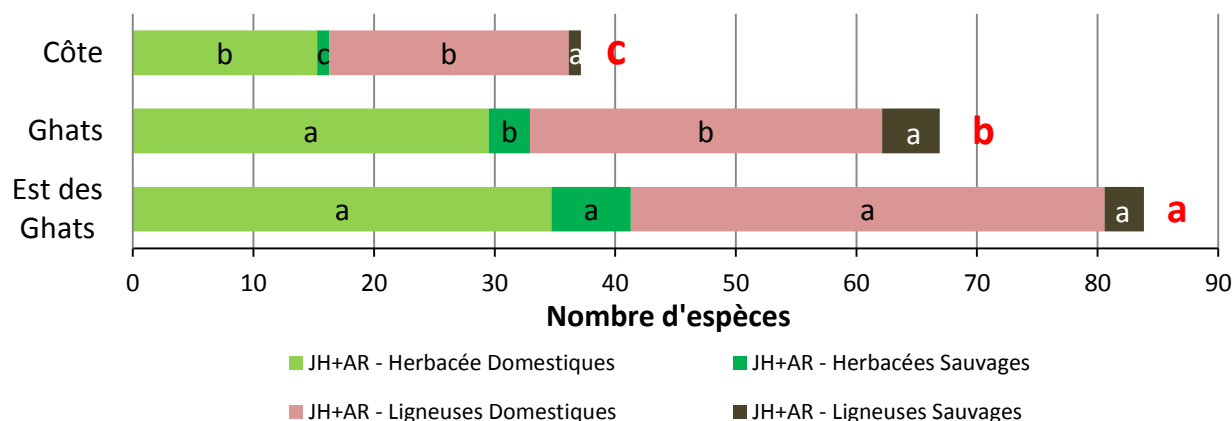


Figure 11 : Résultats de la comparaison de moyennes des richesses spécifiques dans les jardins agroforestiers par zone pour les différentes catégories de plantes (N=39). L'abréviation JH+AR renvoie aux espèces retrouvées dans les jardins d'habitations ou dans les plantations aréquiers. L'abréviation «Domestiques/Sauvages» renvoie aux espèces plantées ou non par les agriculteurs et Ligneuses/Herbacées précise s'il s'agit d'une espèce ligneuse (arbres-arbustes) ou herbacées. Les groupes statistiques sont issus de la comparaison multiple des richesses moyennes par catégorie d'espèces selon les trois zones d'études. Les groupes en rouge correspondent à une comparaison multiple des richesses totales par zones. Selon de test HSD de Tukey, les catégories d'espèces ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P>0,05$ ).

Les raisons pouvant être à l'origine de ces derniers résultats sont multiples. La raison principale est certainement la présence d'un environnement biologique d'exploitation bien plus riche dans les Ghâts et à l'Est des ghâts, augmentant par conséquent les flux entrant de graines. Ces flux peuvent être réalisés par voie naturelle, telle l'anémochorie ou la zoochorie, mais également par les pratiques agricoles. En effet la pratique de fertilisation consistant à transporter les feuilles des Bettas sur les terres du JAF est également une source potentielle de graines. Par ailleurs l'environnement biologique et physique des exploitations va également pouvoir jouer un rôle fondamental sur la disponibilité de certaines espèces de plantes pour les exploitants. L'exemple de l'espèce *Murraya koengii*, utilisé en tant qu'épices, illustre bien ceci car dans certaines exploitations il s'agissait d'une espèce domestique alors que dans d'autres elles étaient naturellement présentes. En outre il sera d'autant plus difficile de cultiver des plantes ayant de grands besoins hydriques, telles que certaines cultures légumières (courges, carottes, salades,...), sur des sols sableux comme nous avons pu en rencontrer sur la côte (BLE – CIVAM, 2011).

En poursuivant la segmentation de la richesse spécifique au sein des JAF il a pu être mis en lumière que les plantations d'aréquier présentent significativement moins d'espèces que les jardins d'habitations. En complément aux résultats précédents, il semble que les jardins d'habitations contribueraient majoritairement à la richesse en espèces herbacées domestiques et ligneuses domestiques (Figure 12). Concernant les herbacées domestiques ceci s'explique essentiellement par la présence de nombreuses espèces légumières annuelles cultivées autour de l'habitation. En outre le nombre d'espèces herbacées domestiques du jardin d'habitation est

significativement supérieur dans les Ghâts et à l'Est des Ghâts par rapport à la zone côtière. En échos à l'analyse des castes et des habitudes alimentaires des exploitants selon les trois zones, l'une des explications pouvant être avancées est que les végétariens, plus nombreux dans les Ghât et à l'Est des Ghât, aient tendance à cultiver d'autant plus de plantes légumières pour leur autoconsommation.

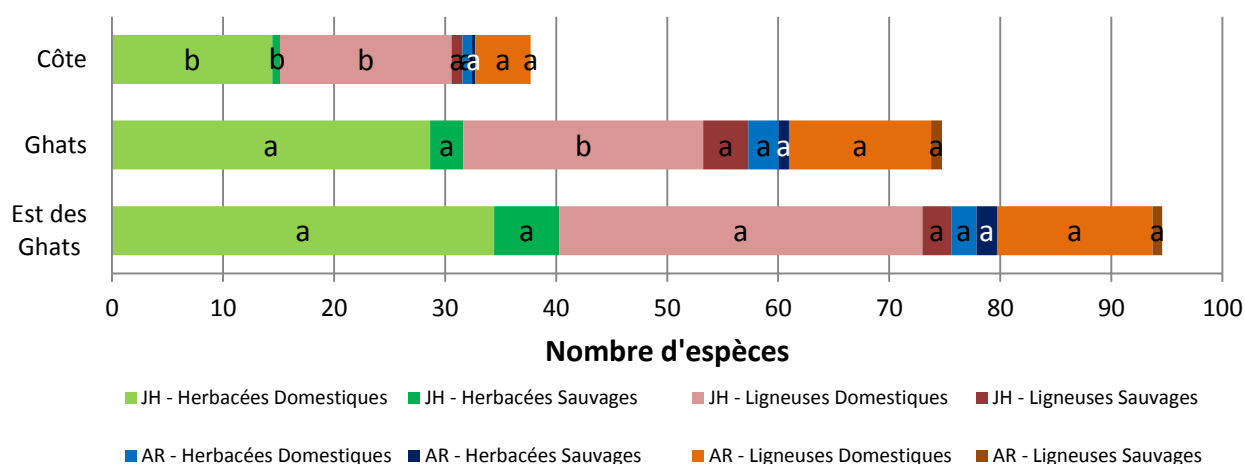


Figure 12 : Résultats de la comparaison de moyennes des richesses spécifiques par zone pour les différentes unités de production et catégories de plantes (N=39). Les abréviations JH et AR renvoient respectivement aux espèces retrouvées dans le jardin d'habitation et dans les plantations aréquiers. L'abréviation « Domestiques/Sauvages » renvoie aux espèces plantées ou non par les agriculteurs et Ligneuses/Herbacées précise s'il s'agit d'une espèce ligneuse (arbres-arbustes) ou herbacées. Les groupes statistiques sont issus de la comparaison multiple des richesses moyennes par catégorie d'espèces selon les trois zones d'études. Selon de test HSD de Tukey, les catégories d'espèces ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

#### VI.2.4. La diversité spécifique

Outre le nombre d'espèces dans les trois zones étudiées, il est également important de déterminer s'il existe des inégalités d'abondance entre ces différentes espèces. Afin d'affiner les résultats énoncés précédemment nous avons analysé l'évolution de l'indice de Shannon selon les trois zones pour les espèces d'arbres et d'arbustes. Cet indice a été calculé pour les jardins d'habitations, les plantations d'aréquieres et enfin pour la réunion de ces deux unités de production. Les jardins d'habitations présentent une diversité de Shannon moyenne égale à 2,40 qui est significativement supérieur à celle des plantations d'aréquieres qui est de 1,24 (**Figure 13**). Ce résultat est à mettre en relation avec le fait que les plantations d'aréquieres présentent essentiellement des espèces à destination de la vente. Afin de maximiser leur profit les agriculteurs vont essentiellement planter des espèces générant de fortes marges brutes, telle que les aréquiers, la cardamome, le poivre noir ou encore les bananiers. Ceci aura pour conséquence d'augmenter l'abondance d'un petit nombre d'espèces, se traduisant par une plus faible diversité de Shannon.

L'unité résultant de l'assemblage du jardin d'habitation et des plantations d'aréquieres présente une valeur intermédiaire égale à 1,72. Etant donné que l'unité d'assemblage est statistiquement différente des unités dont elle est composé, cela suggère qu'il n'y a pas de dominance d'une des deux unités à l'échelle de l'exploitation. L'une des explications pouvant

être à l'origine de ce constat est que les surfaces de production et l'abondance totale des espèces sont équivalentes entre les deux unités.

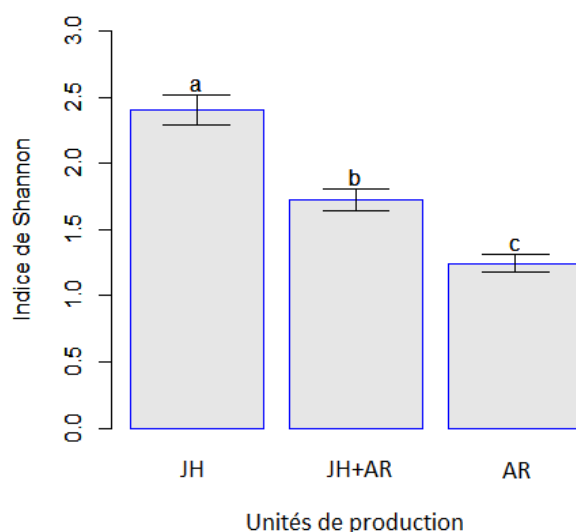


Figure 13 : Résultats de l'analyse de moyenne de l'indice de Shannon pour les différentes unités de production, toutes zones confondues (N=31). L'abréviation JH signifie : jardin d'habitation, AR : Plantation d'aréquier, et JH+AR : l'assemblage du jardin d'habitation et de la plantation d'aréquier. Les barres d'erreurs représentent les écarts standards à la moyenne. Selon le test HSD de Tukey, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

Par la suite nous avons essayé de déterminer s'il existe des différences de diversité entre les zones. L'analyse de l'indice de Shannon nous amène à constater qu'il n'y a des différences significatives uniquement dans le cas des jardins d'habitations. En effet la zone Est des Ghâts présente en moyenne des indices de Shannon supérieur à ceux que l'on observe sur la zone côtière. Ce résultat suggère une spécialisation, relativement plus importante, de la production des jardins d'habitations sur la côte par rapport à la zone Est des Ghât. Ceci est peut-être à mettre en relation avec le fait que les agriculteurs de la zone côtière présentent des chiffres d'affaires significativement moins important que dans les deux autres zones, obligeant ces derniers à favoriser un plus petit nombre d'espèces ayant de meilleures marges brutes. Les valeurs de diversité de Shannon-Weaver retrouvées dans l'unité d'assemblage du jardin d'habitation et des plantations d'aréquier sont similaires à celles retrouvées dans les études menées au Kerala (Mohan et al., 2007; Saha et al., 2009). Des recherches menées sur la diversité spécifique en plantes ligneuses dans les forêts du district de l'Uttara Kannada ont mis en évidence un indice de Shannon moyen égal à 15,52 (Daniels et al., 1992). Ceci montre bien que malgré la forte diversité retrouvée dans les JAF, cette dernière est malgré tout inférieure à celle retrouvée dans les milieux naturels avoisinants.

## VI.2.5. L'indice de similarité de Sorensen

Suite à l'analyse de la richesse ainsi que de la diversité spécifique nous avons tenté d'appréhender les similarités de compositions entre les JAF selon les trois zones géographiques. Dans ce but il a été calculé l'indice de similarité de Sorensen pour chaque couple d'exploitation. Ainsi sur l'ensemble de la zone d'étude l'indice de Sorensen moyen est de 0,52 et atteint un maximum de 0,73 (**Tableau 2**). Les valeurs de similarité calculées sont relativement faibles au

regard de celles rencontrées dans la littérature. En effet dans une étude menée sur les JAF dans le district de Thrissur au Kerala les indices de Sorensen sont compris entre 70% et 95% (Mohan et al., 2007). Des valeurs similaires ont été obtenues sur les JAF de la commune de Phong My au Vietnam (Vlkova et al., 2011). Les raisons pouvant être à l'origine de cette différence sont d'une part une plus faible densité surfacique d'échantillonnage et d'autre part la présence d'un plus fort gradient de conditions physiques et sociales sur la zone d'étude.

En outre, les résultats de cette analyse de l'index de Sorensen mettent en lumière que les exploitations des Ghats et de l'Est des Ghats présentent de plus fortes similarités entre elles qu'avec les exploitations de la zone côtière. Ceci vient donc compléter les résultats des analyses de richesse et de diversité énoncées précédemment et souligne que les exploitations de la côte se distinguent également des deux autres zones en terme de composition spécifique.

Afin de préciser ces observations, un examen de la matrice de similarité pour chaque couple d'exploitation nous a conduits à recalculer les moyennes des indices en fonction du régime alimentaire des agriculteurs. En effet, lorsque l'une des exploitations est composée d'agriculteurs non végétariens les indices de Sorensen sont significativement plus faibles que dans le cas contraire. Etant donné que les exploitations côtières sont composées à 86% de non-végétariens ces derniers résultats viendraient expliquer les plus faibles similarités de Sorensen entre les exploitations des Ghats ou de l'Est des Ghats et les exploitations de la zone côtière. Cependant il reste assez difficile d'interpréter le fait que les exploitations composées de non végétariens présentent de faibles similarités entre elles. Ce résultat suggère qu'il existe potentiellement une segmentation plus fine des exploitations au sein de la catégorie des Non-végétariens.

Tableau 2 : Pourcentages de similarité de Sorensen pour la richesse spécifique selon les zones d'étude et le régime alimentaire des agriculteurs. Les valeurs entre parenthèses représentent les écarts standard à la moyenne.

|                 | Côte         | Ghats       | Est des Ghats | Végétariens | Non Végétariens |
|-----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|
| Côte            | 47,45 (1,55) | 43,0 (0,55) | 41,8 (0,88)   | /           | /               |
| Ghats           | /            | 56,4 (0,46) | 54,2 (0,47)   | /           | /               |
| Est des Ghats   | /            | /           | 59,4 (2,14)   | /           | /               |
| Végétariens     | /            | /           | /             | 57,7 (0,46) | 48,6 (0,47)     |
| Non Végétariens | /            | /           | /             | /           | 47,8 (0,82)     |

### VI.3. Les différents facteurs impliqués dans la variabilité de la biodiversité

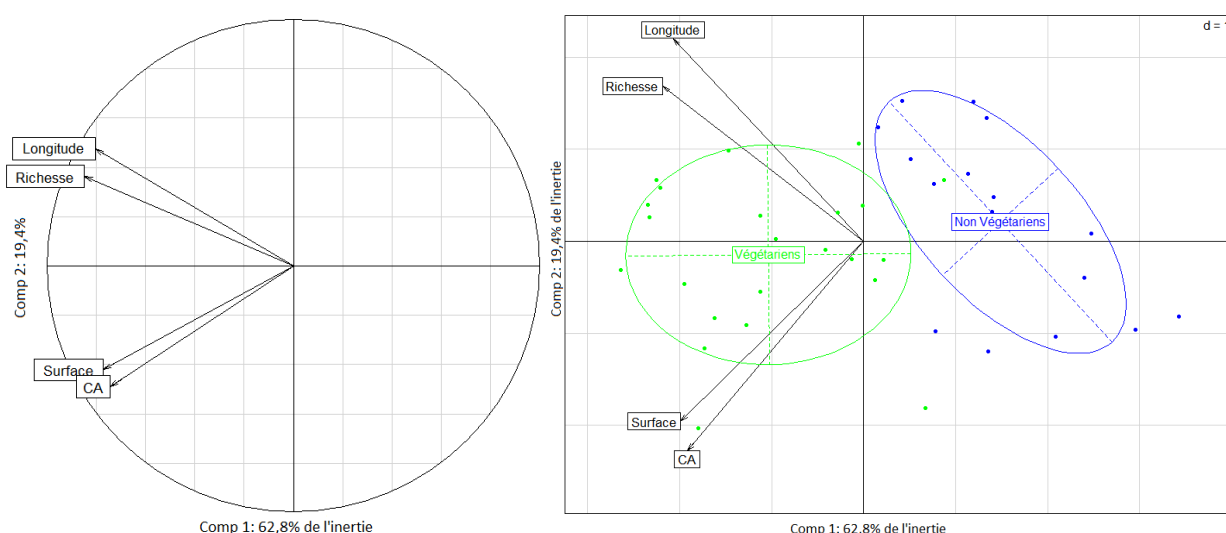
Comme nous avons pu le constater précédemment, de nombreux facteurs sont impliqués pour expliquer la biodiversité végétale dans les exploitations. Dans la suite nous avons tenté de déterminer quels étaient les facteurs ou indicateurs qui expliquaient le plus la richesse spécifique dans les JAF de la région d'études. A cette fin, les résultats du questionnaire ainsi que les données géo-spatialisées telles que l'altitude, les coordonnées GPS, les précipitations annuelles ou encore le type de sol ont permis de déterminer un grand nombre de variables expliquant potentiellement la richesse spécifique.

L'analyse des matrices et cercles de corrélations des ACP mettent en évidence que la longitude est la variable expliquant le mieux la variabilité de la richesse. Avec un coefficient de corrélation de Pearson égal à 0,72 nous avons réalisé une régression linéaire simple avec la longitude en tant que variable explicative. Ce modèle présente un coefficient de détermination

égal à 0,51 et nous informe ainsi que près de la moitié de la variabilité de la richesse spécifique peut être expliqué par la longitude.

Concernant les facteurs physique, il a été déterminé que le type de sol, le régime de précipitation annuelle ou encore l'altitude, sont des variables fortement corrélées à la longitude. De par la corrélation entre la longitude et la richesse spécifique, ces variables sont par voie de conséquence également corrélées à cette dernière. Etant donné, que les corrélations entre ces facteurs et la longitude sont plus importantes qu'avec la richesse spécifique, il est difficile de déterminer s'il s'agit de facteurs réellement explicatifs.

Après réduction du nombre de variables sur la base des corrélations, une ACP a été réalisée en prenant comme variables la richesse totale, la longitude, la surface des JAF et le chiffre d'affaires des cultures (**Figure 14**). A l'aide du cercle de corrélation nous pouvons observer que le chiffre d'affaires des cultures est plus corrélé à la taille du JAF qu'à la richesse spécifique. En complément au cercle de corrélation, les matrices de corrélations de Pearson ainsi que les résultats des modèles de régression linéaire, montrent que la taille des JAF ainsi que le revenu des cultures seraient plus corrélés à la richesse spécifique qu'à la longitude. Ce dernier point suggère ainsi que ces deux variables sont des facteurs expliquant la richesse et qu'il ne s'agit pas uniquement de variables liées à la longitude. De la même manière, nous avons pu mettre en évidence que par rapport au chiffre d'affaires, la taille du JAF serait le facteur à l'origine de la variation de richesse.



**Figure 14 : Résultats de l'ACP avec comme variables : la surface des JAF(Surface), le chiffre d'affaires(CA), la richesse spécifique dans le JAF(Richesse), la longitude. A gauche est représenté le cercle de corrélation de l'ACP et à droite le biplot de l'ACP.**

Ainsi l'ensemble de ces résultats nous suggère que plus la taille des JAF est importante plus les exploitants pourront avoir des cultures, ayant d'une part un impact positif sur le chiffre d'affaires et d'autre part sur la richesse spécifique. Etant donné que la taille des JAF est plus corrélée au chiffre d'affaires qu'à la richesse, cela peut nous laisser à penser que lorsque les exploitants ont plus de terre, ils auront d'abord tendance à cultiver plus de cultures de rente. Ceci aura certainement une conséquence sur l'occupation des terres, car les cultures de rente sont majoritairement situées dans les plantations d'aréquier.

En outre, les exploitations de petite taille présentent un nombre d'espèces par unité de surface plus grand que celles de plus grande taille (**Figure 15**). Nous retrouvons ici un résultat

similaire à ceux mis en évidence dans l'Etat du Kerala. Les petites exploitations auront tendance à intensifier et diversifier leurs productions afin de subvenir à leurs besoins alimentaires alors que les plus grandes exploitations présenteront d'autant plus de cultures de rente (Mohan et al., 2007).

De plus, il est possible de voir que ce phénomène n'est pas indépendant du régime alimentaire des agriculteurs et donc de la catégorie sociale à laquelle ils appartiennent. En effet les végétariens (Brahmins) possèdent, en moyenne, des JAF significativement plus grands que les non végétariens (Non Brahmins). Ce dernier point constitue probablement la raison pour laquelle les végétariens ont également des chiffres d'affaires significativement supérieurs. Les résultats de l'ANCOVA, ayant comme variables à expliquer la surface spécifique, comme covariable la surface totale de l'exploitation et en facteur le régime alimentaire, confirment également qu'à surface d'exploitation équivalente les végétariens possèdent un nombre d'espèces significativement supérieur à celui des non végétariens. Ainsi cela signifie que les végétariens (Brahmins) adoptent une gestion plus intensive des plantations avec de plus grandes concentrations d'espèces différentes par unité de surface.

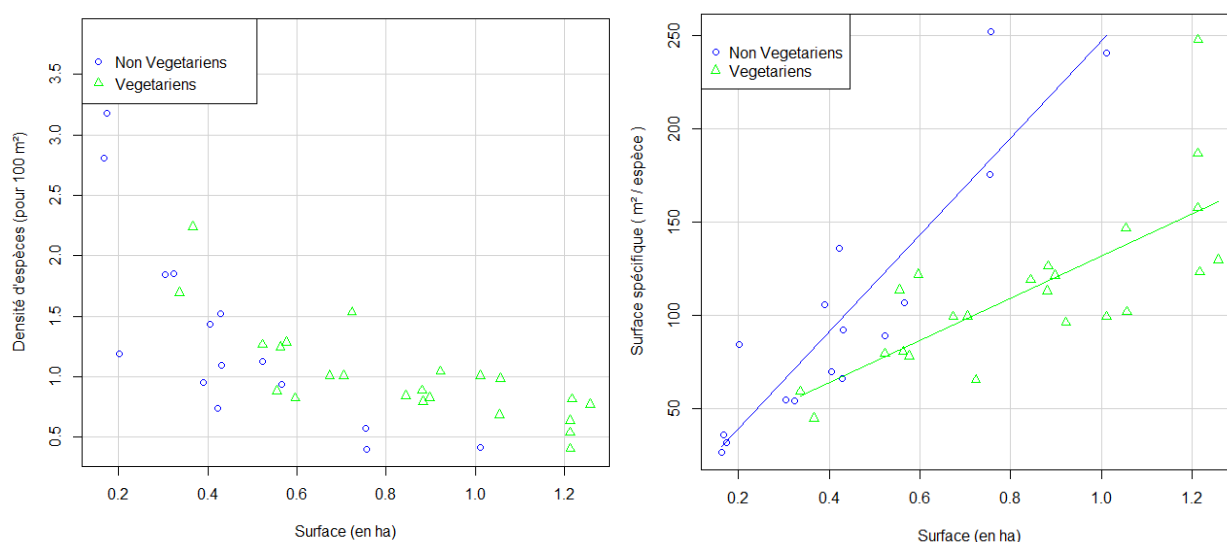


Figure 15 : A gauche est représentée la densité d'espèces pour 100 m<sup>2</sup> en fonction de la surface du JAF et à droite la surface spécifique (m<sup>2</sup>/espèce) en fonction de la surface du JAF. Les triangles verts représentent les agriculteurs végétariens et les ronds bleus les non végétariens.

Il est important de garder en tête que la distribution spatiale des castes dans la zone d'étude est hétérogène. En effet, dans notre échantillon, sur la zone côtière aucun agriculteur n'appartient à la caste des Brahmins (végétariens). Etant donné que la surface des JAF est d'autant plus petite que l'exploitation est proche de la côte, cela constitue notamment l'une des raisons pour laquelle l'analyse a mis en évidence que les Brahmins ont des terres significativement plus grandes. Les raisons à l'origine de cette hétérogénéité de répartition des terres peuvent être très diverses et on peut notamment penser à des raisons d'ordre alimentaire et/ou historiques. On peut notamment faire l'hypothèse que sur la côte les exploitants auront plus tendance à se nourrir des produits de la mer et donc à ne pas être végétariens.

## Conclusion et perspectives

Comme nous avons pu le constater au travers de cette enquête de terrain il existe une forte hétérogénéité des résultats de biodiversité végétale dans la région d'étude. Il a en effet été possible de distinguer les trois zones d'étude en matière de richesse, de diversité et de composition spécifique. Cette hétérogénéité inter-zone est la conséquence de la variation d'un nombre important de facteurs sociaux, économiques et physiques.

C'est ainsi qu'il a pu être mis en évidence que les JAF situés sur la côte présentent une richesse totale et une diversité d'espèces ligneuses significativement moins importante que dans les Ghâts à l'Est des Ghâts. En complément nous avons pu mettre en lumière qu'il y avait également de faibles similarités de composition spécifique avec ces dernières.

Les JAF côtiers sont généralement de plus petite taille et présentent moins de plantations d'aréquiers. Ces deux points vont avoir une conséquence négative sur le chiffre d'affaires annuel de ces exploitations. En opposition aux deux autres zones, nous avons constaté qu'aucun exploitant n'appartenait à la caste des Brahmins et seulement un seul exploitant était végétarien. Ce dernier point, en addition à la surface totale des JAF, semble avoir un effet négatif sur la densité et la richesse spécifique.

Par ailleurs, l'analyse de la gestion de la protection des cultures ainsi que de la fertilisation semble mettre en évidence que l'utilisation des matières de synthèse est plus fréquente sur la zone côtière.

Par opposition à la zone côtière, la zone des Ghâts et de l'Est de Ghâts présentent plus de ressemblances. Ceci se traduit par une similarité de composition spécifique plus élevée qu'avec la zone côtière, des proportions de représentation des castes comparables. Concernant les pratiques de protection des cultures et de fertilisation, les exploitants de ces deux zones utilisent peu de pesticide de synthèse et raisonnent essentiellement leur fertilisation à l'aide d'amendement en matière organique d'origine animale ou végétale (Soppina betta). Bien qu'aucune différence significative n'ait été retrouvée, les JAF à l'Est des Ghâts ont en moyenne des tailles supérieures à celle des Ghâts. Ce dernier point viendrait ainsi expliquer, en partie, que la zone Est des Ghâts présente une richesse spécifique significativement plus importante comparativement à la zone des Ghâts.

Malgré le fait que les données géo-référencées relatives aux types de sols ainsi qu'aux précipitations annuelles nous aient permis de caractériser ces trois zones, il reste néanmoins difficile de déterminer l'impact réel de chacun de ces facteurs physiques ou leurs éventuelles interactions sur la gestion de la biodiversité végétale par les exploitants. Afin de pouvoir déterminer l'effet du sol, des investigations supplémentaires sont nécessaires, notamment en réalisant des analyses de sols sur les exploitations. Etant donnée la limitation dans le temps il est également important de rappeler que cette étude de biodiversité végétale dans les JAF ne traite que des espèces végétales utilisées par les agriculteurs. Cela signifie ainsi que le nombre d'espèces retrouvé ici sous-estime la richesse végétale totale. De plus nous avons vu par l'intermédiaire de la courbe d'accumulation d'espèces en fonction du nombre d'exploitations échantillonnées que la taille de notre échantillon était trop faible pour pouvoir être entièrement représentatif de la zone d'étude. Une autre voie d'amélioration pouvant être énoncée est qu'il aurait été préférable d'accéder à une liste d'exploitations agricoles plus grande issue du

département de l'agriculture du district de l'Uttara Kannada, afin d'éviter tout biais d'échantillonnage.

Cependant avec un total de 319 espèces rencontré dans les JAF de la zone d'étude il est malgré tout possible de constater que ces systèmes de production représentent un fort potentiel de conservation et de protection des espèces végétales dans la chaîne de montagne des Ghâts occidentaux. L'utilisation et la multiplication des espèces dans les JAF semblent être un moyen de conservation actif, capable de fournir une source de revenus et de nourriture aux exploitants. Bien que la richesse et la diversité spécifique dans ces systèmes de production n'égale pas celles retrouvées dans les forêts avoisinantes, elles n'en demeurent pas comparables à des systèmes en monocultures. En ce sens ces milieux anthropisés que représentent les JAF seront également moins hostiles à la faune locale.

En outre nous avons également pu mettre en évidence que la richesse spécifique et la composition spécifique étaient fortement liées à la catégorie sociale à laquelle les exploitants appartenaient (ou à leurs régime alimentaire). Cela suggère qu'il n'existe pas qu'un seul modèle de JAF et que chacun a pour fonction de répondre à l'évolution des attentes et besoins des agriculteurs. Ce dernier point est d'autant plus important à l'heure où l'on assiste à une mutation progressive de systèmes de production à vocation de subsistance alimentaire à des systèmes ayant de plus en plus de cultures de rente. Ainsi une meilleure compréhension de la particularité et de la variabilité de ces systèmes de cultures sera essentielle pour en optimiser leurs durabilités.

## **Remerciements :**

Je tiens à remercier mes maitres de stage Prasanna J. Kolte et Sunita Rao pour leurs conseils ainsi que leur soutien moral tout au long de ces 6 mois de stage. J'exprime ma gratitude à Dr. S. Gunaga, Vanishree Bhat et Amit Hegde ayant aidé pour l'identification des espèces et la traduction auprès des agriculteurs. Je remercie également les agriculteurs pour le temps et les connaissances qu'ils ont bien voulu partager durant les entretiens.

## **Bibliographie :**

Bawa, K.S., Das, A., Krishnaswamy, J., Karanth, K.U., Kumar, N.S., and Rao, M. (2007). Western Ghats and Sri Lanka biodiversity hotspot-Western Ghats region (Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment-Wildlife Conservation Society). [http://www.cepf.net/Documents/final.westernghatssrilanka\\_westernghats.ep.pdf](http://www.cepf.net/Documents/final.westernghatssrilanka_westernghats.ep.pdf).

BLE – CIVAM (2011). La conduite de l'irrigation en maraîchage bio. [http://www.bio-aquitaine.com/component/option,com\\_docman/task,doc\\_download/gid,559/](http://www.bio-aquitaine.com/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,559/).

Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, pp. 59–67. doi:10.1038/nature11148.

Daniels, R., Joshi, N., and Gadgil, M. (1992). On the relationship between bird and woody plant species diversity in the Uttara Kannada district of south India. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 89, pp. 5311–5315. doi:10.1073/pnas.89.12.5311.

FAO (2004). What is agrobiodiversity? (Viale delle Terme di Caracalla - 00100 Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Gadgil, M., Krishnan, B.J., Ganeshaiah, K.N., Vijayan, V.S., Borges, R., Sukumar, R., Noronha, L., Nayak, V.S., Subramaniam, D.K., Varma, R.V., et al. (2011). Report of the Western Ghats Ecology Expert Panel II. <http://www.moef.nic.in/downloads/public-information/wg-23052012.pdf>.

Government of Karnataka (1976). The Karnataka Forest Manual - Privileges open to gardeners in protected forests assigned to them as “Bettas”. [http://karnatakaforest.gov.in/english/Acts\\_Rules/acts/KFD\\_Manual\\_1976.pdf](http://karnatakaforest.gov.in/english/Acts_Rules/acts/KFD_Manual_1976.pdf).

Hassan, A.M. (2008). Étude et prédiction des propriétés de rétention en eau des sols : Prise en compte de la composition et de l'état structural du sol. Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bruand, Université d'Orléans, 265 p. [http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/28/66/22/PDF/These\\_Hassan\\_24-04-2008.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/28/66/22/PDF/These_Hassan_24-04-2008.pdf).

Isaac, S.R., and Nair, M.A. (2006). Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India. *Agrofor. Syst.* 67, pp. 203–213.

Jose, D., and Shanmugaratnam, N. (1993). Traditional Homegardens of Kerala - A sustainable human ecosystem. *Agrofor. Syst.* 24, pp. 203–213.

Kumar, B.M. (2011). Species richness and aboveground carbon stocks in the homegardens of central Kerala, India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140, pp. 430–440.

Magcale-Macandog, D.B., Ranola, F.M., Ranola, R.F., Ani, P.A.B., and Vidal, N.B. (2010). Enhancing the food security of upland farming households through agroforestry in Claveria, Misamis Oriental, Philippines. *Agrofor. Syst.* 79, pp. 327–342.

Marcon, E. (2013). Mesures de la biodiversité (UMR Ecologie des forêts de Guyane). [http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures\\_de\\_la\\_biodiversite.pdf](http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures_de_la_biodiversite.pdf).

Moench, M. (1991). Soil erosion under a successional agroforestry sequence: a case study from Idukki District, Kerala, India. *Agrofor. Syst.* 15, pp. 31–50.

Mohan, S. (2004). An assessment of the Ecological and socioeconomic benefits provided by homegardens: a case study of Kerala, India. Thèse de doctorat, sous la direction de P.K.R. Nair, University of Florida, 133 p. <http://ufdc.ufl.edu/UFE0007640/00001>.

Mohan, S., Alavalapati, J.R.R., and Nair, P.K.R. (2006). Financial analysis of homegardens: A case study from Kerala state, India. In *Tropical Homegardens*, B.M. Kumar, and P.K.R. Nair, eds. Springer Netherlands, pp. 283–296.

- Mohan, S., Nair, P.K.R., and Long, A.J. (2007). An assessment of ecological diversity in homegardens: A case study from Kerala State, India. *J. Sustain. Agric.* 29, pp. 135–153.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., and Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, pp. 853–858.
- Nair, M.A., and Sreedharan, C. (1986). Agroforestry farming systems in the homesteads of Kerala, southern India. *Agrofor. Syst.* 4, pp. 339–363.
- Nayak, S.N.V., Swamy, H.R., Nagaraj, B.C., Rao, U., and Chandrashekara, U.M. (2000). Farmers' attitude towards sustainable management of Soppina Betta forests in Sringeri area of the Western Ghats, South India. *For. Ecol. Manag.* 132, pp. 223–241.
- Nayar, N.M. (2011). Agrobiodiversity in a biodiversity hotspot: Kerala State, India. Its origin and status. *Genet. Resour. Crop Evol.* 58, pp. 55–82.
- Oksanen, J. (2013). Vegan: ecological diversity.  
<http://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>.
- Pelissier, R. (1995). Relation entre l'hétérogénéité spatiale et la dynamique de renouvellement d'une forêt dense humide sempervirente. Thèse de doctorat, sous la direction de J-P. Pascal, Université Claude Bernard - Lyon I, 244 p.  
[http://hal.inria.fr/docs/00/48/89/16/PDF/These\\_Raphael\\_Pelissier.pdf](http://hal.inria.fr/docs/00/48/89/16/PDF/These_Raphael_Pelissier.pdf).
- Peyre, A., Guidal, A., Wiersum, K.F., and Bongers, F. (2006). Dynamics of homegarden structure and function in Kerala, India. *Agrofor. Syst.* 66, pp. 101–115.
- QGIS Development Team (2013). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Development Core Team (2013). R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Ramachandra, T., Aithal, B.H., Kumar, U., and Joshi, N. (2013). Prediction of Shallow Landslide prone regions in Undulating Terrains. *Disaster Adv.* 6, pp. 54–64.
- Ranganathan, J., Daniels, R.J.R., Chandran, M.D.S., Ehrlich, P.R., and Daily, G.C. (2008). Sustaining biodiversity in ancient tropical countryside. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105, pp. 17852–17854.
- Robert, M. (2002). La sequestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations). <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96f.pdf>.
- Saha, S.K., Nair, P.K.R., Nair, V.D., and Kumar, B.M. (2009). Soil carbon stock in relation to plant diversity of homegardens in Kerala, India. *Agrofor. Syst.* 76, pp. 53–65.

Thrupp, L.A. (2000). Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *Int. Aff.* 76, pp. 265–281.

Torquebiau, E.F. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes Rendus Acad. Sci. Ser. Iii-Sci. Vie-Life Sci.* 323, pp. 1009–1017.

Vlkova, M., Polesny, Z., Verner, V., Banout, J., Dvorak, M., Havlik, J., Lojka, B., Ehl, P., and Krausova, J. (2011). Ethnobotanical knowledge and agrobiodiversity in subsistence farming: case study of home gardens in Phong My commune, central Vietnam. *Genet. Resour. Crop Evol.* 58, pp. 629–644.

Walter, J.N. (2006). *Méthode du relevé floristique: introduction* (28 Rue Goethe 67083 Strasbourg Cedex France: Institut de Botanique – Faculté des Sciences de la Vie – Université Louis Pasteur). <http://equinoxe.u-strasbg.fr/sgc/equipe/pdf/releve-01.pdf>.

Zuur, A.F., Ieno, E.N., and Elphick, C.S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol. Evol.* 1, pp. 3–14.

#### Sites internet:

Conservation International (2013). Western Ghats and Sri Lanka.

[http://www.conservation.org/where/priority\\_areas/hotspots/asia-pacific/Western-Ghats-and-Sri-Lanka/Pages/default.aspx](http://www.conservation.org/where/priority_areas/hotspots/asia-pacific/Western-Ghats-and-Sri-Lanka/Pages/default.aspx). Consulté le 17/09/2013

India Biodiversity Portal (2008). India Soils-National Atlas and Thematic Mapping Organisation, Department of Science & Technology. <http://indiabiodiversity.org/map>. Consulté le 20/08/2013.

Newzfirst 2013:

[http://www.newzfirst.com/web/guest/full-story/-/asset\\_publisher/Qd8l/content/koleroga-leaves-areca-farmers-distressed-in-karnataka?redirect=/web/guest/in%20depth](http://www.newzfirst.com/web/guest/full-story/-/asset_publisher/Qd8l/content/koleroga-leaves-areca-farmers-distressed-in-karnataka?redirect=/web/guest/in%20depth). Consulté le 17/09/2013

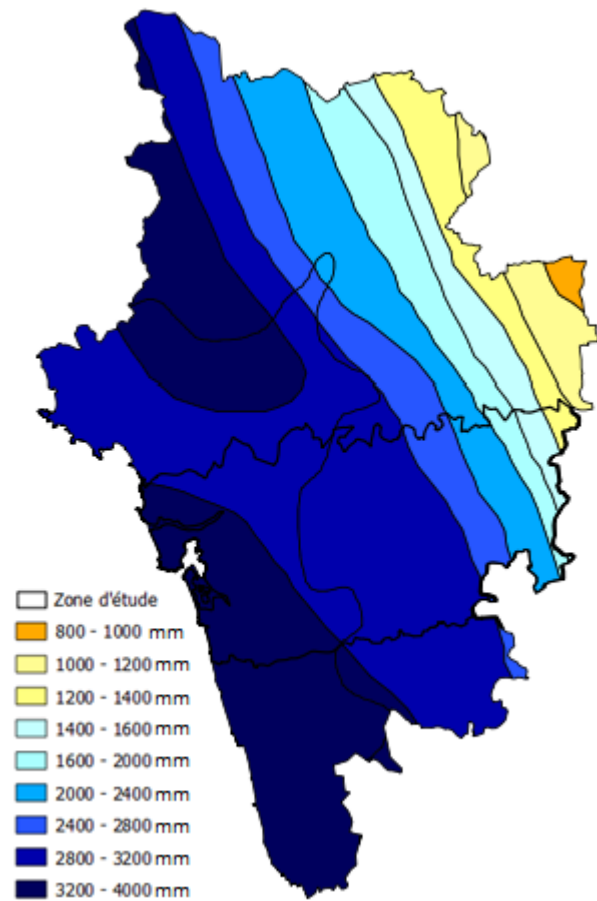
Uttara Kannada district, Karnataka - Agriculture department :

<http://uttarakannada.nic.in/Agriculture.htm>. Consulté le 20/08/2013.

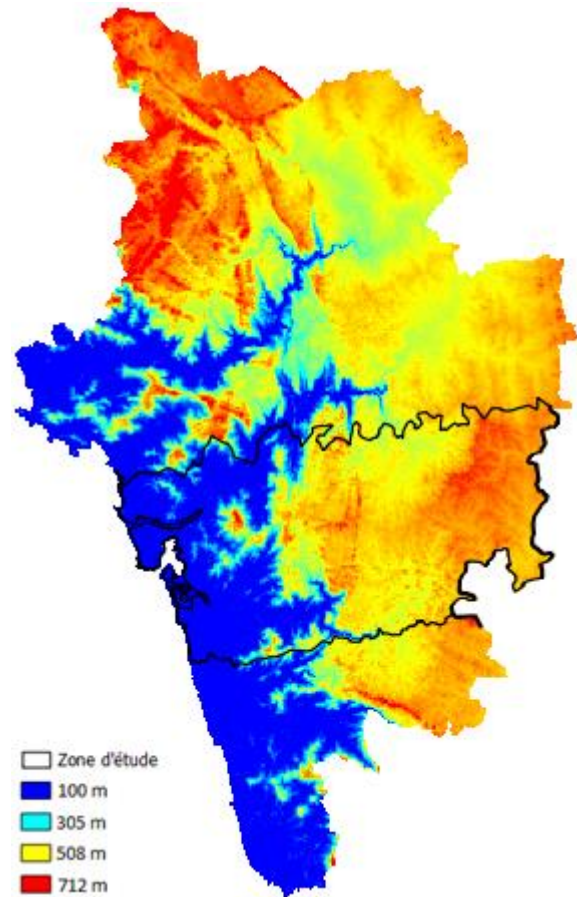
## Annexes :

### Cartes SIG de l'Uttara Kannada au 1/1000000

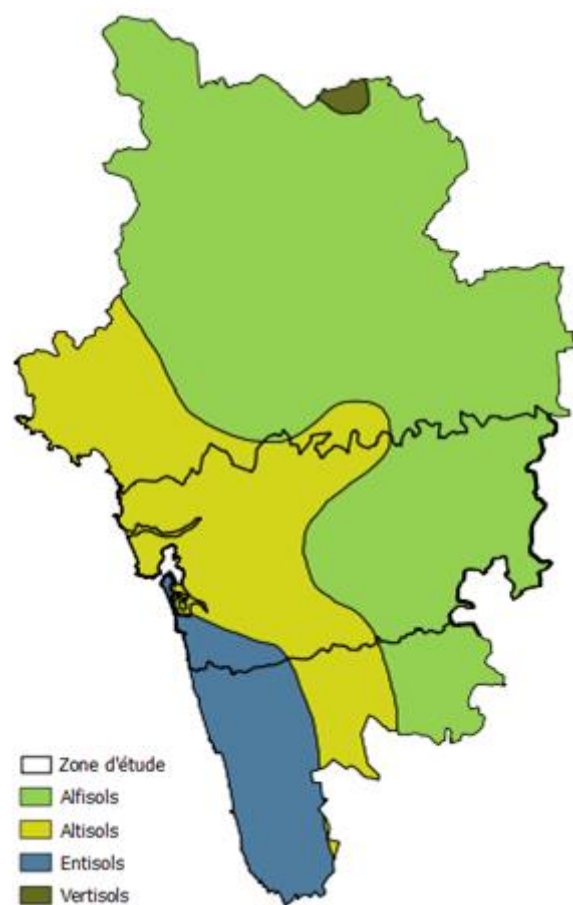
#### Carte des précipitations annuelles :



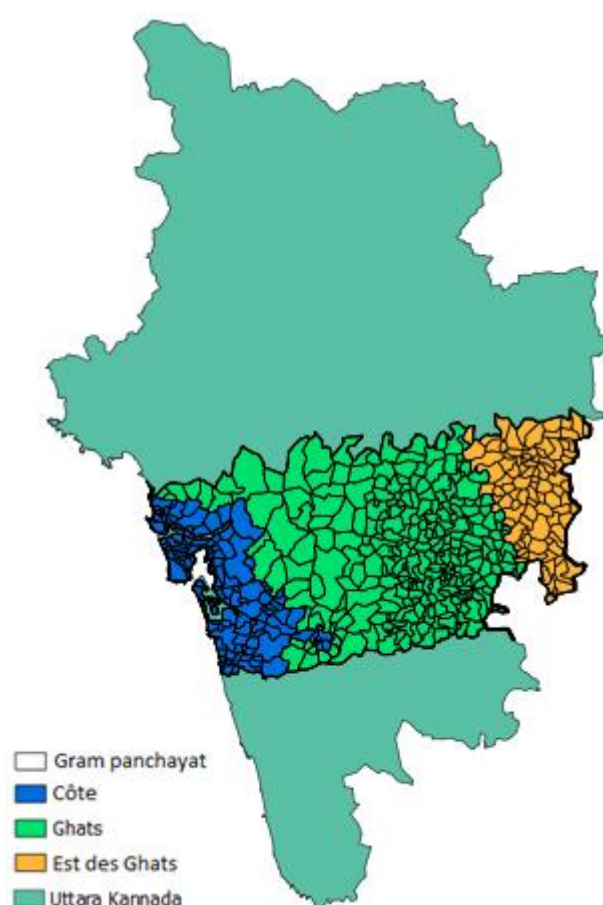
#### Carte topographique :



## Carte des sols



## Division administrative de la zone d'étude



## Liste des Figures

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Carte de la zone classé en tant que point chaud de biodiversité.....                                                                                                  | 2  |
| Figure 2 : Schématisation d'un jardin agroforestier.....                                                                                                                         | 5  |
| Figure 3 : Schématisation de la mise en place d'un jardin agroforestier au Kerala .....                                                                                          | 6  |
| Figure 4 : Richesse spécifique en fonction de la taille des JAF dans trois différents Taluks au Kerala. ....                                                                     | 8  |
| Figure 5 : Carbone organique du sol des JAF selon la profondeur de sol et la richesse spécifique dans le district de Thrissur au Kerala. ....                                    | 9  |
| Figure 6 : Carte de L'inde et de la zone d'étude.....                                                                                                                            | 13 |
| Figure 7 : Carte de la répartition spatiale de l'échantillonnage dans la zone d'étude.....                                                                                       | 15 |
| Figure 8 : Les fonctions principale, secondaire et tertiaire des jardins d'habitations et des plantations d'aréquier.....                                                        | 20 |
| Figure 9 : Boîtes à moustaches du pourcentage d'utilisation de semence fermière selon la zone. ....                                                                              | 22 |
| Figure 10 : Modèles d'accumulation spécifique en fonction du nombre d'exploitations échantillonnées pour différentes unités de production.....                                   | 24 |
| Figure 11 : Résultats de la comparaison de moyennes des richesses spécifiques dans les jardins agroforestiers par zone pour les différentes catégories de plantes .....          | 25 |
| Figure 12 : Résultats de la comparaison de moyennes des richesses spécifiques par zone pour les différentes unités de production et catégories de plantes.....                   | 26 |
| Figure 13 : Résultats de l'analyse de moyenne de l'indice de Shannon pour les différentes unités de production, toutes zones confondues.....                                     | 27 |
| Figure 14 : Résultats de l'ACP avec comme variables : la surface des JAF(Surface), le chiffre d'affaires(CA), la richesse spécifique dans le JAF(Richesse) et la longitude. .... | 29 |
| Figure 15 : Relation ente densité d'espèces ou surface spécifique avec la surface du JAF selon le régime alimentaire des exploitants.....                                        | 30 |

## Liste des Tableaux

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Effectifs et pourcentages de représentation des castes auxquelles appartiennent les agriculteurs selon les trois zones. ....              | 18 |
| Tableau 2 : Pourcentages de similarité de Sorenson pour la richesse spécifique selon les zones d'étude et le régime alimentaire des agriculteurs..... | 28 |

## **Analyse spatiale de la biodiversité végétale dans les jardins agroforestiers de la région des Ghâts occidentaux de l'Etat du Karnataka en Inde.**

**Résumé :** Les Jardins Agroforestiers (JAF) sont des systèmes de cultures tropicaux basés sur l'association d'espèces ligneuses et herbacées, générant des productions variées majoritairement à destination de l'autoconsommation. L'étude qui suit a été réalisée sur 40 JAF, dans le district de l'Uttara Kannada de l'Etat du Karnataka et a pour but de brosser le portrait des JAF au travers d'un gradient agroclimatique dans la chaîne de montagne des Ghâts. Au sein de la zone d'étude, trois sous-unités géographiques (Côte, Ghâts, Est des Ghâts) ont été définies à partir des données de précipitations et d'altitudes. Un total de 319 espèces de plantes a été rencontré dans les JAF dont 303 ont été retrouvées dans les jardins d'habitations et 126 dans les plantations d'aréquiers. La zone côtière se distingue par des JAF de plus petite taille et moins de plantations d'aréquiers que dans les deux autres zones. En parallèle, un gradient de richesse et de diversité spécifique a été mis en évidence depuis la zone côtière jusqu'à la bordure Est de Ghâts. La similarité de composition spécifique, mesurée par l'indice de Sorensen, est plus grande entre la zone Est des Ghâts et celle des Ghâts qu'entre ces dernières et la zone côtière. Outre le fait que les JAF de plus petite taille présentent une densité d'espèces plus importante il semble que, lorsque les exploitants sont végétariens, les densités seront d'autant plus grandes.

**Mots clés :** Jardins Agroforestiers, indices de diversité, agrobiodiversité, Uttara Kannada, Ghâts occidentaux

## **A spatial analysis of plant biodiversity in the forest homegardens across an agro-climatic gradient in the Western Ghats of Karnataka, India**

**Abstract:** Tropical Forest Homegardens (FHG) are crop systems based on the combination of woody and herbaceous species, generating diverse productions mainly for farmer's subsistence. This study was performed on 40 FHG, in Uttara Kannada district in Karnataka and attempted to describe HG through an agro-climatic gradient in the Western Ghats. Within the study area, three geographical subunits (Coast, Ghats, and Edge of the Ghats) were identified from precipitation and altitude data. A total of 319 plant species were encountered in the Forest Homegardens from which 303 were found in the Homegardens and 126 in Areca Orchards. The coastal zone is characterized with smaller FHG and less Areca Orchards than in the two other zones. Besides this, a richness and diversity (Shannon-Weaver) gradient was found from the coast to the edge of the Ghats. The similarity in composition of species, measured by Sorensen index, was greater between the Edge of the Ghats and the Ghats than between these two and the coastal zone. In addition to the fact that the small FHG have higher species density it seems that when the farmers are vegetarians, densities are even larger.

**Keywords:** Homegardens, diversity indices, agrobiodiversity, Uttara Kannada, Western Ghats