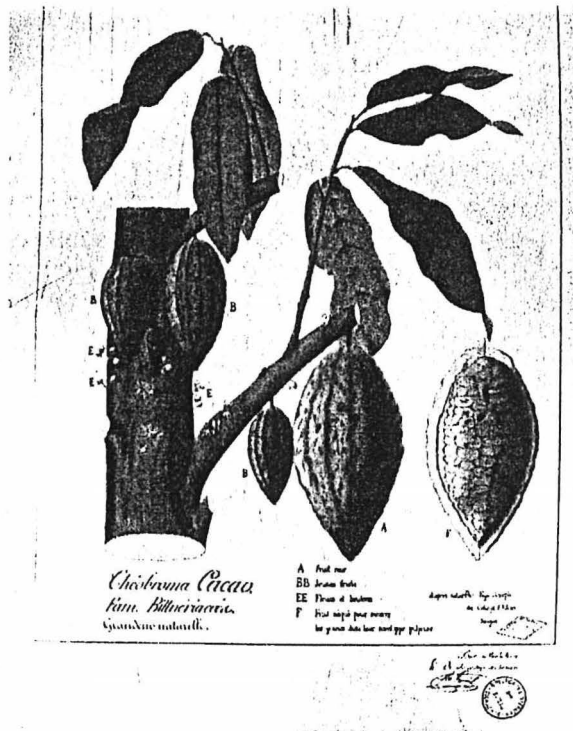



istom
ISTOM
Ecole d'Ingénieur en Agro-Développement International

 32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex
 tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
**Caractérisation du bilan radiatif
à l'intérieur de Systèmes Agroforestiers multistrates complexes,
à base de cacaoyers, au Centre-Cameroun**

Figure N°1 : Theobroma cacao

 Par Ngo Joseph 1875-1880
 Fond documentaire de l'ISTOM

SOUTENU LE 16 juillet 2008


 Nom et Prénom : **GENDRE Pierre**
 Promotion P 94

 Maître de stage : **Franck ENJALRIC**
 Tuteur dans l'organisme : **Patrick JAGORET**

 Société : **CIRAD**

 Stage effectué dans le village de **Kédia**, Région du Mbam et Inoubou, **Cameroun**
 du 01/05/08 au 30/11/08

 Au sein du Département des **Plantes Stimulantes de l'IRAD**






Fiche notice pour la lecture des cartographies d'ambiance :

Toutes les cartographies présentées dans cette étude ont été réalisées d'après les données terrain collectées lors de l'ATP CARESYS en 2007.

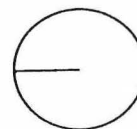
Bananier : ☆

Cacaoyer : ★

Arbre d'ombrage :

- de classe **Faible** : Fruitier :  Forestier : 
- de classe **Faible** : Fruitier :  Forestier : 

Schématisme de la couronne de recouvrement des arbres d'ombrage à partir de la mesure de la plus grande branche :

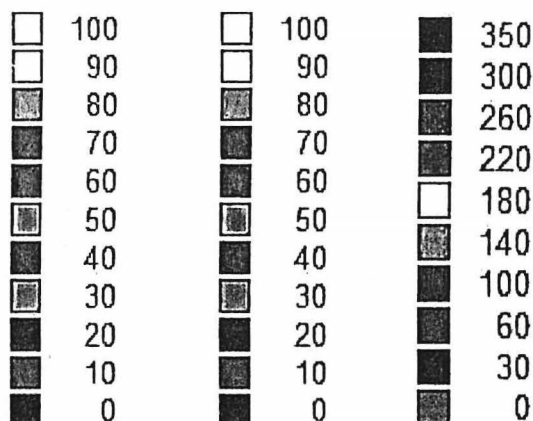


Abréviation des arbres d'ombrage :

av : avocatier ; ba : bananier ; bi : iroko ; by : bangbaye ;
 cg : casmangua ; dj : djansang ; fg : fromager gy : goyavier ; il : iloum
 kd : kitoned kk : kikoum ; md : mandarinier ; mg : manguier ; or : oranger ;
 pa : palmier ; pé : pouët ph : Pachis pk : padouk ; sf : safoutier ;
 tl : tali.

Les différentes échelles utilisées :

Trois types de cartographies sont présentées dans ce mémoire : les cartes de l'ouverture de la canopée (en %), les cartes de la transmission lumineuse directe ou totale, toujours en %, et les cartes du LAI mesuré pour l'estimation du feuillage des cacaoyers.



Ouverture canopée supérieure (%)	Transmission lumineuse directe (en %)	LAI mesuré
----------------------------------	---------------------------------------	------------

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation de ce stage et en premier lieu je tiens donc à remercier chaleureusement mon maître de stage Frank Enjalric sans qui cette expérience n'aurait pas été possible.

Mes remerciements s'adressent également à Patrick Jagoret, mon maître de stage au Cameroun, qui m'a accueilli au sein de son équipe ; sa bonne humeur et son expérience de l'Afrique et des systèmes agroforestiers m'ont été d'un grand secours.

Je souhaite également remercier l'IRAD et l'ensemble des personnes y travaillant. Sans cette coopération IRAD-CIRAD, je n'aurais pu profiter de ce stage en pays tropical.

Merci à MESSIE Charly, jeune ingénieur en Foresterie qui aura été mon binôme et ami pendant toute la période de ce stage. Merci d'avoir partagé les levers de soleil et les piqûres de fourmis avec moi.

Enfin je désire remercier la totalité des personnes rencontrées au sein du village de Kédia.

Sans un accueil aussi chaleureux et convivial, ce stage n'aurait pu se dérouler dans de bonnes conditions. Je tiens à remercier Maman Rosé et l'Américain pour m'avoir ouvert les portes de leur famille.

Un grand merci à Emile pour m'avoir emmené dans les cacaoyères et avoir préparé la réalisation de ce travail de terrain.

Je remercie également tous les planteurs qui m'ont autorisé à travailler dans leurs plantations : Jérémie, Jacques, Victor, Maurice, ainsi que leurs familles respectives qui m'ont toujours réservé un accueil chaleureux lors de mes séjours en brousse.

Résumé

La savanisation croissante et la disparition des galeries forestières, au Cameroun, oblige les cacaoculteurs à installer leurs systèmes agroforestiers (SAF) sur savane. L'Action Thématique Programmée CARESYS (CIRAD) vise la « *CAR*actérisation et l'*E*valuation des performances agro-écologiques de *SYS*tèmes de culture plurispécifiques de la Zone Tropicale Humide ». Une première étude a montré une dynamique de restauration de la fertilité de cacaoyères en savane.

La présente étude s'intéresse au bilan radiatif à l'intérieur des strates végétales composant les SAF : canopée d'ombrage, cacaoyers sur des sous-parcelles homogènes pédologiquement. Après un relevé des essences suivi d'une cartographie de l'ambiance radiative, un classement des cacaoyers en fonction de l'ombrage subi fut établi : (i) *absence d'ombrage supérieur*, (ii) *ombrage supérieur faible* et (iii) *ombrage supérieur fort*. Il apparaît que la répartition et la dominance des arbres, en fonction de leur force d'ombrage évolue à mesure que la canopée devient mature. Sur les cartographies radiatives, le pourcentage d'ouverture de la canopée est de plus en plus faible à mesure que la parcelle vieillit. Plus l'ombrage domine, plus cette canopée limite la photosynthèse des cacaoyers. Le L.A.I. mesuré est plus développé sous des conditions d'ombrage Faible que Fort pour des cacaoyères en production. La méthode de caractérisation lumineuse des SAF multistrates est opérationnelle et reflète la réalité des conditions radiatives et d'ombrage observées. L'expérimentation pourrait être poursuivie en parallèle de mesures agronomiques (développement et production) et/ou de dégâts (ravageurs, microorganismes).

Mots clefs : système agroforestier, bilan radiatif, canopée, cacaoyer, savane

Abstract

The current increasing savanisation and the disappearance of free forest gallery, in Cameroon is forcing cocoa growers to install agroforestry systems (SAF) on savanna. The CARESYS (CIRAD) programme was set up to define the "*Ch*A*R*actérisation and *E*valuation of agro-ecological performances of multi-crop *SYS*tems in Humid Tropical Zones." A preliminary study has shown a positive dynamic in the restoration of soil fertility on Savanna cocoa plantations. This study focuses on radiation balance inside the vegetal strata components of the SAF: canopy shading, cocoa on sub-plots of homogeneous soil. After a listing of species followed by a mapping of the radiation atmosphere, a cocoa tree ranking based on shading was established thus: (i) *lack of shade*, (ii) *low shade* and (iii) *high shade*. It appears that the distribution and dominance of trees, according to their shading strength evolves as the canopy becomes mature above the cocoa trees. On the radiation atmosphere maps, the canopy open percentage becomes weaker as the plot matures. The more the shading dominates the more the canopy limits the photosynthesis of cocoa. The L.A.I. measured is more developed in conditions of low shade than high for cocoa trees under production. The light characterization method of SAF multi-strata is operational and reflects the reality of observed conditions of atmospheric radiation and shading. The experiment could be pursued together with agronomic (development production) and / or damage (pests, microorganisms) measures.

Keywords: agroforestry systems, radiation balance, canopy, cocoa, savanna

Resumen

El savanización creciente y la desaparición del bosque de galería, para instalar la plantación de cacao, en Camerún, obligando a los agricultores instalar sus sistemas agroforestales (SAF) en la sabana. Acción prevista por CARESYS Categoría (CIRAD) se refiere a la "*Car*actérisación y evaluación de rendimiento agro-ecológicas Sistemas multi-cultural de la Zona Tropical Húmeda". Un estudio preliminar ha demostrado un impulso de restaurar la fertilidad del cacao en la sabana. Este estudio se centra en la radiación saldo dentro de los estratos de plantas componentes SAF: dosel sombreado cacao en sub-parcelas homogénea. Después del estudio de las especies, seguida de una cartografía de la atmósfera de radiación, y una clasificación se estableció lo siguiente basada en árboles de cacao sombreados sufrido: (i) la falta de sombra superior, (ii) bajo la sombra superior y (iii) mayor fortaleza de sombra. Parece ser que la distribución y dominio de árboles, dependiendo de su fuerza de sombreado, los cambios como el dosel se convierten en la madurez por encima de los árboles de cacao. En los mapas de radiación, la apertura del dosel se debilita con el tiempo en la medida que la parcela envejece y limita la fotosíntesis de los cacaotier. Le L.A.I. ha calculado que este se desamolla mayor, en condición donde la sombra es debil. El método de caracterización de SAF de varias capas de luz está en funcionamiento y refleja la realidad de las condiciones de radiación y sombreado observado. El experimento podría llevarse a cabo en paralelo con las medidas agronómicas y / o daños.

Palabras clave: sistema agroforestal, equilibrio de radiación, parámetros biofísicos, cacao, sabana

Citation

« Le baobab est un géant désespéré. Il est manchot et tortu. Il tend ses moignons face au ciel, comme pour en appeler au Créateur [...]. On sent qu'il pousserait des cris déchirants s'il avait la parole et qu'il ferait des gestes de détresse si la nature lui avait donné le don du mouvement. Il se plaindrait d'avoir une telle dégaine et des bras comme les cul-de-jatte ont des jambes. »

Albert LONDRES 1929 Terre d'ébène

Sommaire

Remerciements	II
Résumé	III
Sommaire.....	IV
Table des acronymes	VII
Introduction	1
Partie I : Dans le contexte camerounais, une évolution originale devient objet d'étude scientifique	2
1. La place de la cacao-culture au Cameroun.....	2
1.1. Histoire	2
1.2. Géographie du Cameroun et de la zone d'étude	4
2. L'Economie du Cameroun.....	7
2.1. Une économie générale en pleine croissance.....	7
2.2. Place de l'agriculture et des agriculteurs	8
2.3. Le cacao au Cameroun.....	8
2.4. La production cacaoyère au village de Kédia	8
3. Le CIRAD et l'ATP CARESYS	9
3.1. Le CIRAD.....	9
3.2. L'ATP CARESYS à l'étude des systèmes agroforestiers.....	9
3.3. Un cadre international de recherche et de partenariat.....	10
Partie II : Matériels et Méthodes	13
1. De la théorie à la pratique	13
1.1. Objectifs théoriques	14
1.2. Résultats attendus.....	14
1.3. Choix des parcelles et de l'unité d'approche : la sous-parcelle	14
1.4. Démarche d'étude	15
1.5. Les différentes étapes et le déroulement de la mission	15
2. Des objectifs théoriques aux réalisations pratiques de la mission	16
2.1. Hiérarchisation des objectifs de la mission	16
2.2. Lourdeur et priorisations.....	16
2.3. Travail en binôme et équipe scientifique en soutien.....	16
2.4. Alternance de mesures rurales et d'interprétations urbaines.....	17
2.5. Abandon de deux parcelles en début de stage	17
3. Déroulement de la chronologie des étapes de caractérisation d'une parcelle type....	18

3.1.	Préparation des parcelles et localisation cartographiques des arbres	18
3.2.	Mesures de l'ouverture de la canopée : les Photographies Hémisphériques ...	20
3.3.	Le traitement informatique, la spatialisation cartographique le traitement statistique et l'interprétation finale des résultats.....	22
	Partie III : Résultats & Discussion.....	25
1.	Hétérogénéité des SAF et classement des arbres d'ombrage.....	25
1.1.	Hétérogénéité connue.....	25
1.2.	Hétérogénéité constatée.....	27
1.3.	Classification des arbres d'ombrage et des cacaoyers dominés.....	33
1.4.	Analyse statistique : Analyse en composantes principale.....	36
1.5.	Résumé des observations et résultats de l'hétérogénéité des SAF et du classement des arbres d'ombrage	41
2.	Evolution et disponibilité de la lumière à travers les stades d'un SAF en structuration	42
2.1.	Evolution de la lumière et chronoséquence.....	42
2.2.	Evolution « explosive » de la lumière avec l'ouverture de la canopée.....	44
2.3.	Evolution de la lumière pour les deux classes d'ombrage	48
2.4.	Résumé des observations et résultats relatifs à l'évolution de la lumière	52
3.	Croissance des cacaoyers et canopée hétérogène	53
3.1.	Limite de potentialité de croissance des cacaoyers en fonction de la maturité et de la couverture des arbres d'ombrage	54
3.2.	Evolution comparée du feuillage des cacaoyers et de l'ouverture de canopée	56
3.3.	Evolution comparée du feuillage des cacaoyers et de l'ouverture de canopée : stade par stade de chronoséquence	57
3.4.	Accentuation du rôle limitant de la canopée à mesure de sa maturité.....	58
3.5.	Analyse statistique des indicateurs biophysiques mis en place.....	59
3.6.	Résumé des observations et résultats relatifs à la croissance hétérogène des cacaoyers sous une canopée elle même hétérogène	62
4.	Canopée hétérogène et distribution spatiale de la pression parasitaire.....	63
4.1.	Une hypothèse de départ : la relation entre présence de mirides et lumière ..	63
4.2.	Ouverture de canopée et modélisation spatiale des mirides	64
4.3.	Chronologie des dégâts de mirides	65
4.4.	Résumé des observations et résultats relatifs à la canopée hétérogène et la distribution spatiale des mirides	68
5.	Confrontation entre la recherche proposée et les objectifs du développement dans le contexte agricole du Cameroun.....	69
5.1.	Un contexte mondial agricole à la limite de l'explosion	69

5.2. Une obligation d'envisager des réponses à moyen et long terme.....	70
5.3. Le cas de la cacao-culture au Cameroun	71
5.4. La durabilité : une réponse coutumière au contexte mondial.....	72
5.5. Une recherche axée sur des objectifs de production monospécifiques	73
5.6. L'ATP CARESYS : une recherche innovante à l'écoute des SAF	74
5.7. Des résultats et des recommandations en opposition avec la gestion durable du planteur :	74
Conclusion	77
Bibliographie	IX
Table des illustrations	XI
Annexe N°1 : Résultats bruts après traitement des PH seuillées par le logiciel GLA :	XIII

Table des acronymes

- AFP** : Agence France Presse
ATP : Action Thématique Programmée
BAD : Banque Asiatique de Développement
BM : Banque Mondiale
CARBAP : Centre Africain de Recherche sur les BANaniers et Plantains
CARESYS : CARactérisation et Evaluation des performances agro-écologiques de SYSTèmes de culture plurispécifiques en zone tropicale humide
COFACE : Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CNEARC : Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes
Cnpy : ouverture de la canopée
Delta : strate propre aux cacaoyers
Diff : transmission diffuse
Dir : transmission directe
Down : strate cumulée des cacaoyers et des arbres d'ombrage
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIT : Front Inter-Tropical
FSP : Fonds de Solidarité Prioritaire
HCR : Haut-Commissariat des Nations Unies pour les Réfugiés
ha : hectare
hab. / km² : habitants au kilomètre carré
IDE : Investissement Direct Etranger
IDH : Indice de Développement Humain
ISTOM : Ecole d'ingénieur en Agro-Développement international
IRAD : Institut de Recherche Agronomique pour le Développement
JPEG : Joint Photographic Experts Group
LAI : Leaf Area Index : Indice de développement foliaire
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMC : Organisation Mondiale du Commerce
ONCC : Office National du Café et du Cacao (Cameroun)
ONU : Organisation des Nations Unies
PH : Photographie Hémisphérique
PIB : Produit Intérieur Brut
PPTE : Pays Pauvres Très Endetté
SdC : Système de Culture
SDN : Société des Nations
SIG : Système d'Information Géographique
SODECAO : Société de Développement du Cacao (Cameroun)
Up : strate supérieure des arbres d'ombrage
VARTC : « Vanuatu Agricultural Research and Technical Center », centre de recherche agronomique et technique du Vanuatu
ZTH : Zone Tropicale Humide

Introduction

Lorsqu'en 1472, les premiers colons portugais jetèrent l'ancre dans l'estuaire du Golfe de Guinée, ils furent marqués par l'abondance des crustacés qu'ils y découvrirent. Ils baptisèrent cette zone le Rio dos Camaroes : « *la rivière des crevettes* ». Depuis ce jour, le Cameroun a toujours présenté un intérêt pour les pays européens. L'association de terres riches avec un climat équatorial confère à ce petit pays une potentialité de production agricole de bonne qualité en comparaison avec ses voisins africains. Ce furent les colons allemands qui installèrent les premières plantations de cacaoyers autour du mont Cameroun, auxquels ont succédé après la Première Guerre Mondiale les anglais et les français.

Actuellement, le Cameroun se place en quatrième position sur les 53 pays de l'Afrique en termes de développement économique (Hors Série Jeune Afrique N°18, 2008). Malgré une bonne croissance économique (3% sur les 5 dernières années) et de bons résultats nationaux dans un contexte de flambée des prix des hydrocarbures et de stabilité politique, le Cameroun est toujours un pays de campagne. Avec plus d'1,1 millions d'exploitations agricoles et 45% de sa population rurale, l'agriculture fait vivre 60% de la population. $\frac{3}{4}$ des exploitations pratiquent la cacaoculture recouvrant un verger total de plus de 400 000 ha.

L'augmentation de la population et la pression foncière qui s'opère sur les terres encore disponibles présentant les meilleures potentialités agricoles : les galeries forestières et espaces forestiers vierges, obligent les planteurs du Centre Cameroun à installer leurs Systèmes Agroforestiers (SAF) sur savane. Cette nouvelle dynamique présente des potentialités encore peu explorées, comme la restauration positive de la fertilité de sols de savane, pauvres et dégradés (Glatard, 2006) et permet une capitalisation foncière pour ces planteurs.

Dans un contexte de surenchérissement des denrées alimentaires et de pénurie alimentaire mondiale des Pays du Sud, l'Action Thématique Programmée CARESYS (ATP CARESYS) se propose d'étudier et d'analyser ces SAF plurispécifiques complexes en Zone Tropicale Humide (ZTH) Ils présentent une durabilité intéressante en terme de fertilité des sols, tout en proposant une bonne résilience vis-à-vis des aléas climatiques et économiques, et bénéficient d'une forte acceptation sociale (IZAC, 2003 cité par Enjalric, 2005).

Ce stage a été réalisé pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Agro-développement de l'ISTOM. Ce mémoire est le fruit de 6 mois de mission au Centre Cameroun (du mois de mai 2008 au mois d'octobre 2008) dans le village de Kédia.

Il traite de l'étude du bilan radiatif des SAF à base de cacaoyers et de l'organisation spatiale et structurelle des espèces ligneuses composant la canopée au regard de facteurs biophysiques : la production foliaire et la pression parasitaire, endémique en savane.

Après une présentation du contexte de la cacaoculture au Cameroun, nous étudierons le dispositif d'étude à travers la caractérisation radiative d'une parcelle type.

Puis nous présenterons les résultats obtenus : nous analyserons quelques déterminants de la complexité des SAF et du développement hétérogène des strates végétales. Puis nous aborderons l'interception de la lumière par la canopée ainsi que l'aspect limitant des arbres d'ombrage sur la production de feuillage des cacaoyers suivie d'une étude de la pression parasitaire au regard de l'ambiance radiative d'une parcelle infestée de mirides.

Enfin, nous confronterons le contexte mondial actuel, les objectifs de la Recherche Scientifique et ceux du Développement spécifique au Centre Cameroun.

LA Devise nationale du Cameroun : Paix, Travail, Patrie

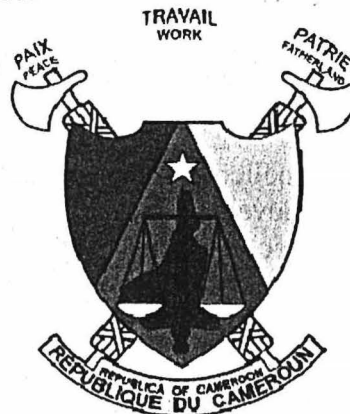
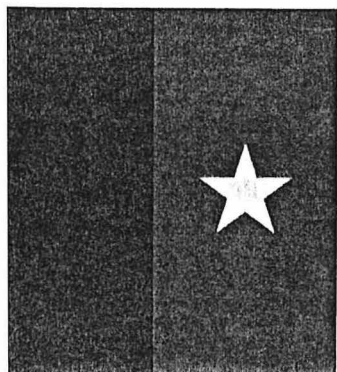
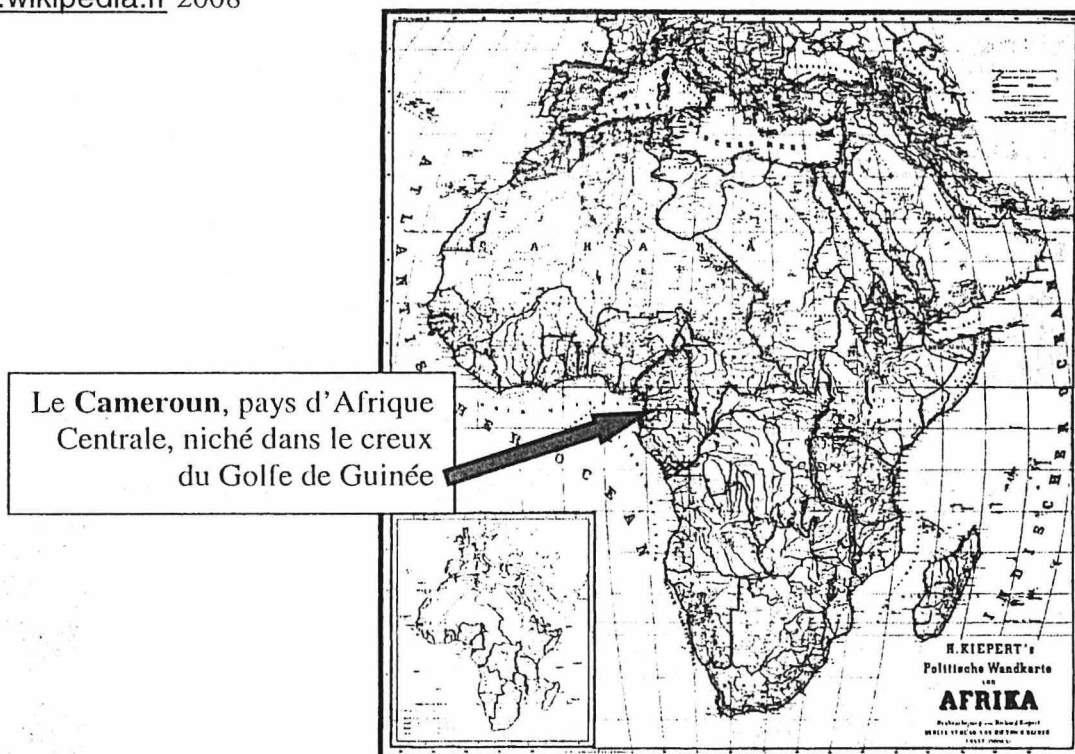


Figure N°3 : Devise, Drapeau et Blason du Cameroun

www.wikipédia.fr 2008



Le Cameroun, pays d'Afrique Centrale, niché dans le creux du Golfe de Guinée

Figure N°4 : Localisation du Cameroun en Afrique

H. Kiepert's politische Wandkarte von Afrika
par Richard Kiepert, 1902

L'Atlas des Atlas

PARTIE I

*Dans le contexte camerounais,
une évolution originale devient objet d'étude
scientifique*



Figure n°2 : Planche botanique : Theobroma cacao
Flora de Filipinas, Gran Edicion (1880-1883)
Francisco Manuel Blanco

Partie I : Dans le contexte camerounais, une évolution originale devient objet d'étude scientifique

1. La place de la cacaoculture au Cameroun

1.1. Histoire

1.1.1. Le Cameroun

Le nom Cameroun date de la période d'exploration maritime par les navigateurs européens lancés à la découverte du monde et des côtes et territoires d'Afrique.

Les navigateurs portugais, en 1472, lorsqu'ils arrivèrent dans le golfe de Guinée (Figure N°4) baptisèrent cette zone géographique le Rio dos Camaroes : « la rivière des crevettes ». L'association de terres riches avec un climat équatorial a toujours conféré à ce petit pays d'Afrique équatoriale une potentialité de production agricole de bonne qualité en comparaison avec d'autres pays d'Afrique de l'Ouest.

Comme de nombreux pays d'Afrique, le Cameroun vit se succéder plusieurs colonisateurs arrivés d'Europe. A la suite du Portugal, il subit une gouvernance hollandaise, puis anglaise, allemande et pour finir française. A la sortie de la Première Guerre Mondiale, l'Allemagne vaincue, la France et l'Empire Britannique se partagèrent, sous l'égide de la Société des Nations (SDN), la domination coloniale et le droit d'exploiter les richesses naturelles du pays.

Le pays devient indépendant en 1960 et 1961 (pour les parties respectivement sous contrôle français et britannique) et obtient sa reconnaissance internationale. Dix ans plus tard, il cède sa structure fédérale pour devenir la République Unie du Cameroun, sous la gouvernance du président Ahmadou Ahidjo. Le 4 novembre 1982, ce même président transmet le pouvoir présidentiel à Paul Biya, encore en fonction de nos jours. Dans un contexte de grande diversité ethnique et culturelle, le pays a réussi depuis, sa transition unitaire nationale. Il s'appelle désormais la République du Cameroun et s'est caractérisé par une période de stabilité politique et d'unité nationale.

Depuis le début de l'année 2008, l'inflation et la cherté de la vie quotidienne ont déclenchés des heurts entre les populations jeunes les plus pauvres et les forces de l'ordre camerounaises, au moment de l'embrasement mondial des « émeutes de la faim ». De grandes villes camerounaises telles que Yaoundé, Douala, Bafoussam... ont été traversées par des milliers de jeunes émeutiers en colère. Selon l'AFP, les dégâts matériels se chiffrent en dizaine de milliards de Francs CFA (plusieurs millions d'euros).

1.1.2. Historique de la cacaoculture au Cameroun

L'histoire de la cacaoculture au Cameroun commença avec les pays européens, grands consommateurs de cacao, breuvage aux propriétés tant appréciées. Jusqu'alors, les fèves de cacao étaient produites et rapportées de leur bassin d'origine : l'Amérique du Sud. Les premières exportations vers l'Europe remontent à 1585. Les plantations de cacaoyers se multipliaient au XVII^{ème} siècle dans le Nouveau Monde et c'est à partir des îles de Fernando Pôo (actuel Malabo), Sao Tomé et Príncipe, que le cacaoyer fut introduit en Afrique. Il parviendra au Cameroun en 1892 avec les Allemands (Nya Ngatchou, 1981 ; Wood, 1991 ; cités par Nkeng, 2002).

La période coloniale

Les colons allemands développèrent à partir de 1884 la production cacaoyère selon le principe d'une économie coloniale de rente, en créant de grandes plantations industrielles autour du Mont Cameroun. A la sortie de la Première Guerre Mondiale, le Cameroun occidental fut placé sous mandat français par la SDN qui passa à une gestion de sa colonie selon une économie minière. La France choisit de poursuivre la cacaoculture introduite par les allemands comme une production d'exportation. Mais face à l'installation peu fructueuse de grande plantation par la précédente administration allemande, l'administration française trouve plus rentable d'acheter les fèves de cacao directement aux petits planteurs plutôt que de les produire elle-même. (MASSEIN, 2000). Dès 1920, la culture du cacao fut alors diffusée des plaines côtières de l'Ouest vers les plateaux forestiers du Sud et du Centre (CHAMPAUD, 1973).

La période de développement de la cacaoculture

Le décollage de la production cacaoyère au Cameroun s'initia au début du XXème siècle. De 1920 à 1970, la cacaoculture fut croissance : de 5 000 tonnes de fèves produites en 1926, elle est passée à 10 000 t en 1930, 31 000 t en 1938, 40 000 t en 1945, 50 000 t en 1950, 63 000 t en 1960 pour se stabiliser à 120 000 t en 1970. A partir de 1970, une évolution en dent de scié marqua la cacaoculture et ce jusqu'à nos jours en comparaison avec les autres pays africain de la zone de production cacaoyère.

La création d'un organisme d'Etat pour soutenir la production nationale de cacao : la Société de Développement du Cacao (SODECAO), en 1972, a permis l'accès généralisé aux intrants, aux conseils techniques et à du matériel végétal sélectionné. Cela a été rendu possible par le développement du secteur pétrolier au Cameroun et aux devises générées dans les caisses de l'Etat.

Le désengagement de l'Etat

A partir de 1985, la chute du prix des produits bruts (effondrement de plus de 44% du prix du cacao payé) entraîna le désengagement de l'Etat dans la filière cacaoyère et la chute incontrôlée du prix du cacao. Au début des années 1990 la libéralisation de la filière, jusque là régulée et subventionnée par l'Etat, entraîna une baisse de la production mais également de la qualité des fèves collectées.

La multiplication des intermédiaires du circuit de commercialisation diminua les prix payés aux planteurs, qui, à certaines périodes charnières de l'année sont vulnérables économiquement, spécialement au moment de la rentrée scolaire (besoin d'argent pour les fournitures et inscriptions scolaires). Ces périodes « de soudure », les obligent à vendre leurs fèves encore imparfaitement séchées à des prix inférieurs aux cours du marché camerounais.

La mauvaise distribution des traitements phytosanitaires, leurs coûts en pleine explosion (fin des subventions de l'Etat, retard, désorganisation, et surtout insuffisance dans la fourniture et l'approvisionnement aux petits planteurs) se sont répercutés directement sur l'état sanitaire des plantations. Deux fléaux notamment, les mirides du cacaoyer (*Sahlbergella singularis* et *distantiella theobroma*) et la pourriture brune (*Phytophthora megakarya* et *palmivora*) déciment les cacaoyères de l'Afrique de l'Ouest en l'absence de traitements et réduisent considérablement le nombre de cabosses arrivées à maturité et commercialisables. Cela est dû à des traitements insuffisants et à l'abandon des récoltes sanitaires du fait du ratio inintéressant temps de travail investi / prix obtenu des fèves de cacao.

Climat

Domaine des climats tropicaux

- Climat tropical arido-aridant-nahélien
- Climat tropical soudanien de cuvette
- Climat tropical humide d'altitude

Domaine des climats subtropicals et équatoriaux

- Climat subtropical de cuvette libérée
- Climat subtropical à nuance continentale
- Climat subtropical guinéen
- Climat équatorial de mousson à faibles montagnards
- Climat de mousson à paroxysmes pluviaux d'été
- Isohyètes

- Position du FIT en décembre-Janvier
- Position du FIT en juillet

6^{ème} parallèle limite climatique de production cacaoyère

Zone d'étude :

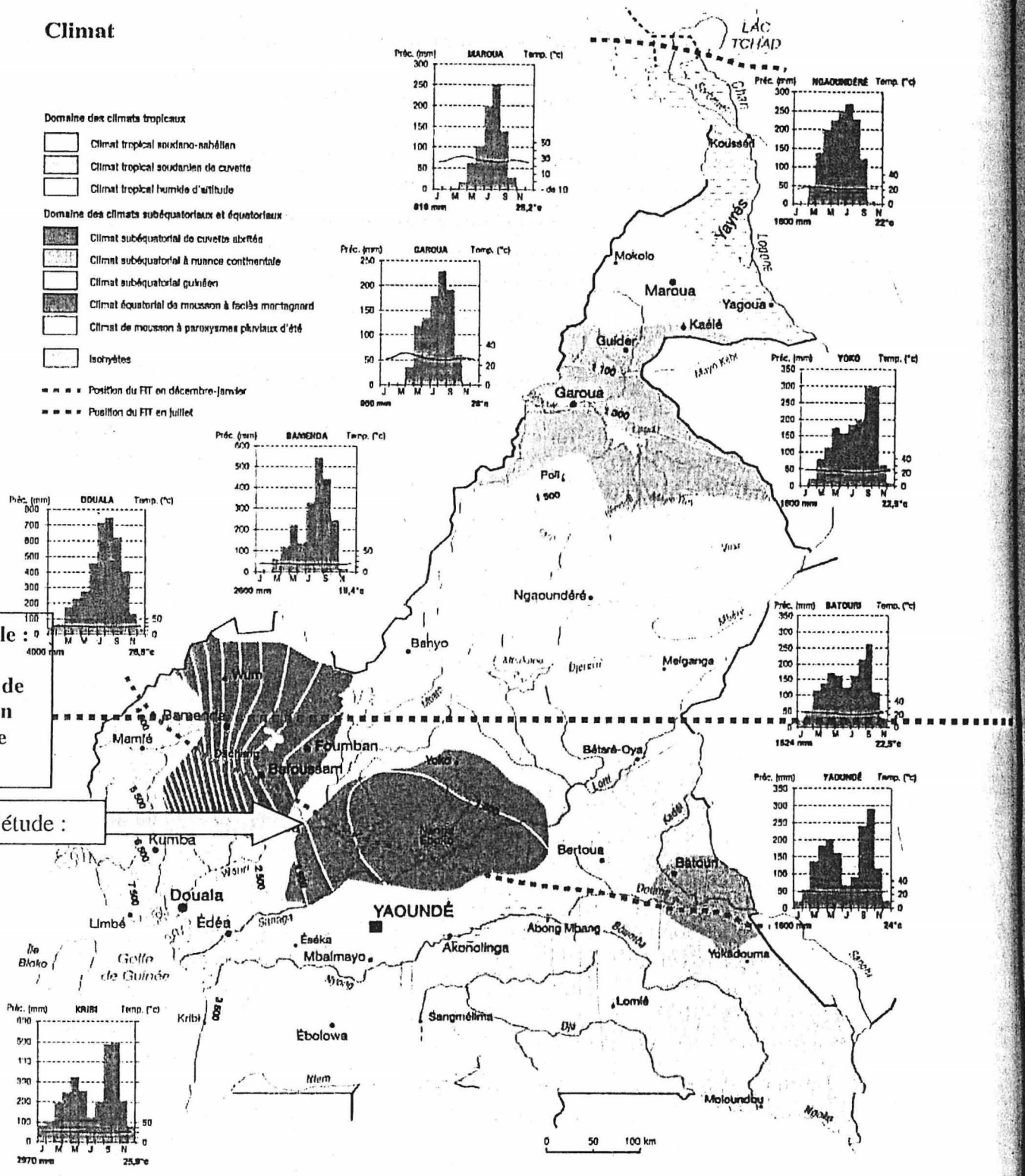


Figure N°5 : Carte du Cameroun, localisation de la zone d'étude au Cameroun et de la limite de production climatique du cacaoyère au Cameroun

Atlas du Cameroun (Tchawa, 2006)

Les conditions pédoclimatiques définissant la ZTH présentent de bonnes dispositions et conditions climatiques pour la production cacaoyère au Sud du 6^{ème} parallèle, ce qui représente 45% de la surface du pays.

Les trop faibles prix mondiaux du cacao n'incitent plus les planteurs à entretenir en replantant et régénérant leurs plantations vieillissantes. Ils préfèrent les abandonner et diversifier leurs cultures à l'aide d'espèces pérennes fruitières telles que les agrumes, les palmiers ou autres. Cela a entraîné une perte de compétitivité du cacao camerounais et de crédibilité auprès des acheteurs internationaux. Le prix « bords champs », payé aux planteurs, s'en est retrouvé d'autant diminué ce qui a accentué le phénomène de dépréciation du prix des fèves de cacao.

Actuellement, le Cameroun se lance dans un programme ambitieux d'augmentation de sa production cacaoyère. Le Directeur Général de la SODECAO, Jérôme Mvondo, souhaite améliorer et augmenter la production nationale pour l'amener à 200 000 tonnes d'ici 2015. (Reuters, 2007)

Pour cela, il préconise plusieurs priorités et axes de développement :

- arrêt de méthodes de production encore archaïques,
- meilleure distribution et vulgarisation dans l'utilisation des traitements phytosanitaires,
- régénération des plantations trop vieilles ou abandonnées,
- introduction de plusieurs millions de plants de cacaoyers de variétés à haut rendement et résistants aux maladies,
- développement de la capacité de transformation locale des fèves de cacao au Cameroun.

1.2. Géographie du Cameroun et de la zone d'étude

1.2.1. Population

La population camerounaise compte 16 610 000 citoyens, répartis en plus de 200 ethnies parlant 220 dialectes, en plus des deux langues officielles que sont le français et l'anglais. Les religions pratiquées sont le christianisme (40%), l'Islam (20%), le reste de la population pratiquant des religions traditionnelles et/ou animistes associées et imprégnées de christianisme et de religion musulmane. Avec une densité moyenne de 35 hab. /km² et une population répartie sur l'ensemble de son territoire, le Cameroun est un pays de campagne qui a pour spécificité face à ses homologues d'Afrique de l'Ouest de présenter une bicéphalie avec ses deux capitales :

- **Yaoundé**, capitale administrative qui regroupe la totalité des administrations nationales et internationales du pays,
- **Douala**, ville portuaire, de rayonnement régional en Afrique de l'Ouest est la capitale et le poumon économique de ce petit pays.

1.2.2. Situation géographique et climatique

Le pays est divisé en deux parties par la dorsale camerounaise qui culmine avec le Mont Cameroun pour sa partie océanique à 4095m. Le trait dominant de son relief, est le massif de l'Adamaoua, un arc montagneux, qui sépare le Nord et le Sud du pays. Véritable château d'eaux de l'Afrique avec ses riches terres arables, il sépare le Cameroun entre la région du Nord, caractérisée par des savanes et un désert semi-aride, et au Sud-ouest, des forêts équatoriales et une plaine côtière (TCHAWA, 2007).

Par son positionnement dans le creux du Golfe de Guinée, entre 1°38 et 13°05 de latitude Nord et entre 8°33 et 16°16 de longitude Est, le Cameroun subit les variations de pression caractérisant la Mousson de l'Afrique occidentale et de l'Afrique centrale. Deux principales masses d'air, l'alizé du Nord-est, encore appelé Harmattan, et l'alizé du Sud-ouest, qui, en traversant l'équateur géographique, adopte une direction Sud-ouest/Nord-est, entrent en contact le long d'une surface de discontinuité instable appelée le Front Intertropical (FIT). L'évolution de ce dernier est généralement entravée par les hautes terres du Cameroun central.

C'est un des critères expliquant la diversité climatique que l'on trouve de part et d'autres du Cameroun. Quasiment la totalité de représentation des climats Ouest africains et des variétés végétales qui lui sont propres y sont présentes sur son territoire. (TCHAWA, 2007). Ces caractéristiques présentent le Cameroun comme un condensé d'Afrique Tropicale. On peut y

BASSIN DE PRODUCTION	NOMBRE D'EXPLOITATIONS	PROPORTION CULTIVANT LE CACAO (EN %)	SUPERFICIE DU VERGER (EN HA)
Centre	162 000	76	110 808
Sud-ouest	73 500	50	102 900
Sud	55 000	82	76 670

Tableau N°1 : Estimation de l'importance relative des principaux bassins de production de cacao au Cameroun d'après ANONYME, 1999 (cité par Glatard, 2006)

retrouver la totalité des disponibilités de la Zone Tropicale : l'océan et ses plaines côtières de Kribi, les plaines verdoyantes de la Lékié, les plaines de savanes du Mbam, les montagnes de l'Adamaoua, le désert de Garoua, les collines verdoyantes de Yaoundé et la forêt tropicale primaire encore existante à l'EST.

1.2.3. Géographie du cacaoyer et conditions globales du Cameroun

Exigence climatique du cacaoyer

Le cacaoyer est une plante exigeante en termes de climat. Une atmosphère chaude et humide est indispensable au cacaoyer. Sa culture nécessite une température relativement élevée avec une moyenne annuelle située entre 30-32° C au maximum et 18-21° C au minimum. Le minimum absolu est de 10° C ; la moyenne des minima quotidien doit être supérieure à 15° C.

La pluviométrie est le facteur affectant le plus la variabilité interannuelle des rendements. L'optimum de pluviométrie se situe entre 1500 et 2000mm par an. Les pluies doivent être abondantes et surtout bien réparties tout au long de l'année sans qu'il y ait plus de 3 mois de saison sèche avec 100mm de pluie par mois.

Le sol intervient par ses caractéristiques physiques et chimiques, en étroite liaison avec les conditions du climat. Le cacaoyer peut se développer sur des sols de types très variés mais, à conditions climatiques équivalentes, il est évident que les sols les plus profonds et les plus riches se révèlent très nettement plus favorables au développement et à la production de l'arbre. (MAISONNEUVE ET LAROSE, 1990).

1.2.4. Localisation de la cacaoculture et prédispositions naturelles du Cameroun

Le Cameroun, par sa localisation géographique (1°38 et 13°05 de latitude Nord et entre 8°33 et 16°16 de longitude Est), et les conditions climatiques définissant la ZTH, présente de bonne disposition et conditions climatiques pour la production cacaoyère au Sud du 6^{ème} parallèle. Ainsi, 45% de la surface du pays pourrait convenir à la culture du cacaoyer.

Le verger cacaoyer camerounais s'étend sur environ 400 000 ha, avec un rendement moyen de 500 kg/ha. Il concerne ¾ des petites exploitations du Centre Cameroun et représente 48 % du revenu total des ménages (HIETET cité par TODEM, 2005). Ce sont de petites exploitations agricoles de 1,5 à 3 ha, gérées de manière extensive en raison de la dépréciation du cours des fèves de cacao et du désengagement de l'Etat ces dernières décennies.

Actuellement, la production cacaoyère se fait majoritairement dans deux bassins de production : le Centre-sud et le Sud-ouest qui se partagent à eux deux plus de la moitié de la production camerounaise comme en témoigne le *Tableau N°1*.

Selon F. Glatard, 2006, les exploitations agricoles de la région Centre pratiquent une cacaoculture qui montre des dynamiques spécifiques d'un département à l'autre.

La Lékié est le foyer de production le plus ancien (OWONA & DJUIDJEU, 2000). La forte densité de population (111 hab. /km²) explique la saturation du foncier. La superficie moyenne des plantations est petite et la main d'œuvre dominante est familiale. En revanche la cacaoculture est plus récente dans le Mbam et Kim. Il s'agit typiquement d'une zone de front pionnier où de nombreux migrants partagent le « *vertige de l'or brun* » (RUF, 1995). La densité de population est très faible (3 hab. /km²). Les plantations sont généralement de grande taille et les salariés constituent la main d'œuvre dominante. Enfin, le département du Mbam et Inoubou correspond à une dynamique intermédiaire. La densité de population avoisine les 30 hab. /km². La superficie moyenne des plantations est modérée et la main d'œuvre familiale prédomine. Ce département, à la frontière entre savane et forêt, présente une dynamique de cacaoculture sur savane.

Le réseau de parcelles choisi par l'ATP CARESYS concerne le département du Mbam et Inoubou (au nord-ouest de Yaoundé) caractérisé par sa dynamique de plantation en savane. Les

recommandations des chercheurs ayant travaillé pour le FSP ont conduit à choisir l'arrondissement de Bokito, et en particulier le village de Kédia.

La région du centre et le département du Mbam et Inoubou

Dans la province du Centre-Cameroun la majorité des zones de production de cacao est couverte d'une végétation forestière dense à très dense (66 %), à l'exception des départements du Mbam et Kim et du Mbam et Inoubou recouverts par la savane arborée (Leplaideur, 1985).

Dans la région du Mbam et Inoubou, la cacaoculture demeure la principale activité agricole et s'étend sur près de 110 800 hectares selon une étude du CIRAD, (programme SILVIT (1990) citée par Abanda et al. (1999)). La province du Centre-Cameroun était le principal bassin de production de cacao et contribuait jusqu'à 50 % de la production totale (Champaud, 1966). Cette contribution régresse et en 1990 elle ne représentait plus que 43 % (CIRAD, programme SILVIT, 1990 cité par Abanda et al. 1999).

Dix ans après cette étude il est à craindre que le verger cacaoyer du Centre Cameroun ait encore diminué du fait de l'abandon de cette culture ou de la substitution par d'autres cultures économiquement mieux rémunérées telles que les agrumes, ou d'autres espèces fruitières.

1.2.5. Le village de Kédia : une zone à la limite du seuil des précipitations

Le village de Kédia, site de cette étude, est situé dans la province du Centre : le Mbam et Inoubou. Sa localisation géographique a été calculée à l'aide d'un GPS et ses coordonnées sont : 04°30 de latitude Nord et 011°04 de longitude Est.

Le climat est rythmé par 4 saisons et une distribution bimodale des précipitations : une petite saison des pluies de 3 mois (de mars à mai) et une grande saison des pluies de 4 à 5 mois (de mi-juillet à mi-novembre). La somme des précipitations est de 1180 mm (moyenne calculée sur les années 2003-2004, d'après OHNO Emile). Cette pluviométrie reste faible en comparaison de celle caractérisant le plateau camerounais.

Lors de la grande saison sèche (de mi-novembre à mars), les déficits hydriques observés en savane sont souvent mortels pour les jeunes cacaoyers fraîchement plantés sur des parcelles où l'ombrage ne recouvre pas encore la totalité de la parcelle. Les variations de températures sont très peu marquées. A Kédia, la moyenne mensuelle varie entre 25 et 29° C (BABIN, 2005). L'humidité relative oscille entre 52% et 99%. Les minima sont observés en février tandis que le mois d'octobre présente les valeurs les plus élevées. (SANTOIR 1992). L'évapotranspiration est évaluée à 1200 mm. (NDAKA, 2006). La durée d'insolation n'a pas été précisément évaluée au niveau de la zone d'étude mais avoisinerait les 1 800 heures (1 023 h à Douala, 1 841 h à Yaoundé et 2 969 h à Garoua). (LECOMPTE, LOSCH, PETITHUGENIN, 1993). Enfin, la période de croissance des végétaux est de 295 jours à Bafia (LEPLAIDEUR, 1985).

Tableau N°2 : Comparaison entre les exigences climatiques du cacaoyer (d'après le Mémento de l'agronome, 2003) et le climat de la zone d'étude (tiré de Glatard, 2006)

	TEMPERATURES (T EN °C)	PRECIPITATION (P EN MM)		HUMIDITE	ENSOLEILLEMENT	ALTITUDE ET LONGITUDE
Optimum	24<T<28	P>1500	Répartition uniforme	85% d'humidité	80 à 60 % du rayonnement (50 au stade juvénile)	
Remarques	18<T <32 Moyenne mensuelle des minima quotidiens >15°C Minimum absolu : 10°C	P>1100 si sols riches et profonds Sensibilité aux stress hydriques, surtout en cas de concurrence	Saison sèche (- de 100 mm) < à 3 mois limitation des vents desséchants (Harmattan)		Si éclairement incident <1800 h/an et si les intrants sont assurés, le maximum est obtenu en plein soleil	De 1000 m à l'équateur à 0 m à 20° de latitude
Conditions locales	25<T<29	P=1180 mm	6 mois où les précipitations sont < 100 mm	52% < h < 99%	Eclaircement incident d'environ 1800 h/an	Entre 4 et 5° de latitude nord pour 400 m d'altitude

F. Glatard a résumé dans le **Tableau N°2** les principales caractéristiques climatiques de la zone d'étude et les a comparées aux besoins théoriques du cacaoyer. Comme énoncé précédemment, on se retrouve légèrement en dessous des recommandations de précipitations et donc à la limite de tolérance du cacaoyer à la sécheresse. Champaud précisait qu'au niveau de l'arrondissement de Bokito « *la sécheresse devient un facteur limitant, et le cacaoyer ne peut être cultivé que sous ombrage assez dense* » d'où l'intérêt de cette étude qui s'intéresse à l'impact du couvert végétal supérieur, pour des cacaoyères installées sur savane, et au même moment que la canopée protectrice. En revanche ce déficit hydrique présenterait l'intérêt d'une incidence modérée de la pourriture brune (LECOMPTE, LOSCH, PETITHUGUENIN, 1993).

2.L'Economie du Cameroun

2.1.Une économie générale en pleine croissance

Il est intéressant de noter que le Cameroun est « un bon élève » dans le classement de son économie avec l'ensemble des pays africains. Selon un classement de 2008 (Hors Série Jeune Afrique N°18, 2008), il se positionne à la 4^{ème} place sur les 53 pays composant l'Afrique (Maghreb compris). Ce classement se base sur l'évolution et la vitalité de l'économie nationale et de la création de richesse (plus que sur la valeur du PIB en lui même).

Cette bonne notation s'explique en grande partie par l'envolée des cours pétroliers et l'euphorie sur les marchés internationaux miniers et des matières premières en général, qui ont marqué l'année 2007 et devraient se poursuivre en 2008. Avec une moyenne de 3% de croissance sur les 5 dernières années (4% pour 2006 et 2007), le PIB national est passé de 15,8 milliards de \$ à 20,9 milliards de \$ entre 2004 et 2007. La contribution des 3 secteurs d'activités au PIB est de 20,5% pour le primaire, 31,5% pour le secondaire et 48% pour le tertiaire (Hors série Jeune Afrique 2008). Pour le gouvernement camerounais, un taux de croissance annuel de 6%, une inflation de 2% et un déficit budgétaire inférieur à 3 est envisagé pour l'exercice de l'année 2008.

Le taux d'investissement devrait se maintenir, toujours pour 2008, à 20% du PIB, selon le gouvernement et s'élèvera à plus de 309 millions de dollars pour les IDE (investissements directs étrangers). Pour autant, le Cameroun part de très loin. Les progrès à réaliser sont encore immenses, tant sur le plan de la santé (paludisme, Sida, hygiène de base,...) que sur le plan du logement urbain, des transports et de l'éducation. Les investissements économiques réalisés par le gouvernement ne soulagent qu'un temps les problèmes et lacunes du système tandis que le pays nécessite de réels investissements à long terme pour démarrer sur des bases saines.

Le Cameroun a passé la dernière décennie en réformes économiques, exigées par le FMI et la Banque Mondiale qui adossaient cette condition à l'aide internationale au développement. Le 28 avril 2006, pour récompense de cette période de restriction, le « point d'achèvement de l'initiative de réduction de la dette en faveur des pays pauvres très endettés (PPTTE) » a été atteint. La communauté internationale reconnaît ainsi les efforts engagés et réalisés en termes d'assainissements économiques par le gouvernement camerounais. A la fin de l'année 2006, la communauté internationale a ramené la dette de 33% à 3%, ce qui aura pour effet direct de réinjecter 1,6 milliards d'euros dans l'économie nationale, ce qui représente un investissement par habitant de plus de 20 euros.

2.2. Place de l'agriculture et des agriculteurs

Mais selon l'Institut national de la statistique, le gouvernement ne peut se contenter d'assurer une croissance économique, car celle-ci n'a pas ou trop peu d'impact sur le niveau de vie des plus démunis vivant d'une agriculture de subsistance et exclus de tout revenu monétaire et de la société de consommation plus généralement. Il faut donc nuancer ces bons résultats : 60% de la population active vit toujours du travail de la terre à des niveaux d'autoconsommation et l'agriculture assure 40% des exportations du Cameroun (banane, thé, cacao, hévéa, coton, sucre,...) grâce à sa diversité de climat et de végétation.

Le Cameroun reste un pays de campagne avec 45% de sa population qui est encore rurale. Les bons résultats nationaux ne profitent pas aux couches les plus défavorisées de la population qui constituent la majorité des camerounais. Le PIB /hab. ne s'élevait qu'à 1080 \$ pour l'année 2006 et à 1260 \$ en 2007. L'Indice Développement Humain (IDH de 2007) est de 0,532 soit un classement de 144^{ème} sur 177 pays du monde. (Atlas économique 2008, 2008). (Hors Série Jeune Afrique N°18, 2008).

2.3. Le cacao au Cameroun

L'importance de la filière cacao pour l'économie nationale est de plus en plus remise en question. L'Office National du Cacao et du Café (ONCC) affirme que, actuellement, la cacaoculture ne contribuerait plus qu'à moins de 10 % du produit intérieur brut (PIB), au lieu de 25 % comme par le passé. Les raisons de cette situation inquiétante avancées par Jarry J.P., (1997) puis complétées par Abanda et al., (1999) et par Jagoret et al. (2006) incluent :

- la chute des cours et de la rémunération,
- le vieillissement du verger camerounais (plus de 40 % des cacaoyers ont plus de 40 ans) qui provoque une baisse des rendements,
- le vieillissement des exploitants eux mêmes : 35 à 38 % d'entre eux ont plus de 60 ans dans les départements de la Lékié et du Nyong-et-So'o,
- la suppression des subventions qui ne permettent plus aux exploitants de traiter convenablement leurs vergers,
- le manque de main-d'œuvre suite à l'exode rural dans certaines zones,
- la saturation foncière dans certains foyers de production à forte densité de population à l'exemple de la Lékié (111 hab. /km²),
- la faiblesse des rendements dont la moyenne est estimée à 300 kg/ha due au vieillissement des plantations, à la faible proportion de variétés sélectionnées, à l'augmentation des pertes dues aux différents fléaux en raison de la chute des traitements phytosanitaires.

Au Cameroun, avant la libéralisation de la filière cacao, les prix aux producteurs étaient fixés par décret présidentiel. Depuis les années 90, la libéralisation de la filière cacao s'est faite sans mesures d'accompagnement. Les producteurs ont vu leurs revenus décroître et ils ont alors adopté une attitude expectative par l'exploitation à moindre frais de leurs plantations dans un contexte d'accès limité au crédit et aux intrants (Alary, 1996 ; Varlet, 2000).

2.4. La production cacaoyère au village de Kédia

Sur le plan historique, l'introduction du cacaoyer dans l'agriculture du village de Kédia se fit dans les années 1930-1940 par l'implantation secrète de quelques plantations clandestines, à l'écart du village. L'essor de la cacaoculture au village de Kédia n'a vraiment débuté qu'à partir de 1941, à la mort du chef supérieur qui interdisait cette culture à l'intérieur des domaines forestiers communautaires. C'est le démarrage des activités de la SODECAO à partir du milieu des années 1970 qui va dynamiser l'essor de cette spéculation dans la zone du Centre-Cameroun.



Le CIRAD : le
Centre de
coopération
Internationale en
Recherche
Agronomique
pour le
développement

Figure N°6 : Le logo du CIRAD

www.cirad.fr 2008

Système de Cultures (SdC) : Sébillotte présente le système de culture comme : « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Il se définit par la nature des cultures et leur ordre de succession dans le temps et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, y compris le choix des variétés* » (Sébillotte, 1990).

L'agroforesterie est "l'exploitation des terres avec une association d'arbres et de cultures d'animaux". La définition de référence est celle fournie par l'ICRAF (Centre Agroforestier Mondial) : "*L'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègre des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre.*". (2008)

Système Agroforestier : Baumer (1987) désigne un système agroforestier comme étant les techniques et les modes de mise en valeur de terres dans lesquelles des végétaux ligneux (arbres, arbustes, bambou etc.) sont volontairement associés dans une même parcelle aux cultures ou aux animaux domestiques soit simultanément, soit de manière séquentielle.

De cette définition l'on peut différencier trois systèmes agroforestiers dont :

le système agri-sylvicole (association cultures et ligneux) ;

le système sylvo-pastoral (association animaux domestiques et ligneux) ;

le système agri-sylvo-pastoral (association des trois composantes).

Zone Tropicale Humide (ZTH) : elle correspond à la zone comprise entre les deux tropiques. Ce sont deux lignes parallèles à l'équateur : le tropique du cancer, à 23°26' de latitude Nord ; et le tropique du Capricorne à 23°26 de latitude Sud.

3. Le CIRAD et l'ATP CARESYS

3.1. Le CIRAD

Le CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement est un organisme français ; ses missions de recherche sont destinées au service du développement des pays du Sud et de l'Outre Mer français. Grâce à des activités de recherche, d'expérimentation, de formation, de diffusion de l'information scientifique et technique, d'innovations et d'expertises, le CIRAD contribue au développement durable des régions tropicales et subtropicales.

Ses domaines de compétences sont : les sciences du vivant, les sciences humaines et sociales et de l'ingénieur, appliquées à l'agriculture, à l'alimentation, à la gestion des ressources naturelles et aux sociétés et sont étroitement mêlés au sein de 3 départements de recherche : Systèmes Biologiques (Bios), Performances des Systèmes de production et de Transformation tropicaux (Persyst), Environnements et sociétés (Es). (Le CIRAD en 2006, 2007).

3.2. L'ATP CARESYS à l'étude des systèmes agroforestiers

3.2.1. Contexte général

Les SAF constituent une composante essentielle de nombreux *systèmes de production agricole* traditionnels de ZTH. Basés sur des associations de *cultures pérennes* et annuelles (vivrières essentiellement), ces SdC complexes assurent l'alimentation et le revenu de nombreuses populations. Ils possèdent de multiples avantages écologiques (protection des sols par une couverture permanente, agrobiodiversité), économiques (diversification des productions, sécurisation des revenus, augmentation de la productivité de la terre) et sociaux (fixation des populations, sécurité alimentaire, meilleure valorisation du travail).

Mais l'augmentation de la pression foncière et la mise en concurrence causée par l'ouverture du marché mondial crée un besoin d'amélioration de la productivité de l'agriculture dans les pays tropicaux. Pour accompagner cette intensification de l'agriculture qui puisse respecter les sociétés et l'environnement, il est apparu nécessaire de mieux connaître ces systèmes de culture agroforestiers afin de les améliorer et les adapter. Une meilleure connaissance de ces systèmes et de leurs performances constitue la première étape indispensable à ce projet. C'est pour contribuer à répondre à cette carence qu'a été proposée l'ATP CARESYS, projet qui vise la « caractérisation et l'évaluation des performances agro-écologiques de systèmes de culture (SdC) plurispécifiques en ZTH » (ENJALRIC, 2005).

Cette ATP CARESYS est un projet fonctionnant sur des crédits incitatifs du CIRAD, programmé pour la période 2005-2007. Aux termes de trois années de déroulement, l'objectif final est de proposer une méthode d'évaluation des SAF et des outils d'aide à la conception de SdC améliorés et performants.

3.2.2. La définition originale de l'ATP CARESYS

L'ATP CARESYS se donne pour objectifs, au terme des trois années de recherche, de participer à la conception et l'élaboration d'outils capables d'évaluer les performances agro-écologiques de ces SdC. Le but final est de proposer une méthodologie d'évaluation et des outils d'aide à la conception de systèmes de culture performants et innovants en tenant compte des exigences de durabilité des SdC et de préservation de l'environnement et de la biodiversité.

Un enjeu important consiste à développer des capacités méthodologiques d'évaluation, d'amélioration et de conception des systèmes de culture complexes qui combinent cultures annuelles et pérennes en ZTH. Une meilleure compréhension des performances de ces SdC et de leur fonctionnement agronomique permettra d'élargir le choix des pratiques agricoles et d'identifier

Tableau N°3 : Secteurs et produits agricoles développés au sein de la recherche de l'IRAD

Pentes annuelles	céréales
	Tubercules et bananes plantains
	Légumineuses et cultures maralchères
	Cultures annuelles industrielles
Cultures pérennes	Plantes stimulantes
	Fruits
	Plantes oléagineux
	Plantes à latex
Productions halieutiques et animales	Bovins
	Monogastriques
	Petits ruminants
	Pêche et aquaculture
Forêt et environnement	Santé animale
	Forêt et bois
	Biodiversité
Système de production	Sol, eaux & atmosphère
	Socio-économie
	Intensification et diversification
	Technologies alimentaires et post-récolte
	Agroforesterie

**Figure N°7 : Logo de l'IRAD**

www.irad-cameroun.org (2008)

des moyens d'amélioration des systèmes de production en termes de diversification agricole, productivité du travail, sécurisation des revenus.

Il s'agit de mieux comprendre les SdC agroforestiers de la ZTH en identifiant des indicateurs capables d'estimer les performances de ces systèmes. Ces indicateurs privilégieront une approche focalisée sur le fonctionnement biophysique des systèmes à l'échelle de la parcelle mais porteront également sur les performances économiques et la cohérence sociale de ces systèmes.

3.3. Un cadre international de recherche et de partenariat

Partenariat d'une recherche scientifique pluridisciplinaire et internationale

L'ATP CARESYS réunit une équipe pluridisciplinaire de chercheurs issus :

- d'établissements publics français de recherche et d'enseignements : CIRAD, INRA et CNEARC,
- de la recherche nationale publique Camerounaise : CARBAP et IRAD,
- du VARTC pour le Vanuatu,

sous la coordination de Frank ENJALRIC (CIRAD).

Plusieurs unités de recherche du CIRAD participent donc à la réalisation de cette ATP, en particulier les unités mixtes de recherche (UMR) System et AMAP, et les unités propres de recherche (UpR) 5, 27, 34, 75 et 80.

Présentation de l'IRAD

L'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), a été créé en 1996 après la fusion de l'IRA (Institut de la Recherche Agronomique) avec l'IRZV (Institut de Recherches Zootechniques, pastorales et Vétérinaires).

Ses structures opérationnelles sont réparties à travers tout le territoire camerounais et travaille actuellement sur 20 programmes de recherche en cours.

La recherche agricole nationale camerounaise se divise en 5 domaines :

- cultures annuelles : céréales, tubercules et bananes plantains, légumineuses et cultures maraîchères, cultures annuelles et industrielles,
- forêt et environnement : forêts et bois, biodiversité, sols, eau et atmosphère,
- cultures pérennes : plantes stimulantes (café et cacao), fruits, plantes oléagineuses, hévéa,
- production animale et halieutique : bovins monogastriques, petits ruminants, pêche et aquaculture, santé animale et zootechnie,
- système de production, économie et sociologie rurale : socio-économie, intensification et diversification, technologie alimentaire et post-récolte, agroforesterie.

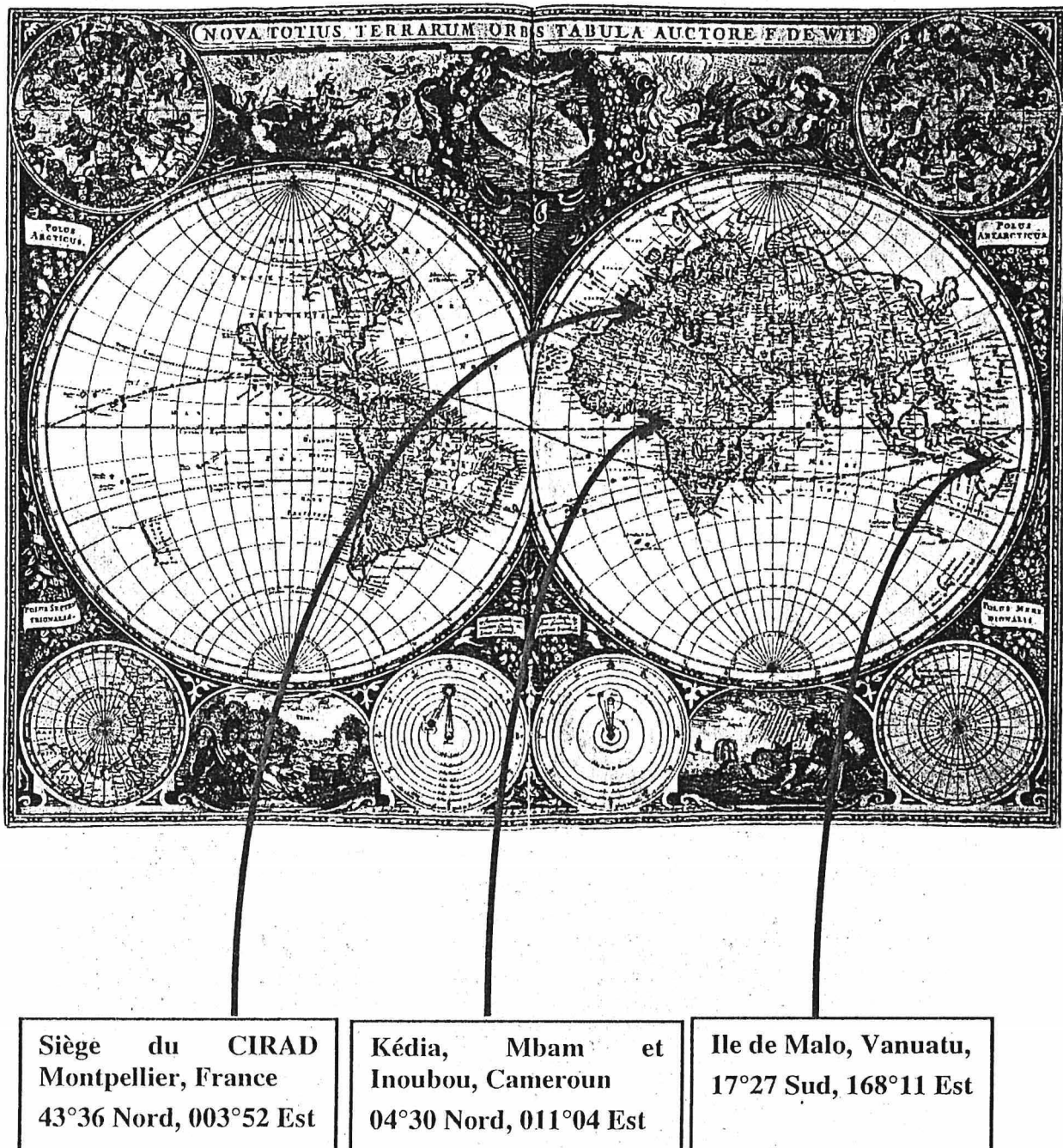


Figure N°8 : Localisations géographiques de l'ATP CARESYS et de ses missions

Selon Hendrick Doncker, 1663

L'Atlas des Atlas, 1993

3.3.1. Localisation géographique de l'ATP et historique des missions

Le développement et la réalisation des objectifs généraux et premiers de l'ATP ont amené à la définition des objectifs finaux de ce stage réalisé en 2007. Ils découlent directement des résultats obtenus lors des précédentes expérimentations réalisées dans le cadre de l'ATP CARESYS pendant les étés 2005 et 2006.

Il a été choisi de se focaliser sur deux terrains d'étude, au Cameroun et au Vanuatu, où les SAF sont très présents et où une démarche de description et d'analyse de ces systèmes est en cours de réalisation. Les résultats des précédentes études effectuées sur les SAF de ces terrains constituent la base scientifique sur laquelle reposent ces travaux (cf. *Figure N°8*) :

- Au Vanuatu, ce sont les SAF à base de cocotiers, sur l'île de Malo qui ont été caractérisés.
- Au Cameroun, ce sont les SAF à base de cacaoyers. L'ATP y dispose de 2 zones d'études. L'une au Sud-ouest concerne les SdC à base de palmiers à huile ou d'hévéa, et la seconde, se situe dans la région Centre et s'intéresse aux SdC à base de cacaoyers. Elle bénéficie des acquis du projet de « Mise au point de systèmes de cacaoculture compétitifs et durables en Afrique » du Fonds de Solidarité Prioritaire.

La volonté de développer des méthodes d'évaluation et des indicateurs multicritères des performances des SAF permettrait de proposer aux agriculteurs des Pays de Sud, et de la ZTH, des recommandations/optimisations de leurs SDC et de leurs pratiques quotidiennes. Tout cela nécessite une meilleure compréhension des mécanismes fondamentaux, de l'extrême complexité des SAF dues à une multiplicité des facteurs agronomiques et environnementaux en question.

Les deux précédents stages

Afin de réaliser certaines activités de missions sur le terrain et vérifier ses hypothèses de travail, Frank Enjalric avait précédemment envoyé une étudiante en thèse et deux stagiaires du CNEARC (étudiant en 4^{ème} année pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale) dans le cadre de stage au sein du CIRAD et financés par l'ATP CARESYS.

Eté 2005 et 2006

A la suite de la thèse de Nathalie LAMANDA (2005) caractérisant les SdC à base de cocotiers sur l'île de Malo, Laurène Feintrenie (étudiante en 4^{ème} année CNEARC) a réalisé son stage ingénieur en 2006 au Vanuatu sur l'île de Malo également.

Trois catégories de SdC à base de cocotiers y sont présentes : des monocultures, des systèmes agro-pastoraux associant cocotiers et pâturage et des systèmes agroforestiers complexes associant plusieurs cultures pérennes et annuelles (cacaoyer, vanillier ou encore tubercules ou élevage). La demande du CIRAD et les objectifs de l'ATP étaient de décrire et analyser le fonctionnement des SAF du Vanuatu et estimer leurs performances agronomiques, environnementales et économiques. Les performances ont été étudiées de façon systématique mais également au regard des attentes du producteur, de leur place dans la stratégie générale d'exploitation.

Eté 2006

Dans le cadre d'un stage ingénieur, Florent Glatard a caractérisé et évalué les SdC à base de cacaoyers du Centre Cameroun. L'objectif de ce stage était de faire le lien entre la conduite technique des cacaoyères, la fertilité des sols et le milieu selon une approche multicritères. Pour cela, il a réalisé un zonage pédologique et une caractérisation des cacaoyères sur forêt et sur savane au Centre Cameroun. Ce stage a mis en évidence les performances élevées des SdC agroforestiers et l'intérêt que présente cette dynamique nouvelle d'implantation des cacaoyères en savane.

**Cameroun : SAF
à base de cacaoyers**

**Vanuatu : SAF
à base de cocotiers**

2005

Une thèse Lamanda N. Paris Grignon

**Caractérisation et
évaluation des
performances agro-
écologiques des SAF**

2006

Deux stagiaires ingénieur en agronomie tropicale du CNEARC

**Des résultats
encourageants :**

- Une caractérisation pédologique de parcelles agroforestières
- Une dynamique de la fertilité positive des sols de SAF installés en savane

- Une définition des SAF détaillée
- La notion d'étude du bilan radiatif de SAF

**qui amènent à des
nouveaux objectifs de
recherche :**

Un stagiaire ingénieur ISTOM
en agro-développement international

2007

« *Evaluation de l'organisation et des performances agronomiques de systèmes de culture plurispécifiques traditionnels à base de cacaoyers au Cameroun. Approche au niveau de la parcelle sur des indicateurs environnementaux et agronomiques.* »

Figure N°9 : Schéma de l'articulation entre les précédentes missions aboutissant à la définition du thème de stage traité lors de cette étude

L'articulation pour aboutir au stage de 2007

Ce dernier stage reprend et prolonge deux notions et résultats dégagés des précédents stages comme le présente la **Figure N°9** :

- la notion d'étude du bilan radiatif (introduite au Vanuatu par L. Feintrenie) a été retenue comme base d'approche pour la compréhension des SAF à base de cacaoyers,
- la caractérisation morpho-pédologique établie par F. Glatard et la caractérisation réalisée des SAF à base de cacaoyers sur savane qui servira de bases scientifiques acquises.

La variabilité de la fertilité intra-parcellaire au sein de cacaoyères, observée par F. Glatard, risquait d'interférer dans la recherche d'une liaison agronomique entre la production végétale mesurée et le développement des cacaoyers en fonction de la disponibilité radiative à travers la canopée des arbres d'ombrage. Pour remédier à cette complexité du vivant et ce biais scientifique, il a été choisi de ne pas retenir une population globalement hétérogène. Des cacaoyers répartis sur une parcelle hétérogène en termes de fertilité et de nature des sols se développeront différemment. L'étude a donc été limitée à un échantillon homogène de cacaoyers au sein de la parcelle. Il a alors été choisi de travailler sur les sous-parcelles identifiées homogène en termes de fertilité et nature des sols par F. Glatard. Ainsi, la diversité de développement des cacaoyers d'une même sous-parcelle, en raison d'une variabilité de disponibilité nutritive, était éliminée de l'interprétation. Cela permettait de réduire le nombre de facteurs en jeu susceptibles d'expliquer ou d'influer sur les variabilités observées de développement entre chaque individu.

Le thème de stage de 2007

Le thème de stage : « Evaluation de l'organisation et des performances agronomiques de systèmes de culture plurispécifiques traditionnels à base de cacaoyers au Cameroun. Approche au niveau de la parcelle sur des indicateurs environnementaux et agronomiques. »

Il s'agissait, à partir des précédents travaux de caractérisation des SdC, d'évaluer des indicateurs biophysiques au niveau de sous-parcelles préalablement identifiées et décrites. Les indicateurs retenus sont le bilan radiatif, la notion de développement de l'arbre et la pression parasitaire sur la production des cacaoyers.

Un des objectifs sera de mettre en relation le bilan radiatif avec la production et la pression parasitaire au travers d'observations réalisées directement mais aussi de données existantes. Afin de mettre en relation ce bilan radiatif avec des variables agronomiques, une caractérisation fine des sous-parcelles et des individus a été entreprise :

- localisation de tous les arbres présents au sein de la parcelle,
- mesure de la surface terrière (circonférence totale du tronc) de tous les arbres présents sur les parcelles étudiées,
- mesure de la surface de recouvrement des arbres d'ombrage.

Enfin, à partir d'une parcelle suivie en termes de pression parasitaire par un entomologiste du CIRAD au Cameroun, Mr Régis Babin, l'ambiance radiative et sa canopée supérieure ont été caractérisées. L'intérêt sera de mettre en évidence le lien entre la lumière, les populations de mirides présentes et les dégâts induits par les ravageurs sur les cacaoyers à partir des données disponibles de croissance, de production, de population d'insectes et des dégâts occasionnés par ces mêmes ravageurs.

PARTIE II

Matériels et Méthodes



Figure n° 10

Planche botanique : Theobroma cacao

Franz Eugen Köhler
1883-1914

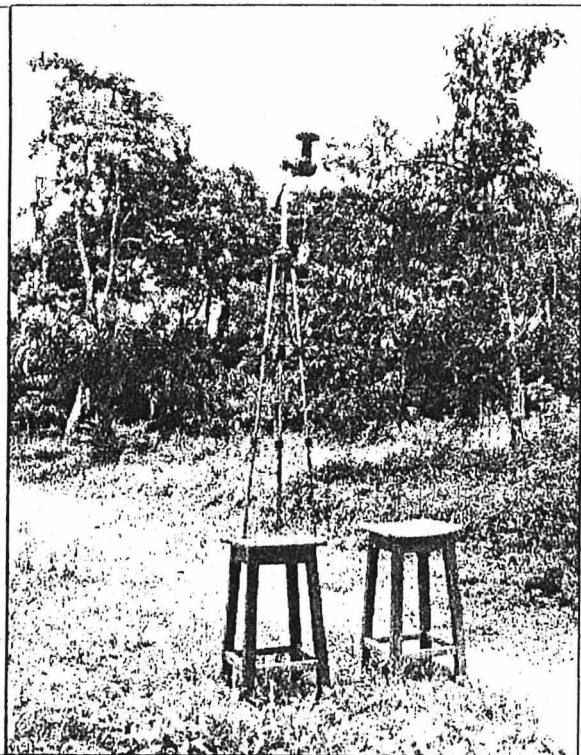


Figure n° 11

Dispositif expérimental de mesure

Appareil de Photographie hémisphérique
été 2008

Partie II : Matériels et Méthodes

1. De la théorie à la pratique

Au cours des deux années qui ont précédé cette étude, plusieurs missions de terrain dont une thèse (*Caractérisation et évaluation agroécologique de systèmes de culture agroforestiers : une démarche appliquée aux systèmes de culture à base de cocotiers (cocos nucifera L.) sur l'île de Malo, Vanuatu*. Lamanda N., 2005) suivie de deux stages ingénieurs (élèves du CNEARC en 4^{ème} année) se sont appliquées à décrire les SdC. complexes. L'objectif était de commencer par un diagnostic régional de ses SAF à confronter à une analyse de l'exploitation agricole. Il s'agissait d'évaluer les performances des SAF, ainsi que la place et l'importance qu'ils occupent dans l'exploitation familiale agricole grâce à la recherche d'indicateurs multicritères des performances agronomiques, économiques et environnementales.

Au Cameroun comme au Vanuatu, ces descriptions et caractérisations ont permis, en fin de mission, une confrontation avec les agriculteurs pour comparer leur représentation des mécanismes agronomiques avec les résultats obtenus lors des expérimentations. Deux grandes familles de SAF, symboles de l'agriculture de ces deux régions tropicales, que l'on retrouve sous diverses déclinaisons locales ont été caractérisées :

- le SAF à base de **cacaoyers** pour le Cameroun,
- le SAF à base de **cocotiers** pour le Vanuatu.

Grâce à ces premiers travaux, une définition générale des unités de production agricole a pu être établie dans un contexte multifactoriel de la façon suivante :

- par analyse du contexte socio-économique,
- puis par évaluation agro-économique.

Ceci a la fois pour le Cameroun et le Vanuatu.

Une typologie des SdC a ainsi pu être proposée, permettant de s'affranchir d'une part de l'hétérogénéité constatée des SAF de l'étude (savane/foret, cocotier-cacaoyer-vanillier)

Ces bases étant établie, une hypothèse de recherche a pu être explorée :

- sur la fertilité au Cameroun,
- sur le bilan radiatif au Vanuatu.

Au Cameroun, une attention particulière fut accordée à la recherche de lien entre conduite technique des cacaoyères en savane, fertilité des sols et milieu environnant. La forte variabilité intra-parcellaire du sol à l'intérieur des plantations de cacaoyers fut ainsi observée ainsi que la dynamique de restauration de la fertilité de ces parcelles sur savane au cours du temps.

Au Vanuatu, l'étude du bilan radiatif a été initiée sur des trouées de lumière accidentelles, à l'intérieur de parcelles agroforestières à base de cocotiers.

Il ressort des analyses socio-éco-agronomiques citées ci-dessus que malgré une gestion extensive et une multiplicité des productions, ces SdC présentent une grande polyvalence, un aspect sécuritaire et une rationalité au regard du contexte actuel dans lequel ils sont développés. Dans des pays où l'agriculture est encore non mécanisée, aux intrants faibles, et où les aléas climatiques peuvent être catastrophiques, ces SdC complémentaires et diversifiés présentent une grande résilience et apportent souplesse et sécurité pour l'agriculteur et sa famille qui en dépendent.

1.1. Objectifs théoriques

Au vu de ces résultats jugés positifs et suite aux réflexions et déductions tirées de son propre travail de recherche au CIRAD, Frank Enjalric proposa ce thème de stage :

« Evaluation de l'organisation et des performances agronomiques de systèmes de culture plurispécifiques traditionnels à base de cacaoyers au Cameroun. Approche au niveau de la parcelle sur des indicateurs environnementaux et agronomiques. »

Il sera important d'identifier d'éventuelles relations entre ces indicateurs et les performances de ces SdC en lien avec les pratiques agricoles. Les produits attendus sont des données de bilan radiatif, de production, mais aussi de pertes liées aux maladies, ainsi qu'une validation éventuelle d'indicateurs de performance. L'un des objectifs était de mettre en relation le bilan radiatif avec la production et la pression parasitaire au travers d'observations réalisées directement mais aussi des données existantes. (Enjalric 2007).

1.2. Résultats attendus

L'ATP CARESYS dispose d'une bonne connaissance de ces parcelles en termes de peuplements végétaux et d'état sanitaire suite aux travaux qu'elle a déjà réalisés et au projet FSP Régional «*Mise au point de systèmes de cacaoculture compétitifs et durables en Afrique*» en place depuis plus longtemps.

Le choix des paramètres biophysiques (lumière disponible, canopée supérieure, pression parasitaire, production végétale) doit permettre de mesurer les performances agronomiques et de développement des cacaoyers en les repositionnant dans l'équilibre environnemental de ces SdC.

Disposant des caractéristiques édapho-climatiques des SAF, l'évaluation de leur durabilité et de leur pérennité doit servir de base à une comparaison entre eux et à la détermination d'itinéraires techniques optimisés, en réponse à leur complexité.

Une attention particulière sera accordée à la recherche de liens entre l'état phytosanitaire des cacaoyères (pression des bio-agresseurs et plus particulièrement des mirides) au regard de l'environnement radiatif à l'intérieur de ces parcelles déjà renseignées.

1.3. Choix des parcelles et de l'unité d'approche : la sous-parcelle

L'étude a porté sur les 8 parcelles agroforestières installées sur savane et identifiées par F. Glatard en 2006 afin de prolonger les résultats obtenus et de se servir d'une base de démarrage de qualité. Une même parcelle, gérée de nos jours selon un mode uniforme, peut avoir été installée après jachère sur plusieurs années où révéler des différences importantes de couvert végétal, de densité intraplantation, etc. Ces caractéristiques fluctuantes jouent un rôle direct sur la variabilité intra-parcellaire de la fertilité des SAF, comme démontré par F. Glatard. Afin d'éliminer cette variabilité de fertilité intra-parcelle de l'observation et d'interpréter la diversité du développement de chaque cacaoyers, à l'intérieur des parcelles, il a été choisi de ne travailler que sur des sous-parcelles (1 par parcelle), unités morpho-pédologiquement définies comme homogènes en terme de fertilité.

1.4. Démarche d'étude

Les étapes principales de ce travail s'énoncèrent donc ainsi :

- l'évaluation et la mesure du niveau d'ombrage (lui-même variable à l'intérieur des parcelles), dans le but de réaliser des cartographies lumineuses des parcelles retenues. Ceci permettra de les comparer entre elles selon l'ambiance radiative les distinguant.
- l'analyse du potentiel de production d'une parcelle en fonction de son mode de gestion et donc du développement de sa canopée supérieure d'ombrage.
- l'évaluation de la durabilité de cacaoyères, en se basant sur les capacités de résistance du peuplement végétal face à la pression des bio-agresseurs.

Une approche méthodologique a été établie avec la participation au côté de Frank Enjalric, de Patrick Jagoret et de Régis Babin.

1.5. Les différentes étapes et le déroulement de la mission

De manière simplifiée, ce stage peut se diviser en 5 segments de travaux distincts, répartis entre Montpellier (siège du CIRAD), Yaoundé (siège de l'IRAD) et le village de Kédia (terrain d'étude) :

1. La préparation théorique et bibliographique à Montpellier,
2. La préparation technique et pratique du matériel et des processus de caractérisation à mettre en œuvre, à Yaoundé,
3. La phase d'évaluation scientifique de l'ambiance radiative, au village de Kédia,
4. La phase d'exploitation informatique et la réalisation des cartographies radiatives, partagée entre Yaoundé et Montpellier,
5. Le traitement statistique et l'interprétation finale des résultats accumulés, à Montpellier.

2.Des objectifs théoriques aux réalisations pratiques de la mission

Les objectifs théoriques étaient de réaliser le travail de caractérisation radiative sur des lots de parcelles et des terrains d'études connus et mis à disposition par plusieurs projets en cours auxquels participaient déjà des agents du CIRAD. Ces projets portent sur la cacaoculture au Cameroun et étudient des parcelles installées en savane au village de Kédia.

Ils ont été confrontés aux réalités du terrain ainsi qu'aux contraintes de temps lors d'une réunion préparatoire entre les différents bénéficiaires, à Yaoundé, lors de la première semaine au Cameroun. Etaient présents : Frank Enjalric, Patrick Jagoret, Régis Babin.

2.1.Hiérarchisation des objectifs de la mission

Lors de l'évaluation du temps nécessaire à la caractérisation totale d'une unité parcellaire, une limite est apparue, due aux contraintes du dispositif de mesure. Au regard du temps disponible, il a fallu hiérarchiser les activités de terrain. A ce stade, il apparaissait déjà que tout ne serait pas forcément réalisable : la caractérisation radiative se réaliserait selon l'ordre suivant :

- l'étude du réseau de parcelles ATP implantées sur savane.
- l'étude du réseau de parcelles FSP régional de Régis Babin, en cours de caractérisation entomologique (pression parasitaire des mirides).
- l'étude du réseau de parcelles sur lequel travaille Patrick Jagoret.

Le temps de travail incompressible et soumis aux aléas climatiques et humains, ne permit que la caractérisation des parcelles du réseau ATP (6 parcelles au final). Une seule parcelle du réseau FSP put être traitée. La caractérisation du bilan radiatif des parcelles suivies par Patrick Jagoret ne put être démarrée.

2.2.Lourdeur et priorisations

La complexité et l'encombrement du dispositif de mesure ayant obligé à une hiérarchisation dans l'ordre des lots de parcelles à caractériser, une seconde priorisation entre les parcelles du réseau ATP retenues a également été nécessaire. L'âge des parcelles détermine la hauteur de la cime maximale des cacaoyers. Cette hauteur détermine la hauteur nécessaire au dispositif de mesures hémisphériques pour la canopée d'ombrage au dessus des cacaoyers. Plus celle-ci est importante, plus le dispositif est conséquent et difficile à manœuvrer en termes de poids et de maniabilité entre chaque piquet à l'intérieur de cacaoyères denses.

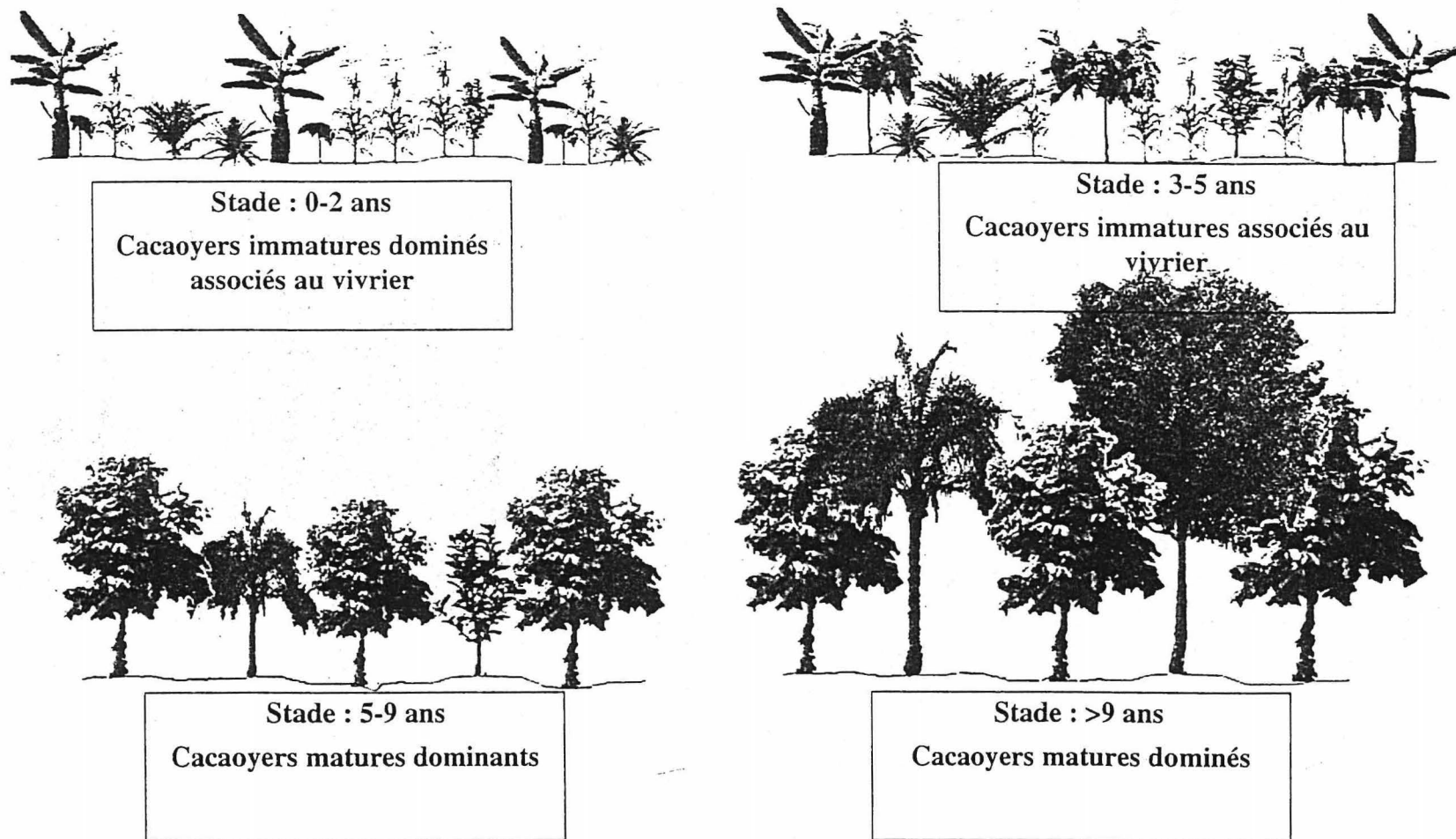
Enfin, dans le cas présent qui est celui de parcelles sur savane, la canopée d'ombrage protectrice est plantée en même temps que les cacaoyers. Son développement, son action et sa variabilité dans l'interception, et dans la disponibilité de la lumière pour les cacaoyers installés en dessous ne prenait un sens et un intérêt que pour les parcelles les plus âgées et ombragées. S'étant assuré ainsi que les parcelles de l'ATP les plus intéressantes seraient forcément traitées, on pourrait compléter l'interprétation scientifique par la caractérisation des parcelles les plus jeunes.

2.3.Travail en binôme et équipe scientifique en soutien

En vue d'optimiser et d'accélérer ces expérimentations répétitives et chronophages, Patrick Jagoret proposa d'effectuer cette étude en binôme, avec le soutien d'un ingénieur forestier diplômé de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang (été 2007) : Charly Messie. Il venait de réaliser son stage ingénieur au sein du service Plantes Stimulantes de l'IRAD, sous la direction de Patrick Jagoret. Il travailla auprès de cacaoculteurs, pour certains installés en savane, et à proximité du site d'étude choisi (arrondissement de Bokito).

Son expérience, ses connaissances des agroforêts et de la cacaoculture ont été d'un précieux secours. Ils ont permis de décrypter des situations locales et ont apporté une meilleure

Figure N°12 : Les 4 stades de la chronoséquence d'une cacaoyère installée en savane



compréhension des mécanismes agronomiques rencontrés, ce qui a accéléré et amélioré le déroulement de la mission et sa qualité finale.

Enfin les connaissances scientifiques, et de la cacaoculture en général de l'ensemble des agents du CIRAD et de l'IRAD rencontrés au cours de ce stage, ont été d'un grand secours. Que ce soit pour la confrontation des objectifs aux réalités du terrain, que dans les explications et la compréhension acquise lors des discussions à Yaoundé, ils ont fourni appui et soutien tout au long de l'étude de la culture du cacaoyer et de l'agroforesterie en général.

2.4. Alternance de mesures rurales et d'interprétations urbaines

Ce stage s'est déroulé selon une alternance de mission de terrain (caractérisation radiative) et d'analyse des résultats obtenus à Yaoundé, dans les locaux de l'IRAD. En moyenne, l'alternance mesure/traitement s'est faite selon des périodes de 15 jours, avec, en début et en fin de mission sur place, un mois complet de préparation et de finalisation, dans les locaux de l'IRAD à N'Kolbisson.

2.5. Abandon de deux parcelles en début de stage

Le cacaoyer est un arbre dont le cycle de culture s'étale sur plusieurs dizaines d'années. Un suivi sur toute la durée ne serait pas envisageable. Il faut donc aborder l'étude de ces SAF selon **l'approche synchronique** (MAGNUSON et al, 1991) qui permet d'extrapoler une dynamique temporelle à partir d'une série d'échantillons représentant différents âges (la chronoséquence) du système considéré. Cette démarche repose alors sur l'hypothèse, dite d'ergodicité (PICARD et al, 2006), qui stipule que : « *la distribution dans le temps en un endroit donné est égale à la distribution spatiale à un instant donné* ».

Dans la perspective de couvrir les 4 stades de la chronoséquence, F. Glatard en 2006 avait débuté son travail en savane sur 8 parcelles, 2 parcelles pour chacun des stades de chronoséquence :

- deux parcelles de 0 à 2 ans, *installation de la cacaoyère avec le vivrier*,
- deux de 3 à 5 ans, *cacaoyers immatures associés au vivrier*,
- deux de 5 à 9 ans, *cacaoyers matures dominants*,
- et deux de 9 ans et plus, *cacaoyers matures dominés*.

Lors de l'été 2007, les deux parcelles de 3 à 5 ans n'étaient plus utilisables pour les mesures :

- l'une avait brûlé dans un feu de brousse mal géré,
- l'autre, laissée à l'abandon, était retournée en friche,

Par chance, ces deux parcelles étaient de stade jeunes *cacaoyers immatures associés au vivrier*. Les deux parcelles du stade *installation de la cacaoyère avec le vivrier* ayant elles même vieilli d'un an, elles ont pu se substituer et ont été classées en stade *cacaoyers immatures associés au vivrier* (3 à 5 ans). Ces modifications engageaient peu de pertes dans l'étude de l'organisation spatiale de l'ombrage. Des parcelles de stade *installation de la cacaoyère avec le vivrier* d'un an seulement n'ont pratiquement pas d'ombrage ni d'arbres (cacaoyers et espèces fruitières et forestières confondus). De ce fait, l'étude menée, bien qu'incomplète par disparition d'un stade, garde son sens.

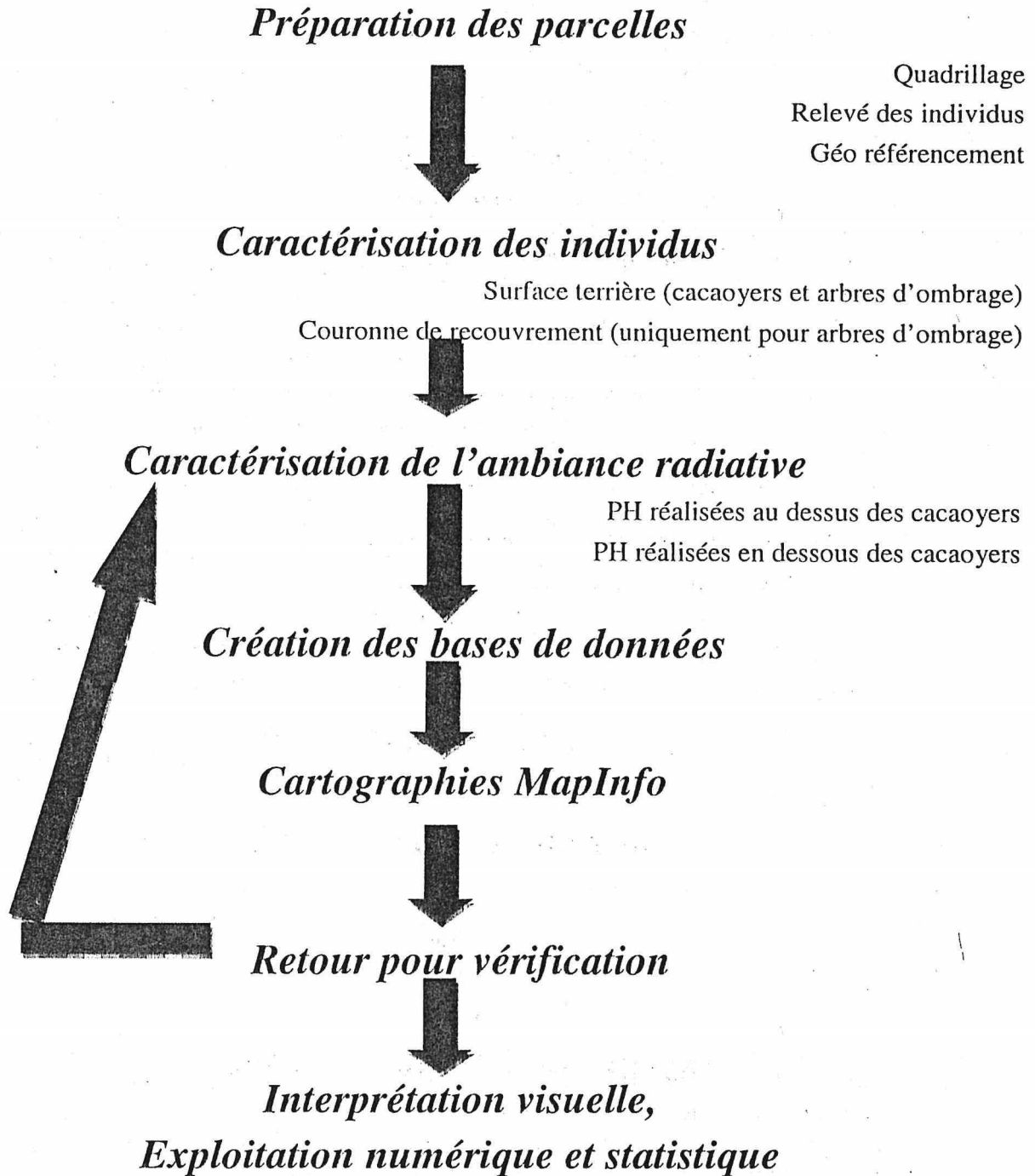


Figure N°13 : Diagramme du traitement de caractérisation d'une parcelle type

Théorème de Pythagore :

Le théorème de Pythagore est un théorème de géométrie euclidienne qui énonce que dans un triangle rectangle (qui possède un angle droit) le carré de l'hypoténuse (côté opposé à l'angle droit) est égal à la somme des carrés des deux autres côtés. Ce théorème est nommé d'après Pythagore de Samos, mathématicien, philosophe et astronome de la Grèce antique.

La forme la plus connue du théorème de Pythagore est la suivante : « *Dans un triangle rectangle plan, le carré de la longueur de l'hypoténuse (côté opposé à l'angle droit) est égal à la somme des carrés des longueurs des côtés de l'angle droit.* »

Un triplet de nombres entiers tel que (3, 4, 5), représentant la longueur des côtés d'un triangle rectangle s'appelle un triplet pythagoricien.

(source www.wikipédia.fr, 2008)

3. Déroulement de la chronologie des étapes de caractérisation d'une parcelle type

L'enchaînement et la chronologie de travail présentés ci-après correspondent à la caractérisation complète d'une cacaoyère mature entrée en production. Cela correspond à des parcelles de stade *cacaoyers matures dominants* ou *dominés*.

3.1. Préparation des parcelles et localisation cartographiques des arbres

Cette phase se réalise à la fois au village de Kédia et à Yaoundé.

3.1.1. Identification de la zone de travail

Accompagné du propriétaire de la parcelle et à partir des cartes pédologiques réalisées par Glatard, on confirme l'emplacement de l'ancienne étude de 2006. Les délimitations non signalées peuvent être difficiles à distinguer par toute autre personne que son propriétaire. La mitoyenneté avec d'autres cacaoyères, sensiblement du même âge et sans démarcation franche, prête à confusion. Une fois la parcelle identifiée dans son environnement, on repère les sous-parcelles homogènes en termes de fertilité. La surface de la sous-parcelle retenue est discutée lors du briefing à Yaoundé avec Frank Enjalric et Patrick Jagoret.

3.1.2. Construction du quadrillage extérieur

A l'aide d'une boussole, on trace le rectangle de la plus grande surface en veillant à aligner les bordures du cadre dans la direction des 4 points cardinaux. Cette étape obligatoire doit être minutieuse pour pouvoir renseigner, après coup, chaque piquet de mesure en fonction de la trajectoire du soleil et de son géo-référencement mesure GPS corrigée de la déviation du Nord magnétique de chaque sous-parcelle.

En premier, la direction Nord-Sud est tracée à l'aide de la boussole. Puis selon le principe du triplet pythagoricien, une ficelle composée de trois fractions repérées de 3m, 4m et 5m permet de tracer un triangle rectangle parfait et ainsi de matérialiser les angles de notre rectangle extérieur. A l'aide d'un cordeau soigneusement préparé, on calcule la direction des angles du quadrillage extérieur.

3.1.3. Le maillage intérieur

Afin de recueillir un nombre de mesures scientifiquement interprétables, une moyenne de cent piquets est souhaitée à l'intérieur des sous-parcelles. Suivant la réalité du terrain, ce sont des rectangles compris entre 9 x 9 piquets et 11 x 12 piquets. Le maillage entre chaque piquet est strictement de 3m ce qui représente des sous-parcelles de surface comprise entre 729m² et 1188m².

A partir du cadre extérieur soigneusement segmenté (3m), et à l'aide d'une ficelle de couleur, on matérialise les parallèles (écartées chacune de 3m). Enfin, à l'aide de 2 tiges de palmier droites de 3m, on finalise le maillage intérieur, après avoir repéré les colonnes par la ficelle, les unes après les autres. De cette manière, les carrés (9m²) sont quasi-parfaits, et on peut juger la qualité du quadrillage en mesurant la déviation terminale. On plante au fur et à mesure les piquets taillés en pointe, dans du palmier si possible (dégradation plus lente), d'une hauteur de 1m.

Surface terrière : superficie de la section de la tige d'un arbre mesurée à hauteur d'homme (1,3m).

Couronne de Recouvrement : mesure pratiquée en foresterie qui consiste à mesurer le rayon de la projection au sol de la plus grande branche d'un arbre, afin d'en estimer le rayon théorique de sa couronne de feuillage.

3.1.4. Pérennité du cadre extérieur

La conception du cadre extérieur en toute rigueur prend du temps. Un traitement spécial est accordé au cadre extérieur afin de le protéger des termites, et autres insectes xylophages. Quand les piquets extérieurs sont plantés, on verse à leur base un répulsif (Xylamon), afin de les préserver tout au long de la phase de terrain. Egalement, pour les repérer visuellement à l'intérieur d'un agroforêt, on peint l'extrémité la plus haute en rouge afin de ne pas les arracher par mégarde.

Si, lors du passage d'un planteur, de travaux collectifs, de l'action des termites ou de tout autre évènement, les piquets intérieurs disparaissaient, il serait aisé, à partir du cadre extérieur intact, de recomposer le maillage intérieur.

3.1.5. Géo-référencement de la parcelle

Un relevé GPS¹ des 4 angles de la sous-parcelle permet d'obtenir une moyenne. Chaque relevé est corrigé de la déviation de la Terre et du Nord magnétique. Le géo-référencement permettra d'indiquer, lors du traitement informatique ultérieur de chaque photo hémisphérique, la course du soleil au dessus des cacaoyères caractérisées.

3.1.6. Localisation des individus à l'intérieur du maillage

A l'aide de feuilles de papier orthonormé et quadrillé (1cm = 3m) on relève les individus présents (cacaoyers et arbres d'ombrage). Des cadres plus grands, de 15x15, sont retenus pour permettre le relevé d'arbres, hors maillage, mais dont le développement (feuillage et hauteur) influe les conditions d'ombrage à l'intérieur du champ d'étude. A l'aide de ce quadrillage intra-parcellaire, on identifie la position précise de chacun des arbres à l'intérieur d'une case de 9m². On identifie chaque arbre par ses deux initiales (nom de l'espèce) et son numéro d'ordre d'apparition dans la parcelle.

Une fois tous les arbres repérés, on calcule leurs coordonnées en centimètres auxquelles on applique un coefficient de 300. Ainsi on obtient les coordonnées à l'échelle réelle de 3m. qui sont saisies sur un tableur (Excel) puis imprimées pour donner un premier plan de la sous-parcelle (quadrillage, orientation Nord-Sud, individus positionnés) pour un retour terrain.

3.1.7. Second passage: confirmation et caractérisation agronomique

Ce deuxième passage permet de confirmer et corriger le positionnement des arbres, les éventuelles erreurs de position, d'identification, d'absence ou de rajout. En même temps, on relève la surface terrière des cacaoyers et des arbres d'ombrage. Pour chaque arbre d'ombrage, on mesure le rayon de la projection de la plus grande branche au sol de l'arbre afin de mesurer sa surface de recouvrement et estimer le diamètre de sa couronne foliaire.

Enfin, on s'assure que les arbres d'ombrage situés en dehors de la sous-parcelle et présentant un développement foliaire important qui impacte l'ombrage à l'intérieur de la sous-parcelle, sont bien identifiés. On relève leur position et leurs caractéristiques (espèces, numéro, surface terrière et couronne de recouvrement).

Ces nouvelles informations sont intégrées aux précédents tableaux de recensement des individus. On peut alors lancer un premier traitement cartographique représentant la totalité des arbres relevés (cacaoyers et arbres d'ombrage) à l'aide du logiciel MapInfo 6.

¹ Le GPS utilisé était un modèle de la marque GARMIN

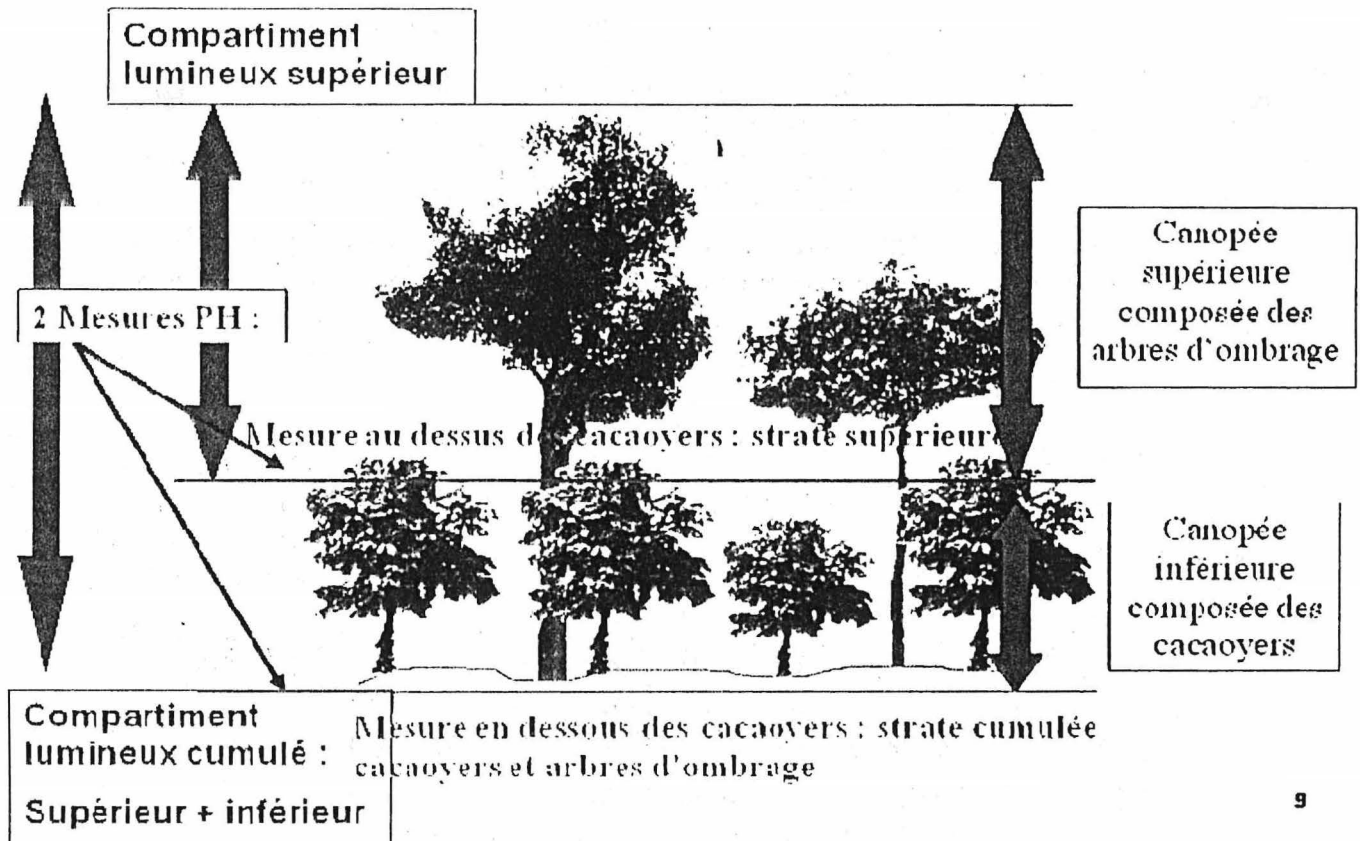


Figure N°14 : les deux strates végétales et la technique du sandwich

3.2. Mesures de l'ouverture de la canopée : les Photographies Hémisphériques

Cette deuxième phase de travaux se déroule entièrement au village de Kédia, dans les cacaoyères.

3.2.1. Segmentation des mesures en fonction des strates identifiées

Dans le cas des parcelles de *cacaoyers matures dominants* ou *dominés*, deux séries de photographies hémisphériques (PH) sont réalisées. En effet, ces parcelles sont entrées en production de cabosses. Les 4 parcelles âgées et productives ont des cacaoyers matures dont le feuillage est dense. Les branches et frondaisons se touchent de manière à former une strate distincte et différenciée de celle des arbres d'ombrage situés au dessus.

La **Figure N°14** : présente les deux strates du SAF et la technique du sandwich de caractérisation des strates végétales distinctes.

Une **première mesure**, directement au dessus de la cime des cacaoyers, est réalisée de manière à quantifier l'ouverture propre à la canopée d'ombrage : elle équivaut à la représentation de la strate supérieure composée du feuillage des arbres d'ombrage.

Une **seconde mesure** à un mètre du sol sous les cacaoyers permet de quantifier l'ouverture de canopée correspondant au cumul des deux strates et à l'addition du feuillage des arbres d'ombrage avec celui des cacaoyers.

Dans le cas du stade *cacaoyers immatures dominants* et *vivrier* (3 à 5 ans), le feuillage d'ombrage commence à se placer au dessus de la cime des cacaoyers. La mesure au dessus des cacaoyers correspond à la strate seule des arbres d'ombrage et de leur feuillage. Pour la mesure de la strate inférieure cumulée, en dessous des cacaoyers, une seule des deux parcelles, la plus développée en termes de feuillage des cacaoyers, a été caractérisée, l'autre ne présentant pas assez de feuillage pour la caractérisation d'un ombrage.

La mesure au dessus des cacaoyers est la plus contraignante et la plus longue à réaliser (20 à 30 mesures par jour selon les conditions d'éclairement, ce qui, ajouté aux aléas climatiques prend en moyenne une semaine). Pour cette raison, elle a été réalisée avant la mesure au sol, en dessous des cacaoyers.

A l'aide d'une simple soustraction, il sera possible d'obtenir la valeur propre à la strate des cacaoyers seuls : pour chaque piquet et point de mesure, on soustrait à la valeur de la strate inférieure la valeur de la strate supérieure :

Valeur de la strate des cacaoyers = strate cumulée en dessous – strate seule au dessus des cacaoyers

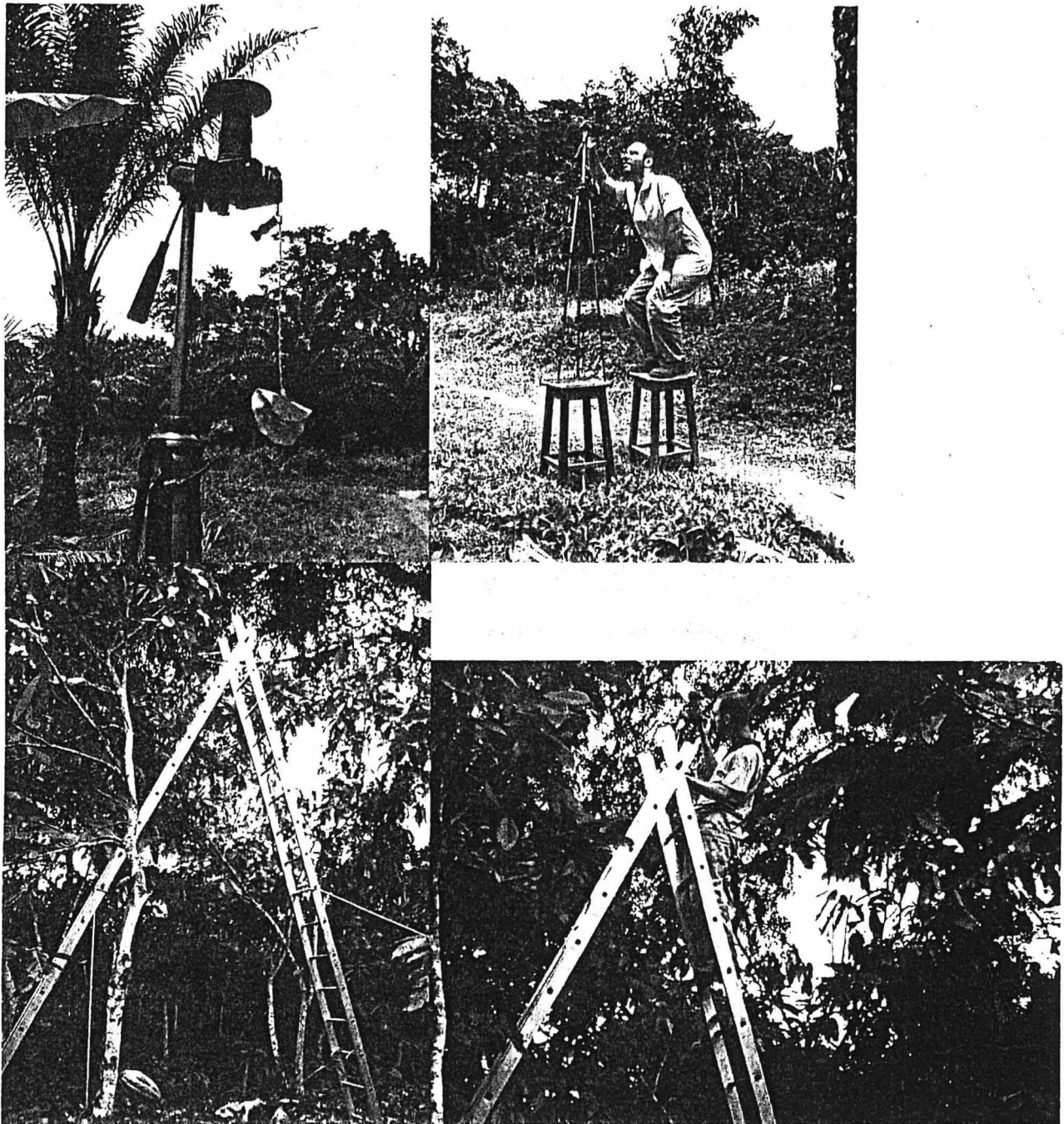


Figure N°15 : le dispositif expérimental pour réaliser les PH en hauteur

3.2.2. Hauteur de la prise des mesures pour la strate supérieure

A chaque stade de chronoséquence correspond une hauteur maximale de cime des cacaoyers de la sous-parcelle. Cette hauteur maximale, variable d'une parcelle à l'autre, doit être connue. Elle détermine la valeur moyenne à laquelle l'ensemble des photos hémisphériques doivent être réalisées. De cette hauteur dépendra le système de support utilisé pour réaliser ces photographies. Les deux dispositifs de réalisation des Photographies Hémisphériques sont présentés sur les deux *Figures N°15*.

Tableau N°4 : Récapitulatif de la hauteur des PH et du dispositif expérimental utilisé

Stade de chronoséquence de la parcelle :	Hauteur maximale mesurée : (en m)	Dispositif de mesure en hauteur utilisé :
Cacaoyers immatures associés au vivrier	1,5	Trépieds appareil photo seul, déplié à son maximum.
Cacaoyers matures dominants	2,30	Trépieds appareil photo positionné au dessus tabouret (1 mètre) et déplié à son maximum.
Cacaoyers matures dominés	4,5	Trépieds appareil photo accroché solidement en haut d'une échelle stabilisée de 4,5 mètres de hauteur.

3.2.3. Mesure de la strate cumulée en dessous des cacaoyers

Cette mesure se réalise à une hauteur standardisée de 1m au dessus du sol, à l'aide de l'appareil de photographie équipé de la lentille hémisphérique, l'ensemble étant fixé sur le trépied. Cette mesure est réalisée pour toutes les parcelles retenues, tous stades de chronoséquence confondus.

3.2.4. Standardisation des mesures et obligations du protocole de mesure

Plusieurs critères sont à prendre en compte et doivent être vérifiés avant et entre chacune des mesures.

La contrainte la plus lourde est celle de l'horaire obligatoire de réalisation des photographies. Cette mesure se réalise en plaçant une lentille grand-angle appelée « fish-eyes » en direction du ciel. Il faut donc s'assurer qu'il n'y a aucun rayon de soleil au moment de la photo pouvant amplifier les trouées de lumières mesurées qui serviront au calcul de l'ouverture de la canopée. Il fallait travailler au lever et au coucher du soleil avec un horaire de prise de mesure compris entre 5h30 et 10h suivant les conditions nuageuses et à partir de 16h30 jusqu'à la tombée de la nuit (18 à 18h30).

L'appareil photographique numérique interdit une utilisation sous la pluie, très fréquente en cette période.

En raison du prix du dispositif de mesure (appareil photo numérique et lentilles hémisphériques) et en raison de la fragilité de l'appareillage, une attention toute spéciale est obligatoire. Une vérification, avant chaque photographie et chaque accrochage du boîtier numérique au trépied est réalisée. Pour assurer la sécurité de l'opérateur prenant la mesure, l'échelle est, à chaque positionnement, enfoncée d'une dizaine de centimètres dans le sol meuble des cacaoyères et stabilisée à l'aide de quatre haubans. Une corde d'escalade de 3m de longueur est tendue et accrochée aux troncs des arbres proches. Une bonne stabilité peut ainsi être obtenue tout en haut de l'échelle et garantit la qualité de la mesure.



Figure N°16.1 : deux photos hémisphériques réalisées assez loin du feuillage à caractériser et utilisables pour le logiciel GLA

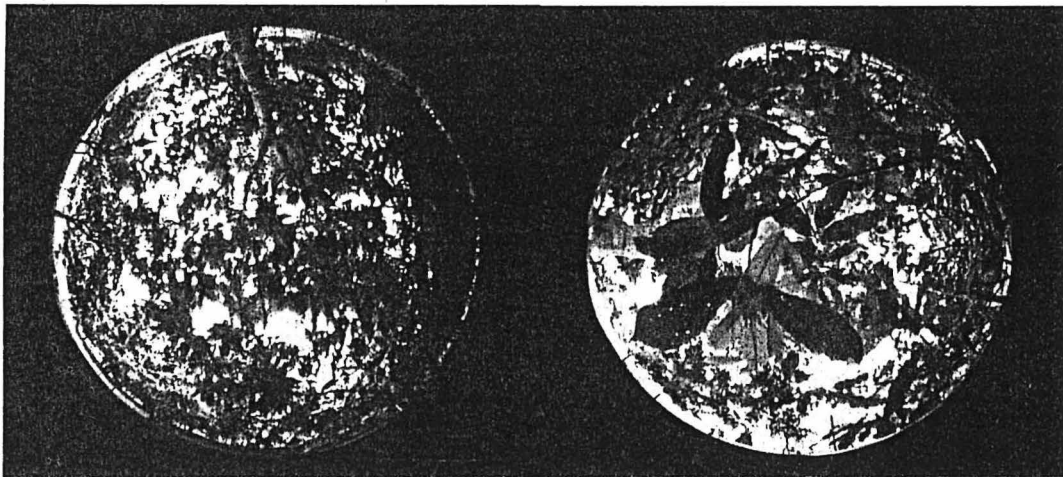


Figure N°16.2 : deux photos hémisphériques réalisées trop à proximité du feuillage à caractériser et inutilisables pour le logiciel GLA. Les feuilles sont trop exagérées ainsi que les rayons lumineux traversant

Afin de standardiser l'orientation des photos avec la trajectoire du soleil, une convention a été adoptée. Avant chaque photographie, l'appareil est positionné en haut du trépied, il faut alors positionner le flash de l'appareil strictement dans la direction du Nord à l'aide de la boussole. Une autre direction standardisée serait possible, l'important est de pouvoir repérer le Nord géographique de chaque photo et le renseigner lors du traitement informatique pour connaître la course du soleil au regard des coordonnées de la PH.

Les photographies hémisphériques sont difficilement repositionnables a posteriori dans le sens de la parcelle si leur Nord ou toute autre direction cardinale n'est pas renseignée. Lors de la prise des PH en hauteur, le boîtier photo et la lentille doivent être strictement positionnés au dessus du piquet connu pour ses coordonnées spatiales à l'intérieur de la parcelle.

La lentille hémisphérique permet de prendre des photographies selon un angle de 180° . Ainsi, on obtient un plan complet, à l'infini s'il n'y avait pas d'obstacle autour, au dessus de l'objectif fish-eyes.

Il est donc primordial que l'objectif de la lentille soit positionné à la stricte horizontalité du sol. Pour cela, un niveau à bulle circulaire, recouvert d'une fine couche de velours pour ne pas rayer la lentille, permet de contrôler et corriger la position horizontale de l'objectif avant chaque photographie au dessus et en dessous des cacaoyers.

Figure N°16.1 et 16.2 : la mesure ne doit pas être prise si le feuillage photographié est trop proche de la lentille. En effet, une trop grande proximité va sur-exagérer ce feuillage et fausser l'évaluation de l'ouverture de la canopée située au dessus. Le feuillage doit être à une distance minimale d'un mètre de la lentille pour que la photo soit réalisable.

3.3.Le traitement informatique, la spatialisation cartographique le traitement statistique et l'interprétation finale des résultats

Ce travail s'est déroulé entre Yaoundé (siège de l'IRAD) et au CIRAD à Montpellier où les dernières étapes du traitement statistique et d'interprétation se sont réalisées dans les locaux de l'UMR System.

3.3.1. Identification des mesures

Pour chaque strate, on obtient une centaine de PH. Chacune est renommée aux initiales de la parcelle et avec les coordonnées géographiques des piquets. Par convention, on choisit le piquet d'angle au Sud-ouest comme point de départ. Il aura, de fait, les coordonnées (0 ; 0), le premier piquet suivant à l'Est aura les coordonnées (3 ; 0) et le premier piquet au Nord aura les coordonnées (0 ; 3) et ainsi de suite pour l'ensemble des piquets.

Durant cette première opération, il faut repérer les PH inutilisables, car trop ensoleillées, ou réalisées avec une programmation incorrecte de l'appareil. Elles devront alors être refaites à l'unité lors d'un retour ultérieur sur la parcelle.

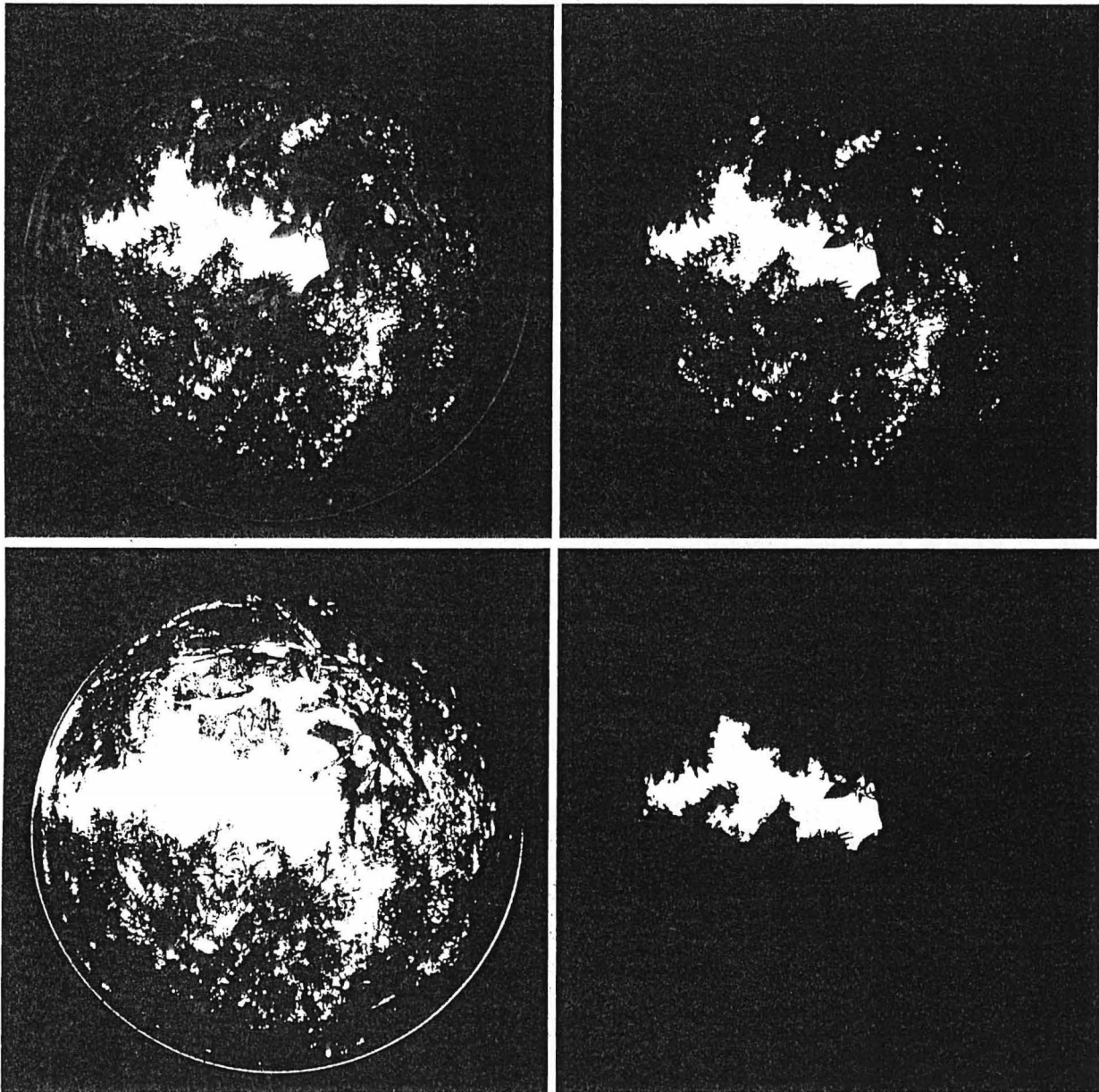


Figure N°17 : une PH en couleur avant seuillage suivie des trois résultats possible obtenus après passage en noir et blanc suivi du seuillage d'une PH

Cartographie : ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement de cartes, de plans et autres modes d'expression, ainsi que dans leurs utilisations.

SIG : Système d'Information Géographique : c'est un système qui intègre une base de données géocodées, un logiciel de traitement de cette information et un logiciel de visualisation.

3.3.2. Seuillage des P.H. et calcul de l'ouverture de la canopée

Le logiciel Gap Light Analyser (G.L.A.) est un logiciel de SIG. Il permet, à partir de chaque P.H., de donner une estimation de l'ouverture de la canopée au dessus du plan photographié. Il est nécessaire de le renseigner sur la localisation géographique très précise de la parcelle (mesure GPS corrigée de la déviation du nord magnétique) et sur la période de l'année pour le calcul de la course du soleil correspondante.

Figure N°17 : une étape sensible de « seuillage » est alors réalisée qui permet de transformer ces photographies couleur en noir et blanc. Par ce procédé, la matière végétale apparaîtra en noir et se découpera distinctement. Les ouvertures dans la canopée et les trouées de lumière entre les arbres, à travers les feuilles apparaîtront en blanc.

Le seuillage manuel permet de s'assurer que les nouvelles photos noir et blanc obtenues sont bien représentatives des conditions mesurées par les photos en couleur.

L'étape de seuillage est cruciale pour obtenir par le logiciel GLA des interprétations numériques de l'ouverture de canopée exactes et représentatives des conditions mesurées. On réalise ce seuillage pour la totalité des PH prises au dessus et en dessous des cacaoyers.

3.3.3. Type de résultats obtenus

A l'intérieur du **Tableau N°5 (Annexe N°1)** sont présentés l'ensemble des résultats que fournit le traitement de P.H. seuillées à l'aide du logiciel GLA.

3.3.4. Création des bases de données de la parcelle en vue du traitement de spatialisation par système infographie (SIG)

Sur un même tableur Excel, on rassemble la totalité des informations collectées et calculées concernant les individus et les mesures, sur 5 feuillets distincts :

- pour les cacaoyers,
- pour les arbres d'ombrage,
- pour le bilan radiatif mesuré au dessus des cacaoyers,
- pour le bilan radiatif mesuré au dessous des cacaoyers,
- pour le bilan radiatif des cacaoyers seuls obtenus par soustraction.

L'utilisation du logiciel MapInfo 6, à l'aide de tableurs Excel et bases de données interdit les corrections ou ajouts. Les tableurs doivent donc être correctement agencés et sans erreur, ni absence de valeurs.

3.3.5. Spatialisation de l'ombrage et de l'ambiance radiative

Le logiciel MapInfo 6 permet de visualiser les différents arbres par une représentation par points, croix, ronds etc. que nous appellerons « **couche ponctuelle** ». Il permet aussi de visualiser l'ambiance radiative, les ouvertures dans la canopée et l'estimation du feuillage par un code couleur adapté, représentation que nous appellerons « **couche moquette** ». Ceci permet de créer des « couches » superposables et cumulables entre elles. La **Figure N°8** illustre ces deux couches différentes.

« Couche ponctuelle » matérialisant les individus :

On les a nommées ainsi car symbolisant tous les individus (cacaoyers et arbres d'ombrage) spatialement localisés et immobiles. A partir des bases de données, (coordonnées et caractérisation renseignées pour chaque arbre), on commence par réaliser la couche des cacaoyers. Ensuite est traité chaque groupe d'arbres d'ombrage appartenant à une même espèce ligneuse comme une couche distincte. Cette division en plusieurs couches selon les catégories d'individus permettra, lors de l'interprétation et de l'assemblage pour interprétation des couches entre elles, de voir, si certaines familles ou groupements d'arbres, ont des forces d'ombrage supérieures à d'autres familles ou groupements d'arbres au sein de la sous-parcelle.

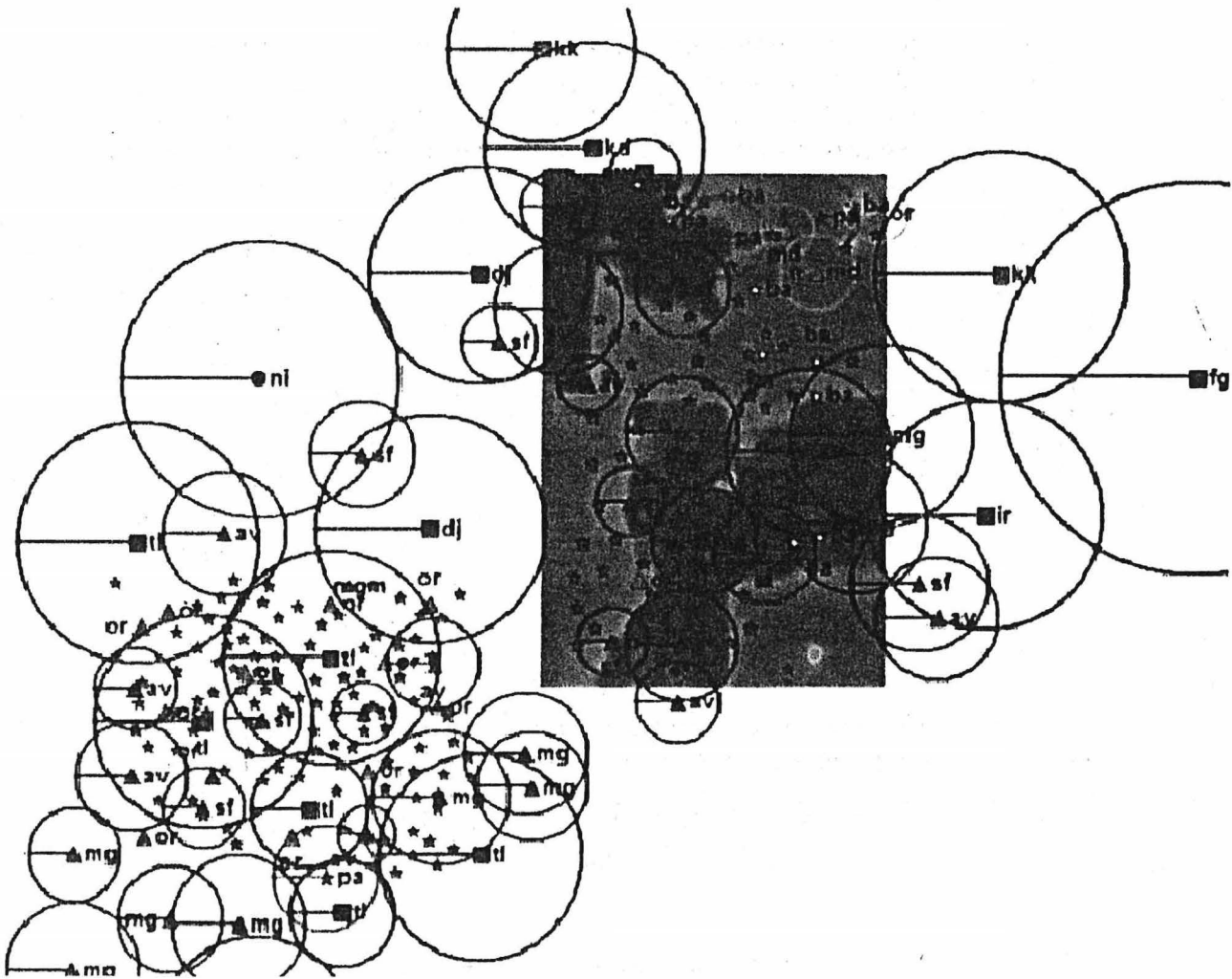


Figure N°18 : illustration des deux couches : la couche ponctuelle et la couche moquette

Sur la cartographie de gauche on a disposé une couche ponctuelle unique reprenant l'ensemble des individus identifiés, sur la cartographie de droite, on a fait se superposer une couche moquette en dessous sur laquelle on a ajouté une couche ponctuelle des individus identifiés sur la parcelle.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode mathématique d'analyse des données qui consiste à rechercher les directions de l'espace qui représentent le mieux les corrélations entre n variables aléatoires. Elle permet de mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables mesurées au sein de populations et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

« Couche moquette » de l'ouverture de canopée, l'ambiance radiative et le feuillage

En opposition avec les couches ponctuelles, on les a nommées « **couches moquettes** », car elles représentent un « tapis » renseignant sur les ambiances mesurées variables sur l'ensemble de la parcelle. Quand les coordonnées spatiales de chaque piquet sont repérées sur la carte, on réalise une extrapolation des données d'ambiance collectées entre les piquets, deux à deux. On obtient un gradient colorimétrique symbolisant les évolutions et accidents dans l'ombrage et la lumière disponible, à l'intérieur de la sous-parcelle analysée, pour chaque strate végétale ainsi matérialisée. Chacune des variables renseignées par le logiciel GLA est ainsi matérialisée et cartographiée. Il faut signaler que les « **couches ponctuelles** » seront toujours superposables entre elles et visualisables au dessus d'une « **couche moquette** ». A la différence, les « couches moquettes » ne pourront jamais apparaître en superposition entre elles car elles forment un tapis coloré qui empêchera de distinguer une autre couche moquette positionnée en dessous.

Quand la cartographie est réalisée et renseignée, le logiciel de SIG permet l'impression des cartes, sous forme de fichier photo. Le format JPEG a été retenu afin de procéder à des redécoupages des cartes et des compressions à taille réduite, plus simples d'utilisation.

3.3.6. Collecte des données radiatives et d'ombrage pour chaque arbre

Afin d'obtenir les données radiatives propres à chaque arbre (et non plus à chaque piquet de mesure autour des cacaoyers), on relève ponctuellement, à l'aide du logiciel MapInfo 6, les données extrapolées disponibles sur les cartes. Ensuite, le logiciel est capable de fournir la valeur extrapolée de n'importe quel point positionné à l'intérieur de la « couche moquette » entre deux piquets de mesure. Ces données seront nécessaires pour le traitement statistique et la recherche de corrélation en vue d'expliquer la variabilité observée entre les individus. Par cette dernière étape, on finalise les bases de données des individus. En plus de leurs coordonnées spatiales et de leurs caractérisations agronomiques, on intègre les données d'ambiance radiatives.

3.3.7. Traitement statistique

Le logiciel StatBox 6 a été choisi pour réaliser ce travail. Grâce à cet outil statistique, on cherche les corrélations (corrélations de Pearson), et on réalise des Analyses en Composantes Principales (ACP) afin de trouver un lien entre les variabilités observées et matérialisées cartographiquement, et les données biophysiques collectées tout au long de l'expérimentation.

3.3.8. Interprétation

Quand toutes ces étapes sont achevées, on interprète visuellement les cartes : comparaison visuelle des cartes entre elles, graphique des valeurs ponctuelles obtenues et enfin statistiques des individus et des valeurs des PH obtenues.

PARTIE III

Résultats & Discussion

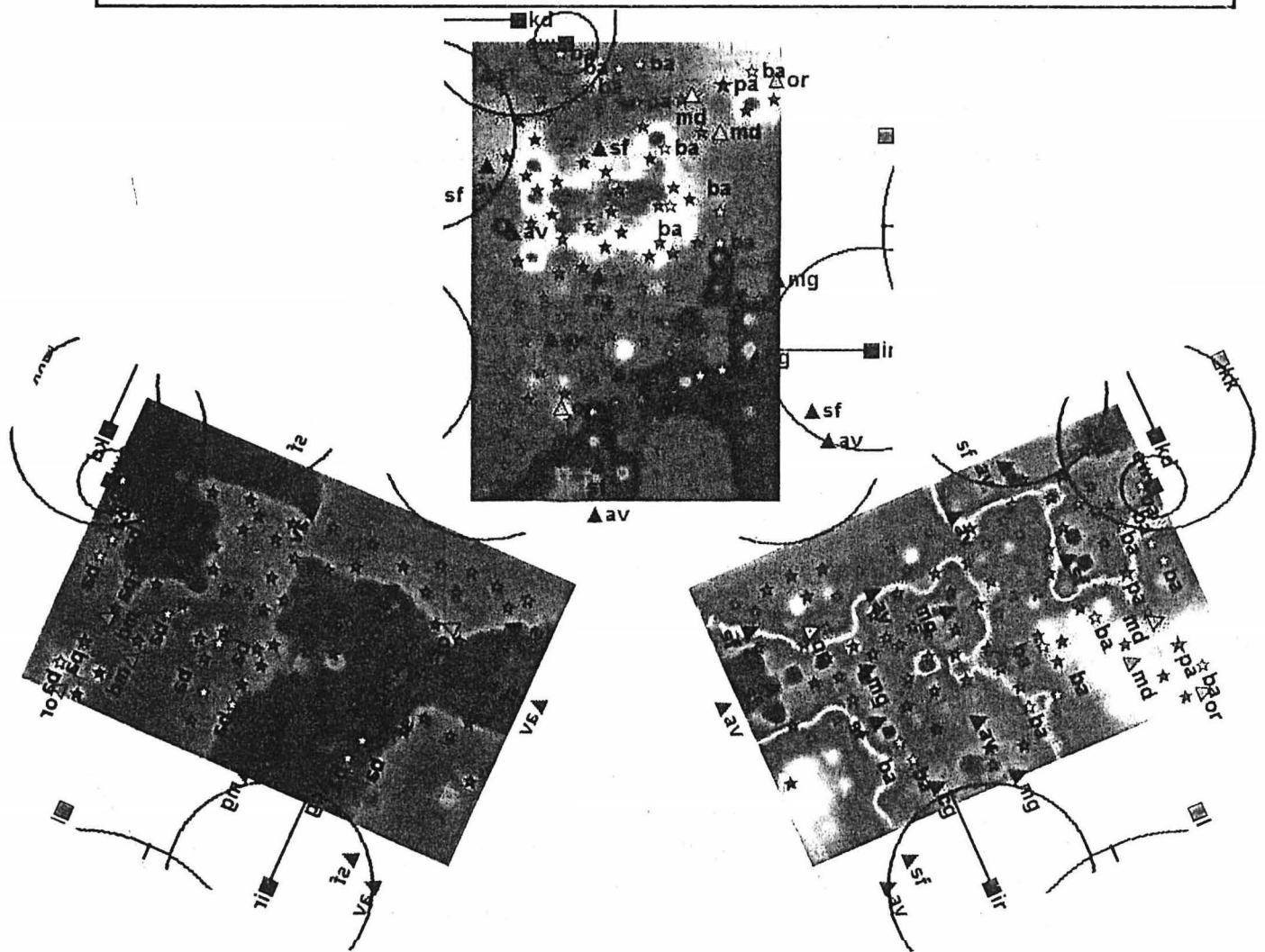


Figure N°19 : Cartographies d'ambiances radiatives et foliaires

Elaboration personnelle MapInfo 6
D'après données terrain ATP CARESYS 2007

Partie III : Résultats & Discussion

Les SAF sont des systèmes qui associent sur une même parcelle des espèces pérennes et vivrières. Ce sont des systèmes où l'hétérogénéité est omniprésente et systématique.

L'étude de cette hétérogénéité de développement de parcelles agroforestières porte sur la complexité des critères biophysiques et sur son aspect multifactoriel.

Après une constatation de l'hétérogénéité multiple, nous classerons les arbres d'ombrage et les cacaoyers dominés.

Nous verrons que la lumière et sa disponibilité, au sein des strates et des structures végétales cumulées, n'en sont pas les causes directes, mais y contribuent très fortement.

La lumière, par son chemin à l'intérieur des strates végétales, est, elle-même créatrice d'une partie de la variabilité constatée dans le développement du feuillage des cacaoyers mais aussi dans la répartition des ravageurs à l'intérieur des cacaoyères.

1. Hétérogénéité des SAF et classement des arbres d'ombrage

Il existe de très nombreuses raisons connues, d'autres constatées, permettant d'expliquer en partie l'hétérogénéité des SAF caractérisés au cours de cette étude. Nous en citerons quelques unes avant de nous intéresser à l'une d'entre elles plus particulièrement : la canopée d'ombrage et son impact sur l'environnement radiatif. Il a fallu pour cela réaliser une classification des arbres d'ombrage.

1.1. Hétérogénéité connue

1.1.1. Ressources techniques et monétaires limitées

Le manque de moyens financiers rend difficile pour le planteur la gestion optimale de son système. Il ne peut pas effectuer les actions vitales à sa cacaoyère en une seule opération ; il doit toujours fractionner les activités (travail et intrants) menées pour la conduite de son système agricole. Le plus souvent la cacaoyère tourne en circuit ouvert : les récoltes exportent la matière végétale et organique. Les retours en amendements, organiques ou chimiques, sont minimes ou inexistantes. Les planteurs fertilisent, apportent de la matière organique ou plantent des légumineuses uniquement lorsqu'ils pratiquent l'association culturale avec le vivrier (cacaoyers encore immatures).

Cette impossibilité de gérer les parcelles de manière homogène et uniforme avec les intrants et les extrants renforce l'hétérogénéité globale de développement des arbres : cacaoyers et arbres d'ombrage et des SAF dans leur organisation spatiale plus généralement.

1.1.2. Conditions pédoclimatiques difficiles

La qualité des sols lors de l'implantation de la cacaoyère n'est pas optimale pour la croissance d'espèces pérennes et peut être qualifiée de mauvaise pour la croissance de ces espèces. Cela ne facilite pas le démarrage, ni la conservation d'un peuplement homogène de jeunes cacaoyers fragiles, ni le développement homogène des espèces ligneuses d'ombrage au dessus.

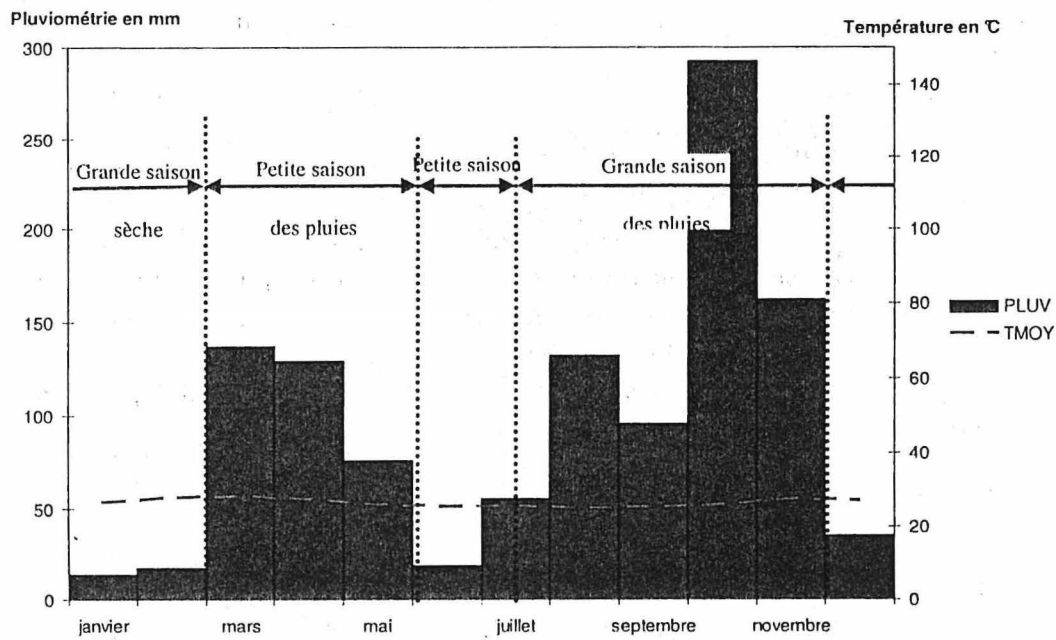


Figure N°20 : Diagramme ombrothermique de Kédia (sources : Ohno Emile, planteur à Kédia, 2003-2004, cité par Glatard 2006)

Comme le montre la **Figure N°20**, le Centre Cameroun est une région caractérisée par deux périodes de sécheresse : une grande et une petite. L'absence de couvert végétal et forestier en savane au lancement des SAF, lorsque les arbres d'ombrage sont en pleine phase de croissance ne protège pas le système contre les déficits hydriques et les hautes températures qui peuvent être mortels pour de jeunes arbres lors de la grande saison sèche de Décembre à Mars (3 mois complet).

1.1.3. Ravageurs bien présents

La savane est un écosystème où la pression parasitaire est très forte. Les terres de savanes sont « ravagées » par des infestations d'insectes qui, par leurs prélèvements alimentaires, piquent, défolient et tuent les jeunes pousses d'arbres. Les insectes, associés à des conditions pédoclimatiques stressantes, entraînent une forte mortalité des jeunes arbres lors des années d'installation de la cacaoyère. On peut observer, en savane, des arbustes, dont le feuillage a été totalement dévoré par les insectes, ce qui entraîne une mortalité assurée pour les individus les plus fragiles, placés dans des conditions rudes d'implantation. Ces insectes choisissent de piquer et de manger, pour commencer, les parties tendres et vertes des arbres. Ils s'orientent vers les individus les plus jeunes. Cela vient amplifier la pression des insectes et leurs ravages lors de l'implantation d'une nouvelle cacaoyère constituée d'individus tendres et fragiles, exposés au soleil sans ombrage protecteur. Les piqûres des insectes ne tuent pas directement les arbres mais les affaiblissent fortement. Lorsque la saison sèche revient, les individus touchés sont d'autant plus sensibles et vulnérables à la sécheresse. La pression parasitaire qui règne dans une cacaoyère installée en savane semble, certes, un peu moins élevée quand les arbres sont installés et développés, mais ne disparaît jamais.

1.1.4. Variabilité intra-spécifique forte

Les planteurs dégagent peu de revenus de leurs cacaoyères où de leurs systèmes de production en général. Leur accès aux intrants et au matériel végétal sélectionné et de bonnes qualités, cacaoyers, mais aussi arbres fruitiers et forestiers, en est d'autant diminué et limité. La pratique du greffage est encore trop peu répandue lors du renouvellement des pieds de cacaoyers morts ou lors de l'installation de toute nouvelle parcelle cacaoyère.

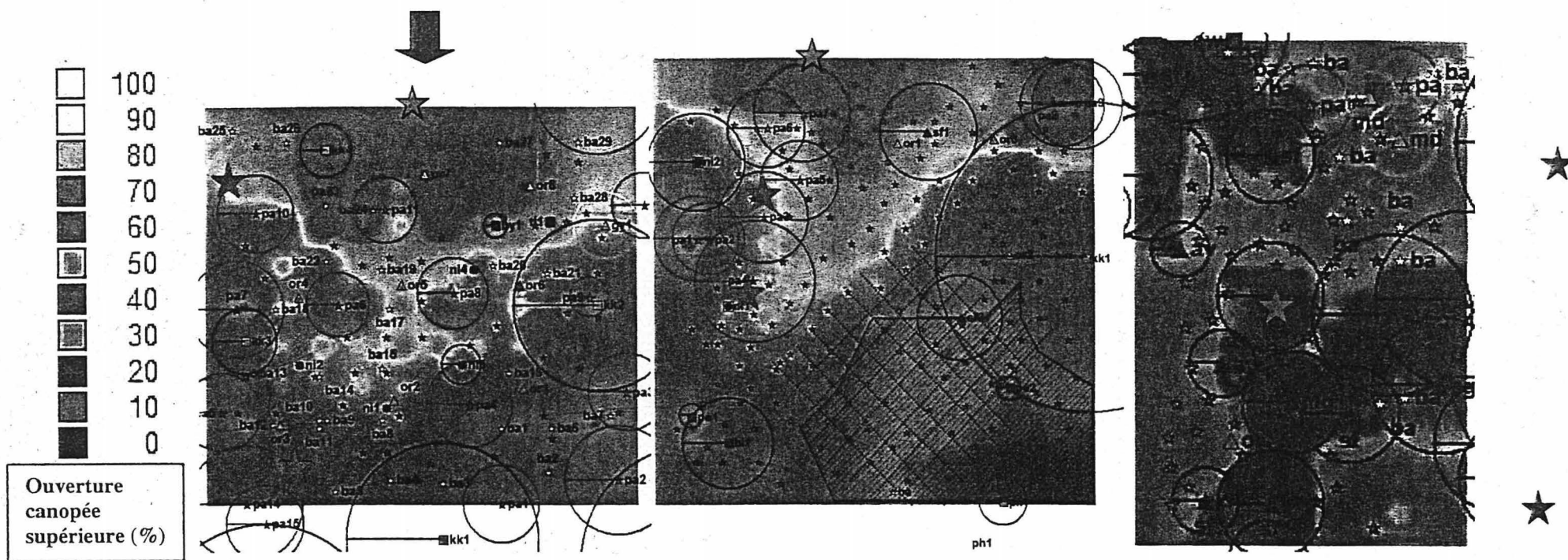
Les semenceaux plantés sont non-sélectionnés et d'origines trop variées. C'est la pratique du « tout venant ». De ce fait, les associations de plants de cacaoyers à l'intérieur d'une même parcelle sont trop variables et trop différentes les uns des autres pour que la parcelle puisse se développer de manière homogène.

Figure N°21 : Cartographies de l'ouverture de la canopée supérieure classée par ancienneté de stade de chronoséquence

Figure 21.1 : Stade
Cacaoyers immatures
associés au vivrier : 3-5 ans

Figure 21.2 : Stade
Cacaoyers matures
dominants : 5-9 ans

Figure 21.3 : Stade
Cacaoyers matures
dominés : >9 ans



★ = Accidents de surmortalité et absence localisée de cacaoyers

1.2. Hétérogénéité constatée

1.2.1. Hétérogénéité intra et inter-parcellaire des arbres d'ombrage

Les trois *Figures N°21* représentent les cartes de l'ouverture de canopée supérieure de trois parcelles qui se suivent dans l'ordre de la chronoséquence. On observe que l'espèce des arbres d'ombrage, leur disposition, leur développement, leur association entre leurs feuillage et branchages, induisent une hétérogénéité dans la couverture supérieure des arbres d'ombrage à l'intérieur de chaque parcelle (intra-parcellaire) et entre les parcelles d'âge différent (inter-parcellaire). Plus la parcelle vieillit, plus l'ombrage s'installe en s'intensifiant. A mesure que les arbres d'ombrage deviennent matures et dominants dans le temps (chronoséquence), les cartes s'assombrissent de plus en plus avec l'avancée en âge de la cacaoyère :

- *Figure 21.1 : stade cacaoyers immatures et vivriers*, la couleur est comprise entre le rose et le vert foncé, soit une ouverture de canopée comprise entre 40 % et 60 %.
- *Figure 21.2 : stade cacaoyers matures dominants* la couleur est comprise entre le rose et le bleu marine, soit une ouverture de canopée comprise entre 20 % et 60 %.
- *Figure 21.3 : stade cacaoyers matures dominants*, la couleur est comprise entre le vert clair et le bleu marine, soit une ouverture de canopée comprise entre 10 % et 50 %.

1.2.2. Hétérogénéité intra-parcellaire de plantation des cacaoyers

Toujours à partir des trois *Figures N°21*, on remarque que l'implantation des cacaoyers n'est pas toujours structurée ni organisée volontairement par le planteur.

Seule la *Figure N°21.2*, stade *cacaoyers matures dominants*, présente une architecture dans l'implantation des cacaoyers que l'on retrouve sur la parcelle et symbolisée par un quadrillage en pointillé tracé au centre de la parcelle. Les cacaoyers semblent tracer des lignes en diagonales de la parcelle.

Sur les deux *Figures N°21.1* et *N°21.3*, on n'arrive pas à retrouver cette trame d'installation lors de la création des cacaoyères. Elles ne semblent pas avoir été plantées selon un plan défini au préalable. C'est encore une pratique très répandue chez les petits planteurs. Ils ne font pas l'effort de quadriller leurs parcelles au moment de l'implantation. Ceci entraîne à la naissance même de la parcelle une hétérogénéité qui ne pourra que s'accroître avec le temps, avec les compétitions intra et interspécifiques entre les arbres présents, avec les aléas climatiques et avec la mortalité aux multiples causes.

De plus, comme en témoignent certaines zones repérées à l'aide d'étoiles rouges sur les *Figures N°21* : on observe des zones où les cacaoyers sont totalement absents et, à proximité, des zones trop denses en cacaoyers. C'est une des conséquences de la forte mortalité rencontrée lors de l'installation des plantations (sécheresse, ravageurs, rigueur du milieu, ...) et de la sélection naturelle intransigeante. Celle-ci pousse les agriculteurs à planter les cacaoyers en surdensité, la nature en éliminant une partie. La densité retourne naturellement à des valeurs plus faibles.

Tous ces facteurs entraînent une hétérogénéité complexe intra-plantation.

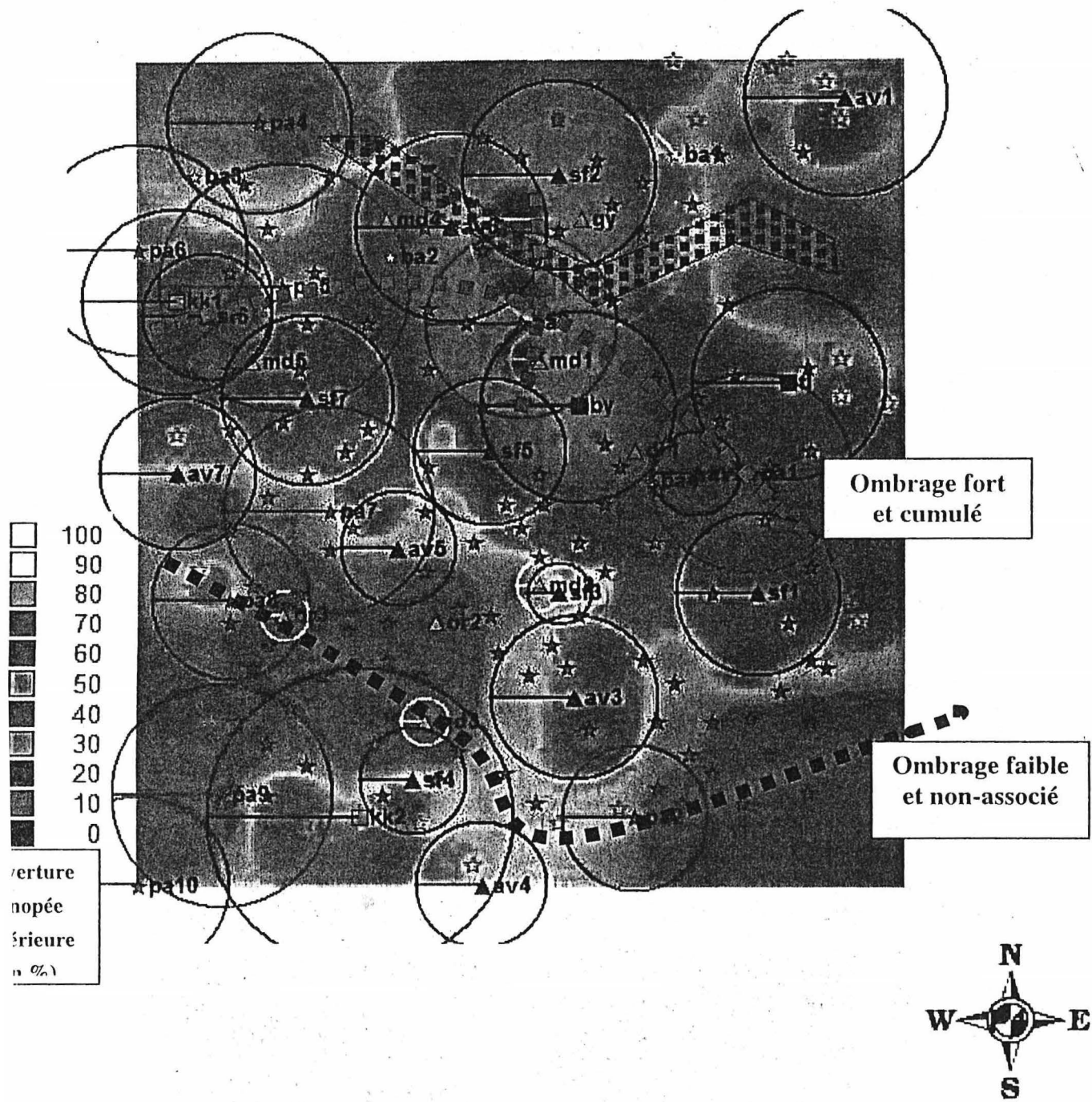


Figure N°22 : ouverture de la canopée supérieure : stade cacaoyers matures dominants : 3 à 9 ans.

1.2.3. Hétérogénéité de la répartition et de la densité de plantation des arbres d'ombrage

La *Figure N°22* présente l'ouverture de la canopée supérieure d'une parcelle de stade *Cacaoyers matures dominants*.

Une hétérogénéité apparaît dans la **distribution non proportionnelle des espèces** composant les arbres d'ombrage, mais également au niveau de la **densité** de plantation de ces mêmes arbres. Enfin, on observe une troisième hétérogénéité dans la **surface couverte par le feuillage** des couronnes de recouvrement de cette canopée d'ombrage :

- Le Nord de la carte et les côtés (identifiés par des pointillés rouges) sont caractérisés par des zones où le feuillage des arbres d'ombrage est dense et fort (taches vertes et bleues turquoise : 30 à 40 % d'ouverture de canopée). Ce sont des zones où les espèces d'ombrage sont proches les unes des autres, et cumulent leurs branchages du fait de leur proximité.
- Le Sud de la carte (identifiés par des pointillés noirs) est caractérisé par deux zones où le feuillage des arbres d'ombrage est beaucoup moins présent voir même absent (taches de couleur mauve à rouge : 60 à 70 % d'ouverture de canopée). Les espèces sont moins nombreuses, moins proches les unes des autres et produisent un ombrage plus faible. Parfois les arbres d'ombrage sont tellement éloignés les uns des autres qu'il y a des parties de la parcelle sans ombrage supérieur.

Sur cette parcelle on remarque la forte diversité des espèces d'arbres d'ombrage et leur répartition hétérogène sur la parcelle. On y retrouve : 2 palmiers, 3 bananiers, 7 safoutiers, 1 goyavier, 5 mandariniers, 3 orangers, 1 tali (de la famille des baobabs), et 2 kikoum (également baobabs). Tous ont des couronnes de recouvrement et des feuillages au développement varié.

Les espèces plantées au sein d'une parcelle, leur densité de plantation entre les zones d'une même parcelle et leur différence en terme de qualité de développement entre chacun de ces arbres est bien une des caractéristiques des SAF du centre Cameroun et de la ZTH en général.

Absence de canopée supérieure

Figure N°23.1 : l'ouverture de canopée Figure 23.2 : la transmission directe

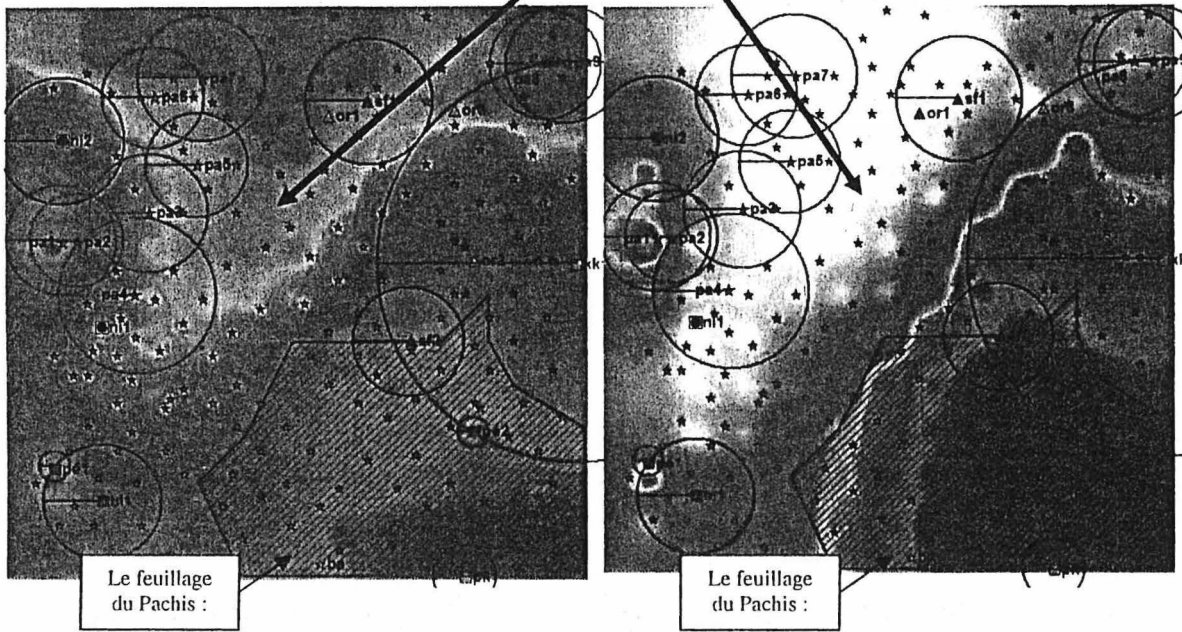
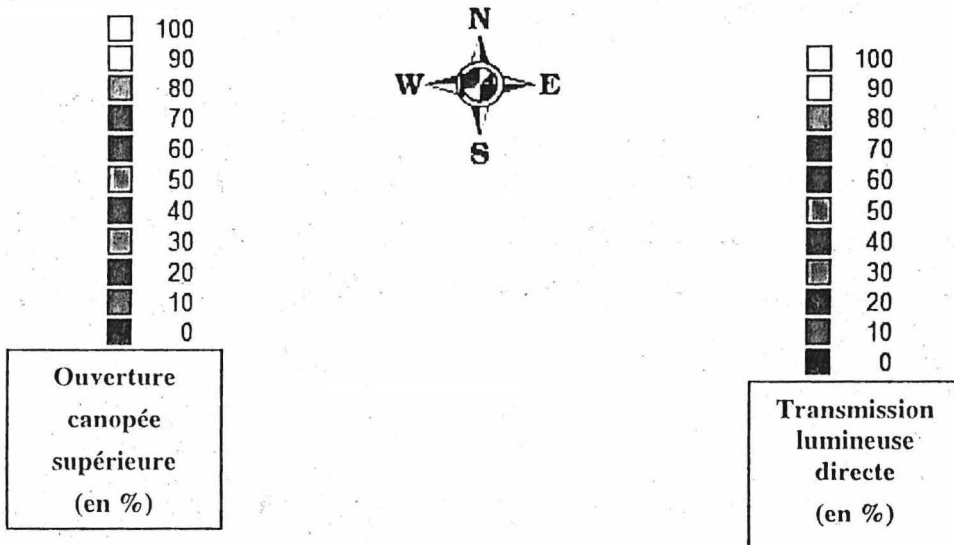


Figure N°23 : l'ouverture de la canopée supérieure & la transmission lumineuse directe , en pourcentages, stade cacaoyers matures dominants : 5 à 9 ans.



1.2.4.Hétérogénéité d'influence de l'âge de la canopée

Les Figures N°23 et N°24 présentent un ou des arbre(s) mature(s), conservé(s) lors de l'installation d'une plantation (cacaoyers et arbres d'ombrage). Ces arbres jouent un rôle surdimensionné par rapport aux arbres plus jeunes, immatures, moins développés et plantés en même temps que la cacaoyère.

1.2.4.1.Influence d'un seul arbre d'ombrage sur l'ensemble de la parcelle

L'espèce, l'âge et la taille, la couronne d'un arbre d'ombrage influencent fortement la quantité de lumière qui arrivera après passage au travers de son feuillage au dessus des cacaoyers.

On cherche à représenter l'influence du Pachis², un arbre d'ombrage unique, au Sud de la carte, sur l'ensemble de la parcelle. C'est un arbre forestier, plus âgé que la parcelle, au feuillage au port haut, dense et étagé. La surface couverte au sol par son feuillage est représentée par un polygone bleu hachuré. La Figure 23.1 représente l'ouverture de la canopée au dessus des cacaoyers, la Figure 23.2 représente la transmission totale mesurée ayant traversé la strate supérieure des arbres d'ombrage.

En comparant les deux cartes, on remarque que le découpage du feuillage (polygone hachuré) est presque celui qui se dessine dans l'ouverture de canopée mesurée (limite de couleur entre le vert foncé et le bleu marine).

Pourtant, sur la carte de la transmission lumineuse (Figure 3.2), si l'on observe uniquement le flanc gauche du feuillage (car non cumulé avec d'autres arbres d'ombrage), on devrait trouver, à la limite du polygone/feuillage, des conditions de lumière quasi-totale puisque sans feuillage ni canopée supérieure d'interception. Hors on observe que l'influence de cet arbre haut, étagé et au feuillage dense déborde et dépasse l'arrêt du feuillage (couleur mauve en bordure : 60% de transmission totale). Il faut s'éloigner de quelques mètres à l'extérieur du feuillage pour trouver des valeurs de lumière quasi non-interceptée (couleur rouge-jaune-blanc : 80, 90 à 100% de transmission totale).

Au centre et au nord de la parcelle, bien qu'il n'y ait aucun arbre d'ombrage, l'ouverture de la canopée n'est que de 55% (couleur rose vert) ce qui signifie que l'on retrouve l'influence du Pachis solitaire. En effet, les seuls arbres à proximités sont des palmiers au feuillage clairsemé et procurant très peu d'ombrage.

On voit que sur une parcelle de moins de 8 ans, il n'est déjà plus possible de trouver des zones où l'ouverture de canopée est totale (90 à 100 %). L'ombrage présent, même s'il ne recouvre pas l'ensemble de la surface de la parcelle, par son développement et sa hauteur au dessus des cacaoyers, a une influence sur la totalité de la cacaoyère et limitera les quantités de lumière également aux zones non-recouverte d'un feuillage au dessus d'elle.

Le comportement de la lumière ne suit pas une évolution proportionnelle face à l'évolution intra-parcellaire de l'ouverture de la canopée. On voit clairement en comparant les Figures 23.1 et 23.2 que la lumière croît plus vite que ne disparaît le feuillage des arbres d'ombrage qui l'intercepte. Autant l'ouverture de canopée ne dépasse pas 60 % (couleur rose-mauve) dans les zones non couverte de feuillage, autant, la lumière, elle, dans de petites zones découvertes et éloignées de la proximité d'un feuillage d'ombrage peut tout de même atteindre 90 % (couleur jaune).

² *Azelia pachyloba* de la famille des *Caesalpinaceae*

1.2.4.2. Rôle de l'âge et du développement d'un arbre d'ombrage sur le bilan radiatif

La **Figure N°24** présente une jeune parcelle immature, plantée en 2004 en même temps que son ombrage. On s'intéresse ici à l'influence des 3 arbres en dehors de la sous-parcelle au sud. Ce sont deux Bangbayes³ (abréviation : **by**) et un Kikoum⁴ (**kk**). Ils sont plus âgés que la cacaoyère de plusieurs dizaines d'années et leurs feuillages s'élèvent à une quinzaine de mètres au dessus du sol. Ils ont le port haut, au feuillage dense, étagé et cumulé. L'ombrage installé sur la parcelle est, comme les cacaoyers, immature et de fait encore quasi absent et non-influent.

Pourtant on peut relever que la moitié inférieure de la parcelle (au Sud) a une ouverture de sa canopée de 40% (couleur vert, vert foncé). A l'inverse, la moitié supérieure (au Nord) qui ne profite pas de l'influence proche de ce type d'arbres gigantesque présente, elle, une ouverture de canopée de 60 à 70% (couleur mauve à rouge).

Comme pour la **Figure N°23**, on observe l'influence que peuvent avoir quelques arbres au feuillage dense, stratifié et bien développé en hauteur sur une strate inférieure de cacaoyers.

La variabilité de lumière, disponible pour des cacaoyers constituant la strate inférieure, dépendra donc pour partie de l'hétérogénéité de plantation des arbres d'ombrage sur et autour de la parcelle. Elle dépendra également de l'âge, de la diversité spécifique et de la répartition des différentes espèces et familles d'arbres d'ombrage présents sur la parcelle ou en bordure proche.

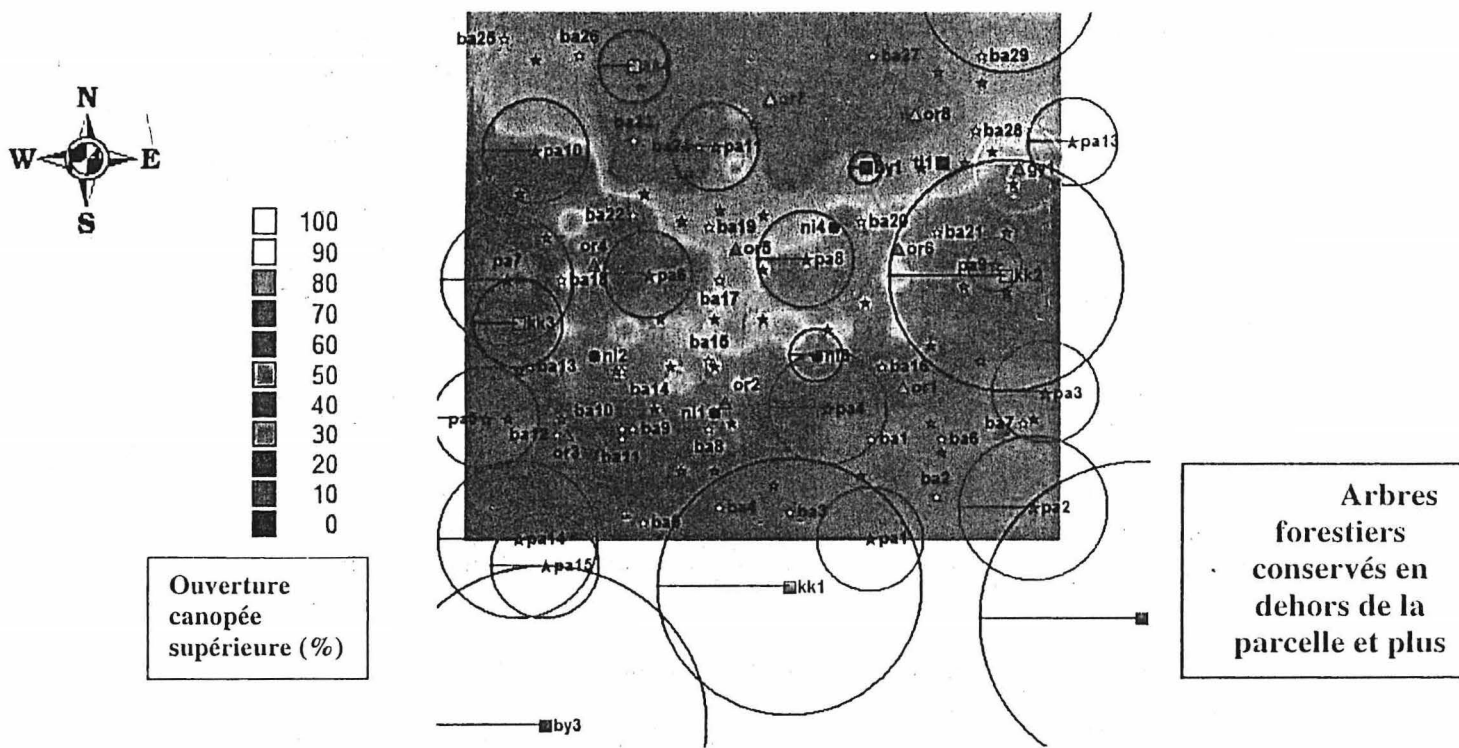


Figure N°24 : Ouverture de la canopée supérieure, stade cacaoyers immatures & vivrier : 3 à 5 ans

³ Le Bangbaye : *Albizia adianthifolia* de la famille des *Mimosaceae*.

⁴ Le Kikoum fait partie de la famille des *Bombacaceae*.

1.2.5. Hétérogénéité intra-spécifique du feuillage : la couronne de recouvrement

Grâce à la mesure de la projection au sol de la plus grande branche des arbres d'ombrage : la couronne de recouvrement, il a été possible de matérialiser par un cercle sur les cartes la découpe du feuillage de la canopée au dessus des cacaoyers.

Précédemment, on a mis en avant la forte diversité spécifique des arbres d'ombrage à l'intérieur d'une même parcelle. Chaque espèce produit un feuillage aux caractéristiques propres : morphologie et quantité de feuilles, qualité de répartition, densité du feuillage, étagement, strates et hauteur du feuillage.

Certaines espèces émettent des branches qui, mêmes cumulées entre elles, ne forment pas un cercle. D'autres espèces, bien que leur branchage soit circulaire, ne recouvrent pas de feuilles toute la surface du branchage. D'autres encore, présentent des accidents dans la couverture de leur feuillage (absence et/ou surdensité de feuilles).

L'âge et la maturité des arbres jouent également un rôle dans la qualité du feuillage des couronnes.

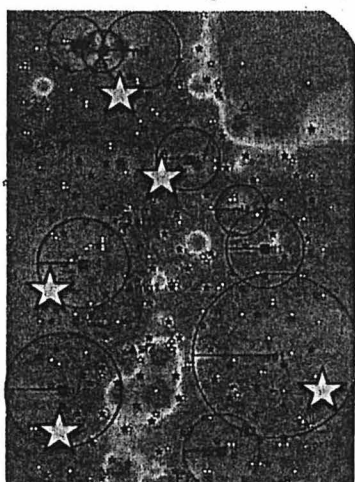


Figure N°25 : Ouverture de la canopée supérieure, 2004

Enfin, la variabilité de nature et de répartition des sols au sein de cacaoyères installées en savane (Glatard, 2006) induit un développement différencié entre deux arbres de la même espèce mais qui seraient éloignés au sein d'une même plantation.

Chaque arbre propose donc une couronne de recouvrement différente de ses voisins : intra et inter-spécifiquement.

Ceci implique que la modélisation cartographique des couronnes n'est pas toujours représentative de la réalité individuelle. Elle est plus ou moins inexacte en fonction des différentes espèces. Elle exagère parfois le rôle réel des couronnes foliaires. La **Figure N°25** présente ces erreurs de modélisation qui peuvent apparaître dans la représentation des couronnes de recouvrements des arbres d'ombrage.

On a repéré (étoiles orange) sur cette carte quelques arbres d'ombrage dont la couronne schématisée par les cercles exagère la réalité de leur réel feuillage. Ces exagérations apparaissent à l'intérieur des couronnes. On observe des accidents et des irrégularités dans l'homogénéité du feuillage de certains arbres mesurés.

Si le feuillage des couronnes s'était développé de manière homogène, on ne devrait pas observer de variation dans la couleur à l'intérieur des cercles dessinés. Pourtant, les couronnes ainsi dessinées présentent des accidents et taches plus claires ou plus foncées à l'intérieur. On remarque des taches bleu clair (ouverture de la canopée supérieure de 30%) ou vert clair (ouverture de la canopée de 50%).

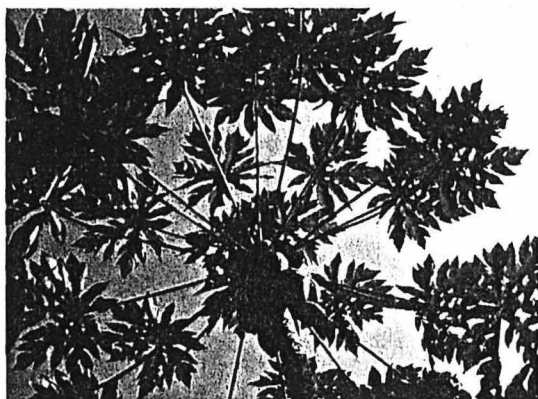


Figure N°25 bis : la couronne d'un papayer photographié du dessous : exemple d'un arbre à la couronne bien circulaire mais inégalement répartie en feuillage

Le feuillage des couronnes des arbres d'ombrage est variable et hétérogène. Son influence au dessus des cacaoyers, sur chacun des arbres, sera alors forcément, elle-aussi, variable et hétérogène sur la lumière qui sera disponible pour la strate inférieure des cacaoyers.

1.2.6. Hétérogénéité et superposition du feuillage des arbres d'ombrage

La **Figure N°26** présente la parcelle la plus âgée de ce projet. Les cacaoyers sont matures et dominés par un ombrage lui aussi mature et fortement dominant.

On a montré que les arbres peuvent se différencier en terme de nature d'ombrage intra et interspécifique et donc varier dans la force d'ombrage produit au dessus de la state des cacaoyers. Il faut également prendre **en compte l'aspect cumulatif des strates foliaires entre elles** :

- lorsque celles-ci sont multiples au sein d'un seul et même arbre,
- mais surtout, lorsque les couronnes de plusieurs arbres s'associent et se cumulent pour réaliser une couverture foliaire multistrates dense.

Lorsque les feuillages se superposent entre eux, on arrive à des valeurs d'ouverture de canopée de 10% (fermeture de la canopée maximale de 90% couleur marron).

Pour cela, on a observé 3 espèces fortement représentées à travers les parcelles étudiées : safoutier⁵, manguié⁶, avocatier⁷ (sf, mg, av).

A chaque fois, la comparaison des valeurs d'ouverture de canopée entre des zones où l'arbre est seul à produire cet ombrage et des zones où l'arbre est associé à d'autres pour produire l'ombrage, montre que ces valeurs varient et diffèrent d'une situation à l'autre :

- leur feuillage, non cumulé, est matérialisé en bleu-clair : soit des valeurs d'ouverture de la canopée de 30%, et de transparence dans leur couronne foliaire. (flèches jaunes).
- pour ces mêmes arbres, lorsque leur feuillage est associé avec celui d'arbres voisins, on observe une couleur marron d'ouverture de la canopée de 10% et donc une quasi-fermeture du feuillage au dessus des cacaoyers. (flèches rouges).



Figure N°6 : Ouverture de canopée supérieure, parcelle de 1996.

La force d'ombrage d'un arbre à recouvrir de son feuillage la canopée n'est pas la même que lorsqu'il se cumule et/ou superpose avec l'un de ses voisins. Ces valeurs extrêmes d'ouverture de la canopée qui atteignent jusqu'à 10% provoquent une quasi disparition de rayons lumineux directs. La lumière n'est plus que faiblement apportée par des phénomènes de réflexion et de diffraction.

Cette diminution drastique des conditions lumineuse impactera directement la photosynthèse des cacaoyers plantés en dessous comme nous le montrerons plus tard sur la même parcelle.

⁵ L'avocatier : *persea americana* de la famille des *Lauraceae*

⁶ Le safoutier : *dacryodes edulis* de la famille des *Burseraceae*

⁷ Le manguié : *Bridelia micrantha* de la famille des *Euphorbiaceae*

Tableau N°6 : les différentes espèces d'arbres d'ombrage et le classement des espèces en termes de force d'ombrage

Classe d'ombrage :		Nom vernaculaire :	Nom commun :	Nom scientifique :	Famille :	Abréviation :
Faible	Palmier	npil	palmier	elaeis guinéensis	palmaceae	pa
	Goyavier		goyavier	Psidium guajava	Myrtaceae	gy
	Oranger	poufoubou	oranger	citrus sinensis	Rutaceae	or
	Mandarinier		mandarinier	citrus nobilis	Rutaceae	md
	Kikoum	kikoum	esoldoum		Bombacaceae	kk
	Padouk		padouk	Pterocarpus soyauxii	Papillonaceae	pk
	Aiéélé	pouèt	aiélé	canarium schweinfurthii	Burseraceae	pé
Fort	Avocatier	poufia	avocatier	persea americana	Lauraceae	av
	Safoutier	poutol	safoutier	dacryodes edulis	Burseraceae	sf
	Pommier cithère	pouotô	manguier	manguifera indica	anacardiaceae	mg
		casmanga	pommier cythère	spondias cytherea	anacardiaceae	cg
	Bangbaye		bangbaye	Albizia adianthifolia	Mimosaceae	by
	Tali	kitonde	tali	Erythrophleum suavedens	Fabaceae	tl
	Pachis		pachis	Azelia pachyloba	Caesalpiniaceae	ph
	Bridelia	inoumba	iroko	milicia excelsa	Moraceae	bi
	Fromager	kikoum	fromager	ceiba pentandra	Bombacaceae	fg
	Djansang	sasanga	djansang	ricinodendron heudelotii	Euphorbiaceae	dj
		ossoto	kitoned	Albizia zygia	Fabaceae	kd
	Manguier		Ewolote	Bridelia micrantha	Euphorbiaceae	mg
			iloum	bridelia ferruginae	Euphorbiaceae	il

1.3. Classification des arbres d'ombrage et des cacaoyers dominés

Une fois le travail de caractérisation de l'ambiance radiative des cacaoyères débuté, il est devenu nécessaire de classer les arbres d'ombrage. La grande diversité des espèces : 21, sans compter les variantes intraspécifiques, sur un lot de parcelle restreint (seulement 6 parcelles) nécessitait de pouvoir classer en vue de clarifier les situations des ambiances radiatives en fonction de la nature de l'ombrage supérieur.

1.3.1. Classification des arbres d'ombrage

Il a été retenu deux classes selon les critères décrits ci-dessous :

- **Classe d'ombrage Faible** : Arbre forestier ou fruitier. Port bas de la couronne foliaire, peu étagée. Feuillage clairsemé et/ou peu dense.
- **classe d'ombrage Fort** : Arbre forestier ou fruitier. Port haut de la couronne foliaire, étagée et stratifiée. Feuillage dense et bien réparti sur l'ensemble de la couronne.

Le **Tableau N°6** présente les espèces rencontrées au sein des parcelles caractérisées.

Seuls les bananiers plantains ne rentrent pas dans ce classement et ce pour plusieurs raisons. La première est qu'ils ne se retrouvent plus à l'intérieur des deux derniers stades lorsque les cacaoyers sont matures (pour limiter toute concurrence racinaire et lumineuse). La seconde est que l'ombrage qu'ils procurent étant très faible, on ne peut parler, au regard des autres espèces ligneuses, de réelle force d'ombrage. Leurs feuilles sont claires, larges mais faiblement translucides et surtout couvrent une surface circulaire bien plus faible que les autres arbres toutes espèces confondues. Enfin, à l'intérieur de cette couronne de recouvrement, la surface n'est que très peu recouverte de ce maigre feuillage.

1.3.2. Evolution de dominance des classes d'ombrage au fil des stades de chronoséquence

Le SAF doit être envisagé et se manager sur plusieurs décennies. A ce titre sa gestion évolue à mesure que la cacaoyère mûrit et vieillit.

Première évolution : la disparition du vivrier et des bananiers

D'abord, par une association culturale multiple (cacao, ombrage, vivrier); le planteur dégage sa nourriture quotidienne ainsi que de faibles revenus, grâce au vivrier et aux bananiers plantains, à un moment où les cacaoyers sont immatures et improductifs. Puis, progressivement le vivrier et les bananiers sont éliminés et/ou non replantés afin de ne pas provoquer de concurrence pour les ressources nutritives et radiatives lors de l'entrée en maturité des cacaoyers et des arbres d'ombrage. Une première évolution en termes de structure interspécifique s'opère alors entre 3 et 5 ans après l'installation du SAF.

Evolution des classes d'ombrage :

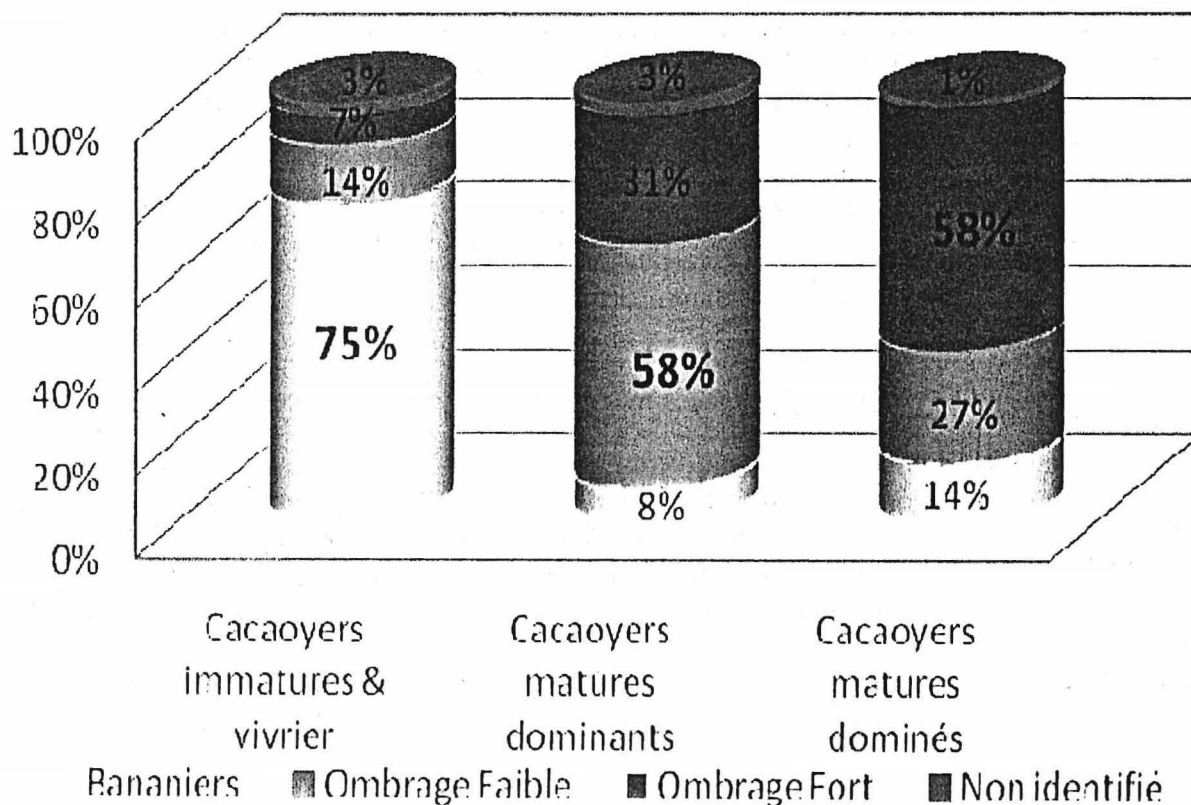


Figure N°27 : Répartition des d'arbres d'ombrage classés et organisés par stade de la chronoséquence

Deuxième évolution : une mortalité en attendant un ombrage protecteur

Le taux élevé de mortalité des arbres (toutes espèces confondues) lors des premières années d'une cacaoyère sur savane oblige le planteur à sur-planter au démarrage les espèces pérennes qu'il lui faudra au final, une fois le système stabilisé. En effet, la mortalité une fois déduite (sécheresse, pression parasitaire, faible potentialité des sols de savane, termites), diminue les densités de plantations des arbres d'ombrage et des cacaoyers. Une fois le système stabilisé et bien lancé, le planteur peut à sa guise éliminer certains arbres trop proche, favoriser une espèce plus qu'une autre volontairement, élaguer pour favoriser la croissance de certains individus, éliminer certains arbres spontanés ou conservés à l'installation mais produisant maintenant trop d'ombrage, etc. Ainsi, par ces disparitions successives, la comparaison des peuplements intra-parcelle est évolutive au cours du temps et des stades de la chronoséquence.

De plus cette stratégie de sur-densifier au démarrage permet une souplesse de gestion lors des opérations ultérieures d'éclaircies (variabilité de comportement des arbres intra-parcelle et donc difficulté de savoir quels arbres se comporteront le mieux et seront gardés ou ceux qui gêneront et devront être ceinturés).

Cela permet enfin une plus rapide occupation des sols et une couverture foliaire de protection plus rapide à apparaître dans le but de limiter l'envahissement de mauvaises herbes et faciliter les travaux d'entretien et de nettoyage de la jeune parcelle.

Troisième évolution : une canopée évolutive

La **Figure N°27** ci-contre présente la répartition des arbres d'ombrage classés par force au cours des trois stades de chronoséquence caractérisés au cours du temps. Pour chacun des trois stades de la chronoséquence, on remarque la prédominance d'une classe d'ombrage par rapport aux autres :

- Prédominance des bananiers (75% des arbres d'ombrage présents) : pour le stade *Cacaoyers immatures et vivrier*.

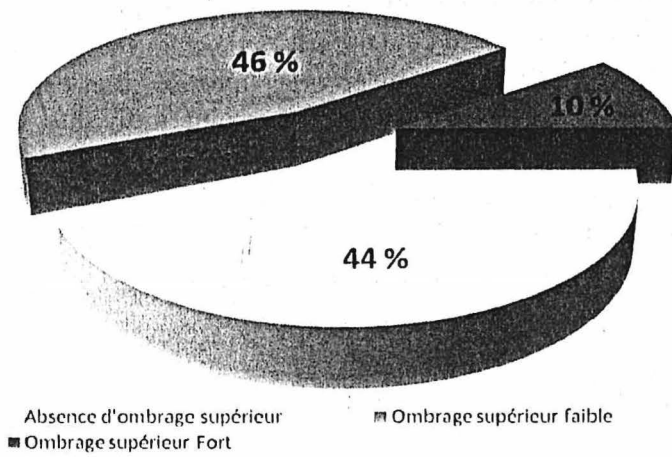
Le planteur utilise des bananiers à l'installation de la cacaoyère (arbres immatures) car ce sont des plantes pluriannuelles au développement plus rapide que les autres espèces d'ombrage plantées en même temps. Cette couverture foliaire plus faible mais plus précoce permet une première protection au soleil et à la sécheresse lors d'une période critique où les jeunes plants sont extrêmement vulnérable. De plus elle fournit une pré-rémunération à un moment où la cacaoyère n'est pas entrée en production de cabosses ou fruitière (agrumes, palmiers, etc.) et ne rapporte pas encore d'argent. Les bananiers sont retirés de la parcelle par non remplacement des plants morts afin de limiter toute concurrence avec les espèces pérennes en croissance. Les seuls bananiers encore présents que l'on trouve dans des SAF plus âgés ont été plantés en bordure de la cacaoyère où dans des trouées de lumière à l'intérieur de la parcelle.

- Prédominance des espèces produisant un ombrage **Faible** (58% des arbres d'ombrage présents) : pour le stade *Cacaoyers matures dominants*.

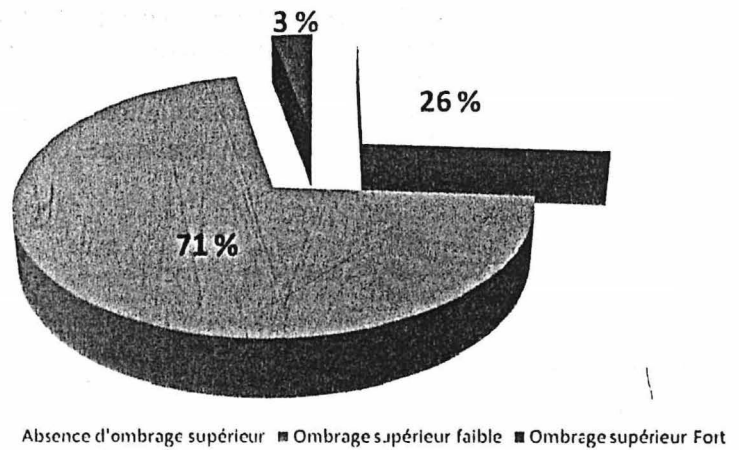
Lorsque les cacaoyers arrivent à maturité productive, ce sont les espèces à ombrage **Faible** qui prennent le dessus et deviennent majoritaires. Ce sont des arbres au développement plus lent que les bananiers mais avec une croissance végétative plus rapide que celle des espèces à ombrage **Fort**. Ils ont une croissance plus faible en hauteur et moins importante en densité de feuillage que les arbres à ombrage **Fort**. Ils deviennent alors les arbres d'ombrage les plus présents et rencontrés pour des parcelles de cet âge compris entre 5 et 9 ans. Ensuite ils seront eux mêmes amenés à être dominés, ce qui nous amène au stade suivant.

- Prédominance des espèces à ombrage **Fort** (58% des arbres d'ombrage présents) : pour le stade *Cacaoyers matures dominés*.

Cacaoyers immatures et vivrier (3 à 5 ans)



Cacaoyers matures dominants (5 à 9 ans)



Cacaoyers immatures dominés (9 ans et plus)

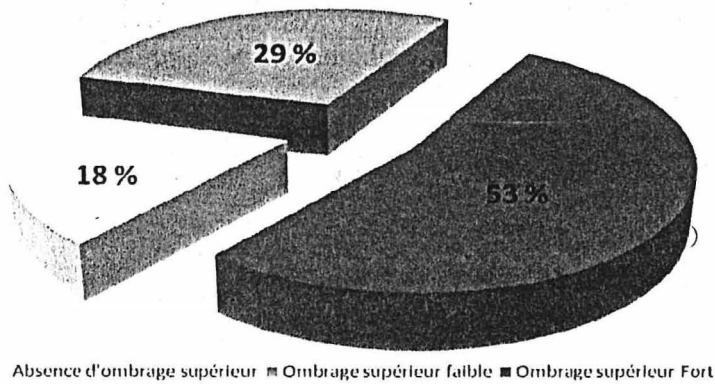


Figure N°28 : Répartition des cacaoyers en fonction de l'ombrage qui les domine stade par stade

A partir de 9 ans et au dessus, les espèces ligneuses produisant un ombrage **Fort** ont eu le temps de croître. Les arbres sont matures et dominant au dessus des arbres à ombrage **Faible**. En s'imposant, ils « asphyxient » certaines espèces en dessous à ombrage **Faible**.

Le planteur peut se permettre quelques éclaircies dans sa parcelle en éliminant des arbres à ombrage **Faible** eux mêmes dominés par d'autres espèces présentes et mieux développées ou choisir d'éliminer quelques arbres qui seraient trop nombreux localement sur la parcelle.

1.3.3. Classification des cacaoyers dominés

Les deux classes d'ombrage déterminées préalablement ont servi pour trier et distinguer les cacaoyers en termes de couverture foliaire supérieure subie et d'ambiance radiative disponible, au sein d'une même parcelle de cacaoyers, entre les parcelles et enfin entre les stades. Les cacaoyers se classent donc en trois groupes :

- **Abs** : Absence d'ombrage supérieur au dessus du cacaoyer. Ceci correspond à un ombrage supérieur absent au dessus du cacaoyer, ou à des cacaoyers ne subissant l'influence que de bananiers.
- **Faible** : Ombrage supérieur Faible au dessus du cacaoyer. Les cacaoyers subissent l'ombrage d'un arbre de force d'ombrage Faible.
- **Fort** : Ombrage supérieur Fort au dessus du cacaoyer. Les cacaoyers subissent l'ombrage d'un arbre de force d'ombrage Fort. Cette troisième classe renfermera également les cacaoyers subissant un cumul du feuillage de plusieurs arbres d'ombrage au dessus de lui et qui pourraient être une association d'arbres de force d'ombrage Fort, mais aussi Faible additionnés entre eux.

Figure N°28 : on a trié les cacaoyers par stade de développement en fonction de la nature de l'ombrage qui les domine, les caractérise et les influence. Comme pour la Figure N°27 et concernant le classement des arbres d'ombrage, on observe le phénomène d'installation de l'ombrage et d'intensification de sa dominance à mesure que la parcelle prend de l'âge.

Plusieurs possibilités peuvent être avancées pour expliquer cette évolution dans l'influence des arbres d'ombrage au dessus des cacaoyers :

- la faible durée de vie des bananiers face à un système agroforestier constitué de plantes pérennes (3 ans comparé à des décennies),
- un choix sélectif et volontaire par le planteur d'éliminer des espèces devenues gênantes,
- une réorientation du SAF et donc un changement voulu par le planteur dans les espèces prédominante,
- une compétition pour les ressources minérales, hydriques et lumineuses,
- un étouffement des espèces les plus basses lorsque les arbres de force d'ombrage **Fort** deviennent dominant,
- une disparition d'une partie des arbres de force d'ombrage Faible du classement et qui se retrouvent en fait classés, par association et cumul, avec des arbres à ombrage **Fort**, dans la classe de force d'ombrage **Fort**,
- une mortalité des agrumes forte observée au sein des cacaoyères (mauvaise association),
- des antagonismes possibles entre les systèmes racinaires entre différentes espèces.

A partir du stade le plus âgé *Cacaoyers matures dominés*, même si les arbres d'ombrage **Faible** n'ont pas disparu (mortalité, étouffement, suppression du planteur), ceux-ci peuvent changer de classe de force d'ombrage. En effet, lorsque les arbres de force d'ombrage **Fort**

deviennent dominants, ils peuvent recouvrir les cacaoyers de leur feuillage mais également les espèces produisant un ombrage **Faible**. Ces espèces ne disparaissent pas mais se retrouvent classées dans le cas d'association cumulative avec les arbres produisant un ombrage **Fort** et multistrates associé.

1.4. Analyse statistique : Analyse en composantes principale

L'Analyse en Composante Principale : l'ACP, est une méthode statistique qui permet la recherche de liaisons et de corrélations entre des variables mesurées au sein d'une population d'individus présentant de la variabilité. Ce traitement se réalise à partir de matrices :

Individus de la Population étudiée X Variables mesurées.

On a réalisé ce traitement statistique à l'aide du logiciel StatBox 6, qui permet, entre autre, de réaliser la recherche de corrélation selon la méthode de Pearson, des ACP. Egalement, l'ACP, aboutit à une représentation graphique des individus répartis selon leur variabilité au regard de deux ou plus de variables retenues. Il est alors possible de nommer chacun des individus afin de faciliter d'autant la lecture et l'interprétation finale de ces graphiques.

Pour ces traitements statistiques (et les suivants), on utilisera les matrices obtenues pour chaque parcelle ou le rassemblement de tous les individus du lot des 6 parcelles caractérisées :

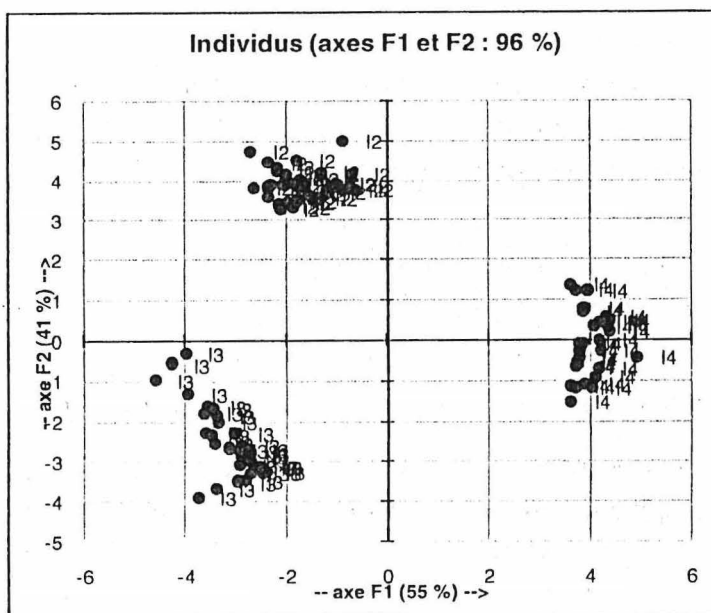
Individus (identifiés) X Variables du bilan radiatif mesurées.

1.4.1. ACP : cacaoyers identifiés par stade de chronoséquence

Avec cette première ACP, nous allons chercher s'il existe un lien entre les variables lumineuses d'ambiance mesurées pour chaque cacaoyers que l'on aura identifié à l'aide de son stade de chronoséquence et donc son âge (ou sa tranche d'âge). Pour cela, à l'intérieur d'une même matrice on a réuni tous les cacaoyers des 6 parcelles caractérisées et leurs valeurs radiatives mesurées :

- Pour chacune 3 des strates :
 - Strate de la canopée supérieure d'ombrage (**UP**),
 - Strate cumulée de la canopée supérieure associée à celle des cacaoyers (**DOWN**),
 - Strate déduite propre aux cacaoyers seuls (**DELTA**),
- Les variables mesurées retenues sont :
 - % d'ouverture de la canopée (**Cnpy**).
 - La lumière totale, (**TOT**).
 - L'estimation du feuillage (**lai**).
- Enfin, les cacaoyers sont identifiés par leur stade de chronoséquence respectifs :
 - stade cacaoyers immatures et vivrier : **I 2**.
 - stade cacaoyers matures dominants : **I 3**.
 - stade cacaoyers matures dominés : **I 4**.

La Figure N°29 présente la distribution par ACP des individus selon deux axes de projection.



2 : stade le plus jeune de la chronoséquence, 3 : stade intermédiaire, 4 : stade âgé de la chronoséquence.

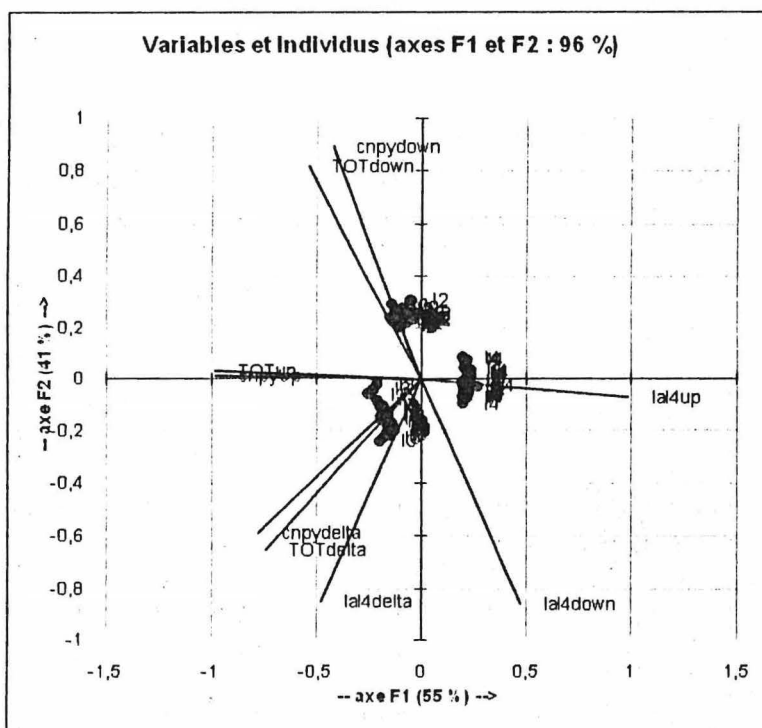


Figure N°29 : ACP : Cacaoyers identifiés par leurs stade de chronoséquence et variables lumineuse du bilan radiatif

Variable radiative mesurée : cnpy : ouverture de la canopée, TOT : transmission totale et LAI : feuillage estimé des cacaoyers.

Compartiments analysés : Up : au dessus des cacaoyers, Down : en dessous des cacaoyers, Delta : strate propre aux cacaoyers (soustraction up – down)

1.4.2. Lecture et identification des axes d'interprétation

Sur la *Figure N°29*, tout individu ou nuage de point (fraction de la population des individus), situé à proximité de l'un des axes, expliquera sa variabilité numérique dans son bilan radiatif :

- **Axe F1** : du côté positif par le **lai UP** soit l'estimation du feuillage de la canopée d'ombrage et à son opposé (négatif) par **TOT UP** soit la transmission totale ayant traversé la strate des arbres d'ombrage.
- **Axe F2** : du côté positif, par **TOT DOWN**, soit la transmission totale en dessous (des deux strates cumulées) et à son opposé (coté négatif) par **LAI DELTA** soit l'estimation du feuillage de la strate des cacaoyers seuls et non cumulés.

Ce choix de couples individus variables, projetés sur les deux axes F1 et F2 expliquent 96% de la variabilité observée.

Il apparait à la lecture du graphique (*Figure N°29*) que les cacaoyers se soient ordonnés selon leur stade de chronoséquence, chaque stade regroupant un nuage de points distinct des autres stades :

- **I 2** : *Cacaoyers immatures et vivrier* (de 3 à 5 ans), axe F1 négatif et F2 positif,
- **I 3** : *Cacaoyers matures dominants* (de 5 à 9 ans), axe F1 négatif et F2 négatif,
- **I 4** : *Cacaoyers matures dominés* (9 ans et plus), axe F1 positif et F2 nul,

Une fois toutes les variables et individus repérés, on peut passer à l'interprétation de la variabilité des individus et les liaisons éventuelles entre des fractions de la population de cacaoyers et leurs variables mesurées.

Il est intéressant de noter que chaque nuage de points est orienté dans le sens d'un axe de la lumière : Up, Down et Delta. Cela va nous permettre de déterminer pour chacun des stades quel est le compartiment lumineux qui est le plus influent et le plus important dans le bilan radiatif de nos cacaoyers pour chaque stade de la chronoséquence.

Sur ce graphique, plus les individus se trouvent positionnés proches de l'axe des abscisses du coté positif : **F1+**, et plus la variabilité numérique de leur bilan radiatif s'expliquera par la présence et l'action du feuillage supérieur des arbres d'ombrage. De même, plus des individus se rapprocheront du coté négatif de l'axe des abscisses : **F1-**, plus leur variabilité mesurée de bilan radiatif s'expliquera par la variabilité de la transmission totale qui aura traversé la couverture foliaire de la canopée supérieure.

Cette présence de feuillage au dessus des cacaoyers (**LAI UP**) est bien l'explication qui permet de comprendre que la lumière totale (**TOT UP**) en est d'autant diminuée.

Plus les individus se trouveront positionnés sur l'axe des ordonnées du coté positif : **F2+**, et plus la variabilité numérique du bilan radiatif mesuré des cacaoyers à proximité s'expliquera à l'aide: **Down** (la strate du dessous = strate des arbres d'ombrage + strate des cacaoyers) pour un positionnement positif sur l'axe des ordonnées et s'expliquera à l'aide du compartiment propre aux cacaoyers : **Delta** (strate des cacaoyers seuls après soustraction) pour un positionnement négatif sur l'axe des ordonnées.

Stade *Cacaoyers immatures et vivrier*

Cacaoyers et arbres d'ombrage ont été plantés en 2004 et sont encore immatures, peu développés. Il n'y a pas encore deux strates distinctes des arbres d'ombrage et des cacaoyers. La distribution des cacaoyers forme un nuage de points regroupés et placés sur l'axe **F2+** du côté positif de l'axe : le compartiment **Down** = strate des cacaoyers + strate des arbres d'ombrage. La variabilité de résultats du bilan radiatif des cacaoyers de ce stade immature s'explique par la présence d'un compartiment végétal unique et indifférencié : le compartiment cumulé Down (cumul des deux strates : cacaoyers et arbres d'ombrage).

Stade *Cacaoyers matures dominants*

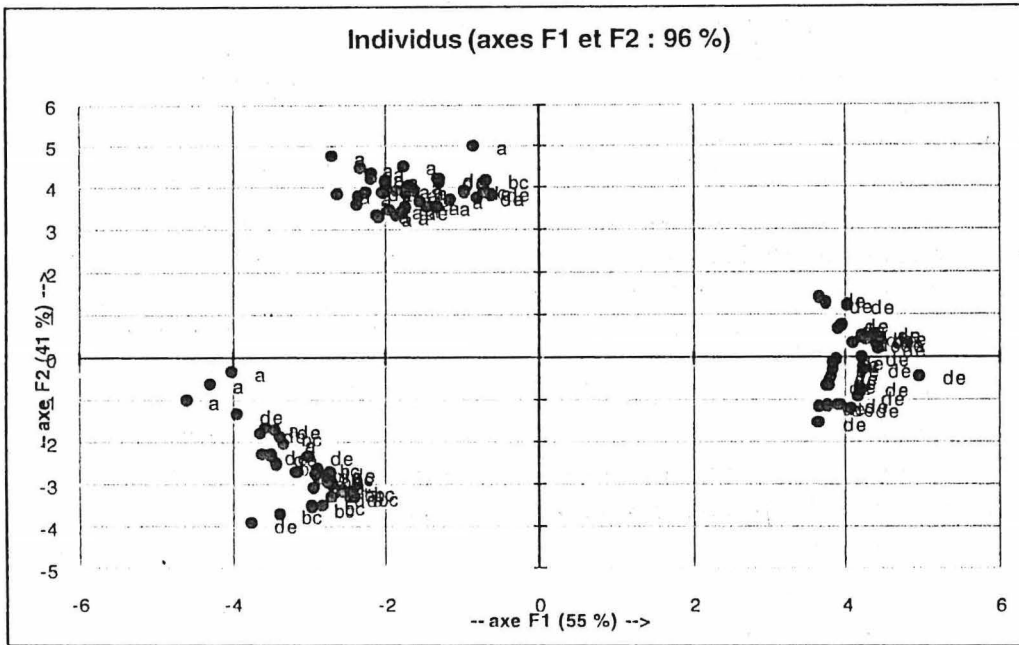
Les cacaoyers sont matures mais les arbres d'ombrage sont toujours dominés par ces cacaoyers. Les parcelles sont plantées en 1997 et de 2000. La strate des cacaoyers prend le dessus et domine la strate des arbres d'ombrage. La distribution des cacaoyers forme un nuage de points regroupés et placés sur l'axe **F2-** cette fois-ci du côté négatif : le compartiment **Delta** = strate des cacaoyers uniquement. La variabilité de résultats du bilan radiatif de ce stade cacaoyers matures dominants s'explique par l'entrée en dominance des cacaoyers au dessus des arbres d'ombrage. Il est donc normal que le bilan radiatif à l'intérieur du SAF soit conditionné par la strate dominante des cacaoyers.

Stade *Cacaoyers matures dominés*

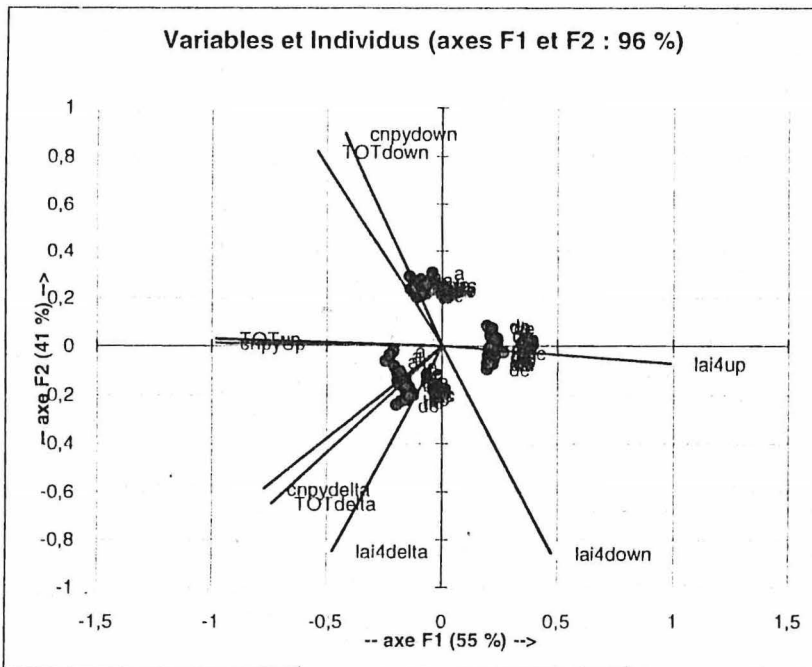
Les cacaoyers ainsi que les arbres d'ombrage sont matures et bien développés dans les deux sous-parcelles plantées en 1996. La distribution des cacaoyers forme un nuage de points regroupés et placés sur l'axe **F1+** du côté positif : le compartiment **LAI Up** : le feuillage des arbres d'ombrage dominants au dessus des cacaoyers. Du côté négatif de l'axe F1, on a la lumière au dessus des cacaoyers et du côté positif, on a l'estimation du feuillage des arbres d'ombrage. Le sens opposé (entre lumière disponible et feuillage qui intercepte cette lumière) suggère que les arbres d'ombrage supérieurs sont devenus une variable restrictive et limitante pour le bilan radiatif disponible au dessus des cacaoyers après passage à travers la canopée supérieure.

A travers ces trois nuages de points distincts, on retrouve les différentes étapes et stades qui caractérisent la chronoséquence :

- **Stade *cacaoyers immatures et vivrier*** : le bilan radiatif est influencé par une seule couche indifférenciée regroupant les deux strates : cacaoyers + arbres d'ombrage.
- **Stade *cacaoyers matures dominants*** : les arbres d'ombrage sont encore dominés par les cacaoyers, le bilan radiatif du SAF et de chacun des cacaoyers s'explique avant tout par l'interception du feuillage des cacaoyers.
- **Stade *cacaoyers matures dominés*** : les arbres d'ombrage sont dominants ; le feuillage intercepte fortement la lumière entrant dans le SAF et influencera donc le bilan radiatif des cacaoyers.



a : absence d'arbres d'ombrage supérieur ,*bc* : arbre d'ombrage supérieur **Faible**, *de* : arbre d'ombrage supérieur **Fort**



Variables radiatives mesurées : *cnpy* : ouverture de la canopée, *TOT*: transmission totale au dessus des cacaoyers et *LAI* : feuillage estimé des cacaoyers.

Compartiments analysés : *Up* : au dessus des cacaoyers, *Down* : en dessous des cacaoyers, *Delta* : strate propre aux cacaoyers (soustraction up – down)

Figure N°30 : ACP de la totalité des cacaoyers identifiés par leur classe ombrage

1.4.3.ACP : cacaoyers identifiés classe d'ombrage subie

Pour cette seconde ACP : *Figure N°30*, on a travaillé à partir des bases de données radiatives des parcelles mais en identifiant les cacaoyers en fonction de la classe de l'arbre d'ombrage qui domine chacun des cacaoyers.

On distingue distinctement :

- Les cacaoyers de classe A : **absence d'arbres d'ombrage supérieur**,
- Les cacaoyers de classe BC : arbres d'ombrage supérieur **Faible**,
- Les cacaoyers de classe DE : arbres d'ombrage supérieur **Fort** et multistrates.

Comme pour l'ACP précédente (*Figure N°29*), on observe la même répartition et distribution des cacaoyers en trois nuages de points identiques. Les trois grands rassemblements qui apparaissent sur ce graphique réunissent pour chacun majoritairement des cacaoyers de même classe d'ombrage (qui ont subi le même type d'arbres d'ombrage), à quelques individus près. Ces trois rassemblements des individus sont disposés de la même manière et aux mêmes endroits que lorsque les cacaoyers étaient identifiés par leur stade de chronoséquence.

L'ACP précédente validait la division en 4 stades de développement de nos SAF. Cette fois, à l'aide de cette ACP, on cherche à valider le choix de nos trois classes d'ombrage et la hiérarchisation de nos cacaoyers en fonction de la nature de l'arbre d'ombrage que les cacaoyers subissent.

Les cacaoyers subissant une absence d'ombrage supérieur (classe A) sont majoritairement disposés au même endroit que les cacaoyers qui appartenaient au stade le plus jeune : *Cacaoyers immatures associés au vivrier*. On a précédemment décrit ce stade immature comme indifférencié en terme de strate ce qui indique une non maturité des arbres d'ombrage ou une absence d'arbre d'ombrage au dessus des cacaoyers.

Les cacaoyers subissant une classe d'ombrage **Faible** (classe BC) sont disposés au même endroit et sur le même axe que les cacaoyers qui appartiennent au stade : *Cacaoyers matures dominés*. Ce stade est celui où les cacaoyers sont encore dominants, mais les arbres d'ombrage vont commencer à devenir eux mêmes dominants.

Les cacaoyers subissant une classe d'ombrage **Fort** (classe DE) sont disposés au même endroit et sur le même axe que les cacaoyers qui appartiennent au stade le plus âgé : *Cacaoyers matures dominants*. Ce stade est celui où les arbres d'ombrage sont dominants et recouvrent le dessus des cacaoyers.

Pour la classe des arbres d'ombrage **Abs** : absence d'un ombrage supérieur, la distribution est orientée dans la direction et dans le sens de l'axe de la lumière en dessous des cacaoyers (compartiment lumineux down).

Pour la classe des arbres d'ombrage **BC** : arbres à l'ombrage **Faible** à moyen, la distribution est orientée dans le sens et la direction de l'axe propre à la strate des cacaoyers (compartiment lumineux delta).

Pour la classe des arbres d'ombrage **DE** : arbres à l'ombrage **Fort** et **Multistrate**, la distribution est orientée dans la direction de l'axe propre à la strate des arbres d'ombrage (compartiment lumineux up) mais comme dans la précédente ACP dans le sens opposé de l'axe ce qui rappelle que les arbres d'ombrage sont matures et au dessus des cacaoyers qu'ils recouvrent et dominant de leur feuillage. Le feuillage devenant une variable restrictive du bilan radiatif en dessous de celui-ci.

Les deux ACP présentent l'origine de l'influence sur le bilan radiatif selon deux entrées :

- les cacaoyers classés par stade de chronoséquence,
- les cacaoyers classés par classe d'ombrage supérieur subie.

Ils reprennent les résultats présentés dans cette partie troisième « *Hétérogénéité des arbres d'ombrage* ».

Plus la cacaoyère avance en âge, et plus le feuillage des arbres d'ombrage devient **Fort** et influent (passage d'une absence d'arbres d'ombrage jusqu'à des arbres d'ombrage multistrates et denses).

De plus, à mesure que les arbres d'ombrage se développent, leur typologie évolue avec les stades de la chronoséquence :

- Stade jeune *cacaoyers immatures et vivrier* : absence d'arbres d'ombrage ou arbres d'ombrage trop jeunes pour être influent : **Abs**,
- Stade intermédiaire : *cacaoyers matures dominants* : arbres d'ombrage majoritairement de classe **Faible** : **BC**,
- Stade final : *cacaoyers matures dominés* : arbres d'ombrage majoritairement de classe **Fort** et **multistrates** : **DE**.

Jusqu'à devenir un facteur limitant le bilan radiatif à l'intérieur des compartiments des SAF étudiés est lui même variable selon l'âge de la parcelle et selon la qualité du feuillage de la canopée (classe d'ombrage). Celle-ci deviendra limitante pour le potentiel de développement et de production des cacaoyers qui compose la strate inférieure devenant elle-même de plus en plus dominée par la présence de cette canopée.

Nous allons maintenant le mettre en évidence au travers de l'étude des potentialités radiatives au fil des stades de la chronoséquence et donc de l'âge de la parcelle agroforestières. Enfin nous montrerons une variabilité dans le développement du feuillage des cacaoyers que nous mettrons en lien statistiquement avec la présence du feuillage de la canopée au dessus et qui limite d'autant les potentialités radiatives en dessous pour la strate cacaoyère de production.

1.5. Résumé des observations et résultats de l'hétérogénéité des SAF et du classement des arbres d'ombrage

Les SAF sont des systèmes agricoles de production où la complexité est omniprésente et systématique. La multiplicité des espèces plantées et la gestion extensive et durable font croître et se développer le SAF de manière hétérogène.

Pour des raisons connues :

- Des ressources techniques et monétaires faibles,
- Des conditions pédoclimatiques en savanes difficiles,
- Une pression parasitaire endémique des zones de savane,
- La pratique du « tout venant » plutôt que l'implantation d'espèces sélectionnées,

Mais aussi pour des raisons constatées et déduites :

- Pas de plantation des différentes espèces (cacaoyers et ombrage) selon un plan et une architecture prédéfinie,
- Des arbres anciens conservés à côté d'arbres nouvellement plantés,
- Des arbres d'ombrage aux feuillages divers et variés,
- Un aspect cumulatif de recouvrement et de densification du feuillage des arbres d'ombrage entre eux une fois le SAF mature,

Tout cela a obligé à classer les arbres d'ombrage pour faciliter l'étude de cette complexité selon deux classes :

- **Classe d'ombrage Faible** : Arbre forestier ou fruitier. Port bas de la couronne foliaire, peu étagée. Feuillage clairsemé et/ou peu dense.
- **classe d'ombrage Fort** : Arbre forestier ou fruitier. Port haut de la couronne foliaire, étagée et stratifiée. Feuillage dense et bien réparti sur l'ensemble de la couronne.

A l'aide de ce classement, il a été possible d'observer la structuration temporelle du SAF, à travers la maturation et la dominance des arbres d'ombrage qui se mettent en place au fil des stades de la chronoséquence :

- le vivrier et les bananiers qui disparaissent après quelques années seulement,
- un ombrage faible précoce qui apparaît en premier,
- un ombrage fort qui finit par dominer et recouvrir de son feuillage cumulé l'ensemble de la parcelle.

Figure 31.1, .2, .3, .4, .5 et .6 : La transmission lumineuse totale de chacune des parcelles stade par stade

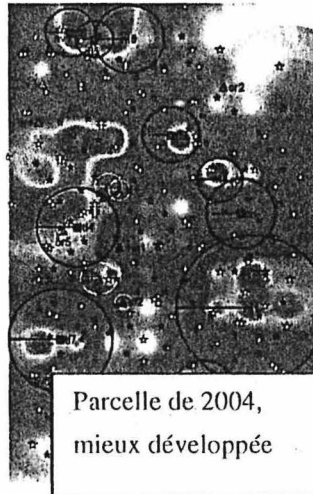
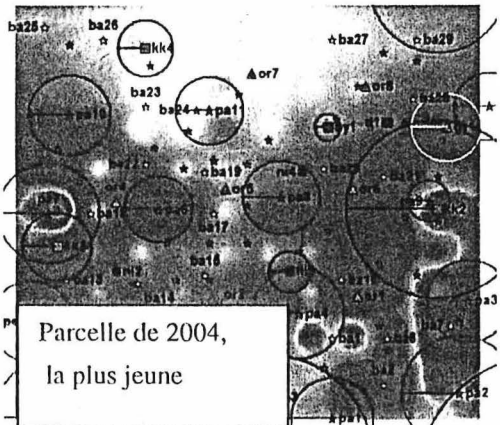
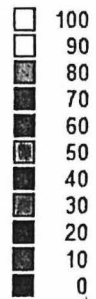
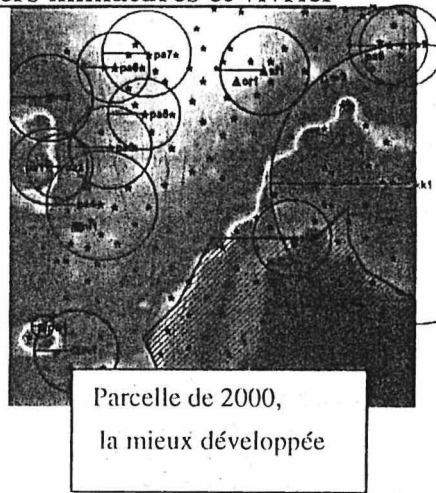
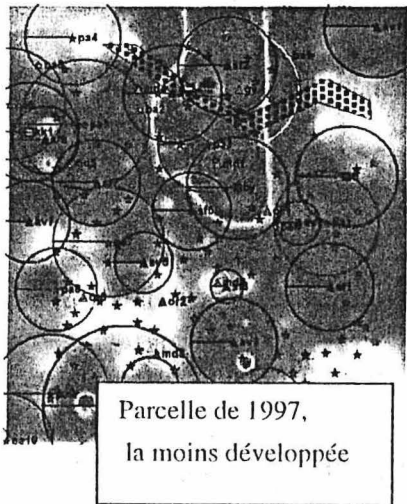


Figure 31.1 et 31.2 : Stade Cacaoyers immatures et vivrier



Echelle
pourcentage
Transmission
Lumière Directe

Figure 31.3 et 31.4 : Stade cacaoyers matures dominants

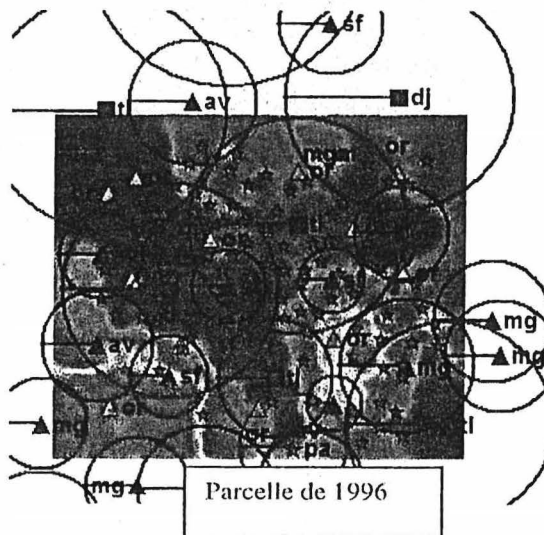
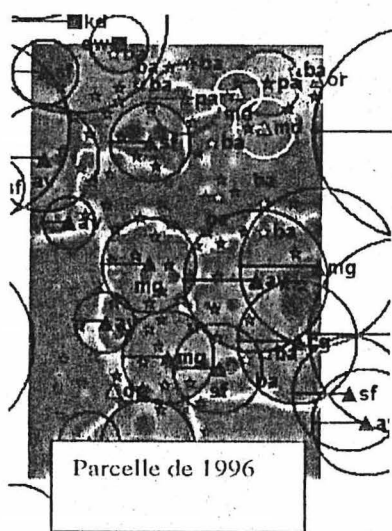


Figure 31.5 et 31.6 : Stade cacaoyers matures dominés

2. Evolution et disponibilité de la lumière à travers les stades d'un SAF en structuration

Les arbres d'ombrage qui composent la canopée supérieure jouent un rôle dans les quantités de lumière qui seront disponibles (transmission totale, directe et diffuse) une fois traversée cette strate supérieure de feuillage.

Dans cette partie, nous nous intéresserons à l'étude de la variabilité de la lumière selon 3 approches :

- L'interception de la lumière en fonction de la chronoséquence,
- L'évolution de la lumière en fonction de l'ouverture de la canopée,
- Le rôle des classes d'ombrage sur la disponibilité radiative au dessus des cacaoyers.

2.1. Evolution de la lumière et chronoséquence

Les 6 Figures N°31 présentent les parcelles caractérisées au cours de ce travail. Les cartes de lumières sont ordonnées deux à deux par stade de chronoséquence croissant.

Cette fois ce sont les cartographies de lumière et non celles de l'ouverture de canopée qui sont présentées. Elles quantifient la lumière photosynthétisable qui arrive au dessus des cacaoyers après avoir traversé la canopée.

Première constatation visuelle : **les cartes « s'assombrissent »** à mesure que la cacaoyère vieillit. Plus le SAF murit, plus l'ombrage s'installe en dominance, et plus les quantités lumineuses disponibles pour les cacaoyers diminuent.

On constate que pour le stade de chronoséquence :

- Figures N°31.1 et 31.2 Cacaoyers immatures et vivrier (3 à 5 ans), les couleurs vont du mauve au jaune avec quelques îlots ponctuels vert clair. Cela traduit une quantité de lumière comprise entre 60 % et 90 % avec quelques îlots ponctuels de branchages plus importants qui interceptent la lumière et la font descendre jusqu'à 50 % localement.
- Figures N°31.3 et 31.4 Cacaoyers matures dominants (5 à 9 ans), les couleurs vont du bleu clair au jaune orangé avec quelques îlots ponctuels marron et jaune, soit une quantité de transmission totale comprise entre 25 % et 85 %, et des valeurs extrêmes tirant jusqu'à 10 % et 90 %.
- Figures N°31.5 et 31.6 Cacaoyers matures dominés (9 ans et plus), les couleurs vont du bleu marine au rouge. Les cartes sont plus sombres que celles des stades précédents. On assiste à une dominance bleue (20 à 3 % de transmission totale) tirant par endroits jusqu'au vert (40 % à 50 % de transmission totale). De même, on a ponctuellement des valeurs extrêmes marron (10 % de transmission totale) et jaune orangé (85 % de transmission totale).

La distribution des valeurs de pourcentages de transmission totale est récapitulée dans le **Tableau N°7**. Elle est de plus en plus basse. Elle démarre pour chacun des stades avec des valeurs de plus en plus faible et atteint des maximales de moins en moins élevées comme le montre la **Figure N°34** qui reprend les valeurs du **Tableau n°7**.

Tableau N°7 : valeurs bornes de transmission lumineuse (en %) pour chaque stade de la chronoséquence :

Stade de chronoséquence :	Fourchette moyenne		Minimum (en %)	Maximum (en %)
	(en %)			
<i>Cacaoyers immatures et vivrier</i> (3 à 5 ans)	60	90	50	90
<i>Cacaoyers matures dominants</i> (5 à 9 ans)	25	85	10	90
<i>Cacaoyers matures dominés</i> (9 ans et plus)	20	50	10	85

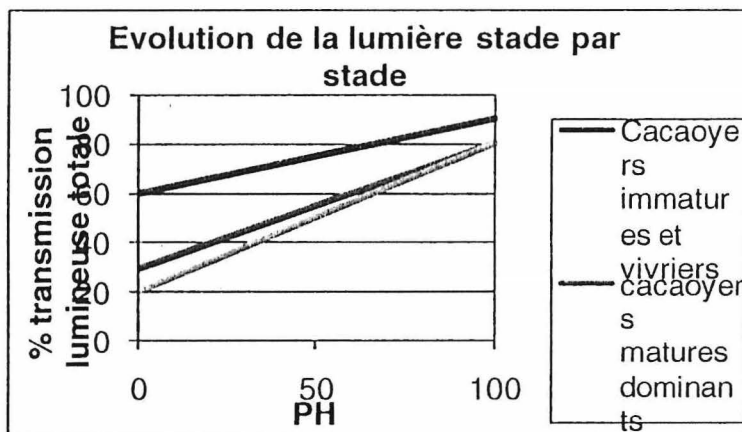


Figure N°32 : tendance générale de la lumière à croître en fonction de l'ouverture de la canopée supérieure :

Plus le SAF vieillit, plus le feuillage des arbres d'ombrage joue un rôle restrictif sur la lumière totale disponible au dessus de la cacaoyère. On modélise grâce au graphique ci-dessus l'évolution de la transmission lumineuse en fonction de la maturité du SAF et de sa canopée. Plus la parcelle est âgée, plus la droite modélisant la transmission totale aura une pente et un coefficient directeur élevé. La lumière disparaît à mesure que la parcelle vieillit et selon l'épaisseur de feuillage d'ombrage à traverser. Plus la cacaoyère avance en âge et plus la canopée aura eu le temps de se développer. Son feuillage a eu le temps de croître, de s'installer et domine de plus en plus la strate des cacaoyers. Quand elle est mature, sa couronne ne monte plus en hauteur mais s'étoffe et se stratifie en largeur.

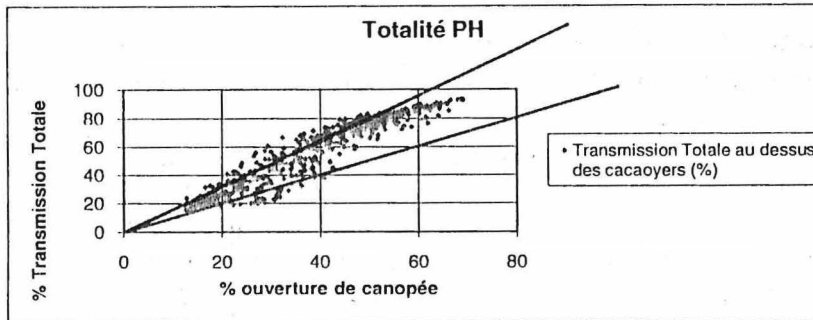


Figure N°33 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale

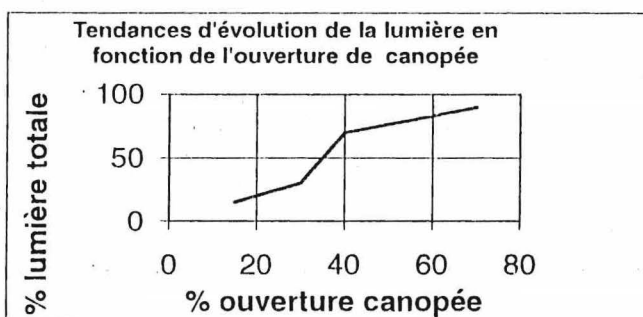
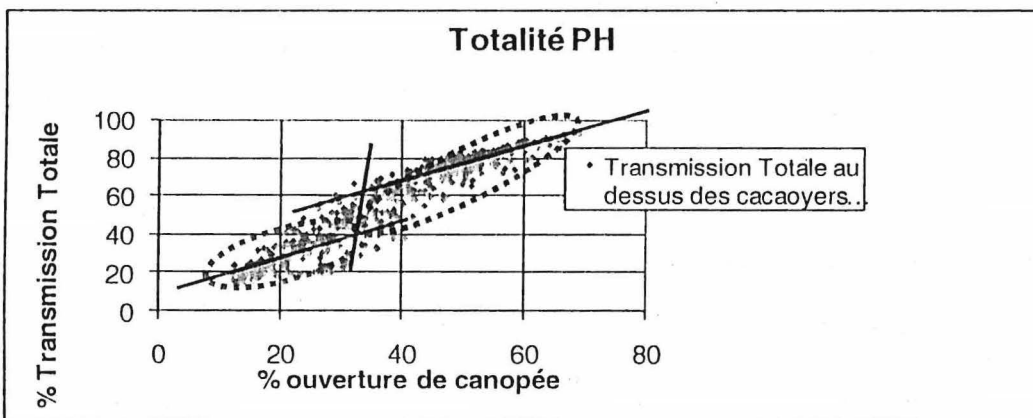


Figure N°34 : récapitulatif des trois paliers d'explosion de la lumière

2.2. Evolution « explosive » de la lumière avec l'ouverture de la canopée

Les *Figures* : *N°33* et *N°34* ont été réalisées à partir de l'ensemble des photographies hémisphériques (PH) rassemblées (toutes parcelles et stades confondus). Chaque PH est projetée graphiquement à l'aide de son couple de coordonnées géométriques :

- X : % d'ouverture de canopée de la PH,
- Y : % de transmission totale au dessus des cacaoyers de cette PH.

La droite rouge représente la droite linéaire $y=x$ et la droite verte la tendance que suit la distribution du nuage des PH ainsi représentées.

Comme observé sur les 6 cartographies (*Figure N°31.1, .2, .3*) de la lumière, la transmission totale disponible au dessus des cacaoyers croit en même temps que l'ouverture de canopée. Il apparaît que la tendance des PH croit plus vite que la droite d'équation $y=x$, son coefficient directeur est supérieur à 1.

On remarque, en comparant les deux droites (rouge et verte) modélisées, que les coordonnées en ordonnée augmentent plus vite que leurs coordonnées associées en abscisse. En effet, la droite de représentation du nuage de point (droite verte) est placée au dessus de la droite d'équation $y=x$ (droite rouge).

Au début du graphique (jusqu'à 20-25 % d'ouverture de canopée), les PH ont des coordonnées géométriques de même grandeur (PH mini : 14 % d'ouverture de la canopée pour 14,5 % de transmission totale).

Mais plus l'ouverture de la canopée augmente en intensité (axe des abscisses) et plus les valeurs associées de transmission lumineuse (axe des ordonnées) lui sont supérieures. Petit à petit, les couples de PH s'éloignent de la droite d'équation $y=x$ (rouge) (PH max 69 % d'ouverture de canopée pour 93 % de transmission totale).

Le décrochage entre les couples de coordonnées s'opère à partir de 25 % d'ouverture de canopée. Il semble que la lumière, entre 25 % et 50 % d'ouverture de canopée, « explose en croissance », face à un ombrage de moins en moins présent et dont les potentialités d'interception semblent chuter de plus en plus, l'interception devenant quasi inopérante au delà de 60 % d'ouverture de canopée.

Il faut également signaler que l'on n'a pas de valeurs nulles (0 %) ni totales (100 %) en transmission totale ou en ouverture de canopée. L'ouverture de la canopée ne dépasse pas 70 % alors que la transmission totale, atteint 93 %, tandis que les valeurs débutent à 14 et 14,5 % en ouverture de canopée et transmission totale.

La **Figure N°34** prolonge et complète la **Figure N°33** mais avec la tendance d'évolution des PH représentée à l'aide de la droite de régression du nuage des PH.

Si l'on observe la distribution des PH sur la **Figure N°34.1**, on remarque deux grands nuages distincts rassemblant la majorité des PH :

- Un premier nuage dont l'ouverture de canopée est compris entre 10 et 30 % (identifié d'un cercle pointillé rouge) qui correspond à un ombrage caractéristique d'arbre d'ombrage de force : Ombrage **Fort**. La canopée supérieure intercepte beaucoup de lumière,
- Un second nuage compris entre 40 et 70 % d'ouverture de canopée (identifié d'un cercle pointillé vert) correspondant à des arbres d'ombrage de force : Ombrage **Faible** à **Absent**. La canopée supérieure intercepte de moins en moins de lumière jusqu'à la laisser totalement passer (PH max 69 % d'ouverture de canopée pour 93 % de transmission totale).

Ainsi sur la **Figure N°34.2**, trois paliers se distinguent :

- Un **1^{er} palier** caractérisant un Ombrage **Fort** qui domine la parcelle (bleu marine), les PH correspondantes ont été prises sous des arbres produisant un Ombrage **Fort** qui intercepte beaucoup de lumière ; les couples de coordonnées sont compris entre (15 ; 15) et (30 ; 30).
- Un **2^{ème} palier** caractérisant une présence d'un Ombrage **Faible** (mauve), la lumière croît plus vite que ne s'ouvre l'ouverture de la canopée ; les couples de coordonnées sont compris entre (30 ; 30) et (40 ; 70).
- Un **3^{ème} palier** caractérisant un Ombrage **Absent** (vert), les arbres d'ombrage, s'ils sont présents, produisent des conditions d'ombrage trop faible au dessus des cacaoyers. La croissance de la lumière se stabilise et diminue en intensité de croissance tout en restant au dessus de la courbe de l'ouverture de la canopée supérieure ; les couples de coordonnées sont compris entre (40 ; 70) et (70 ; 90).

On constate que la transmission totale est fortement interceptée par un Ombrage **Fort** et dominant (15 à 30 % d'ouverture de canopée). Sous un Ombrage **Faible**, elle croît beaucoup plus vite que l'ouverture de canopée, « **elle explose** ». Enfin, elle croît plus doucement pour atteindre son maximum, une fois l'ombrage supérieur inopérant (40 à 60 % d'ouverture de canopée).

Ces trois paliers montrent que la lumière a un comportement variable en fonction de la nature et de la qualité de la strate supérieure des arbres d'ombrage. On observe cette tendance de la lumière à « exploser » à mesure que la canopée supérieure « s'ouvre ».

Hypothèse pour l'évolution différente du deuxième palier mauve qui semble exploser

Pour le 2^{ème} palier : Ombrage **Faible**, on peut émettre l'hypothèse que la lumière, lorsqu'elle passe à travers de petits interstices entre les feuilles de la canopée est diffractée. Ce phénomène d'optique : **la diffraction**, fait évoluer les pourcentages de transmission totale plus rapidement que n'évolue l'ouverture de la canopée.

Les **Figures n°35 à 40** et les cartographies présentent, en détail, aux divers stades de développement des cacaoyers, l'évolution de la transmission lumineuse, qui vient d'être présentée synthétiquement.

2.2.1. Ombrage inexistant au stade *Cacaoyers immatures associé au vivrier* (3 à 5 ans)

Ce sont deux jeunes parcelles juvéniles plantées en 2004 : *Figure N°35*. Les valeurs d'ouverture de canopée commencent à 25 %. Les arbres d'ombrage sont trop immatures pour dominer et imposer des valeurs plus basses de fermeture de canopée. Ils ne ferment pas encore la canopée au dessus des cacaoyers.

De fait, la plupart des PH ont des valeurs d'ouverture de canopée supérieures à 40 %.

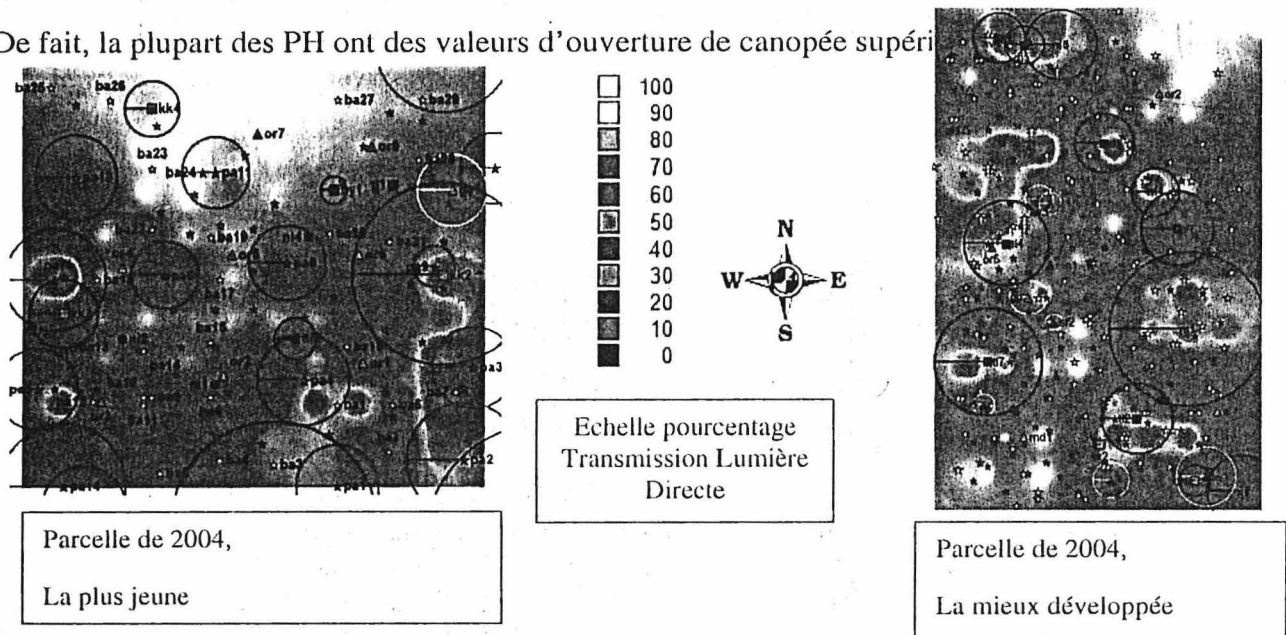


Figure N°35 : Transmission totale (%), Stade Cacaoyers immatures & vivrier : (3 à 5 ans)

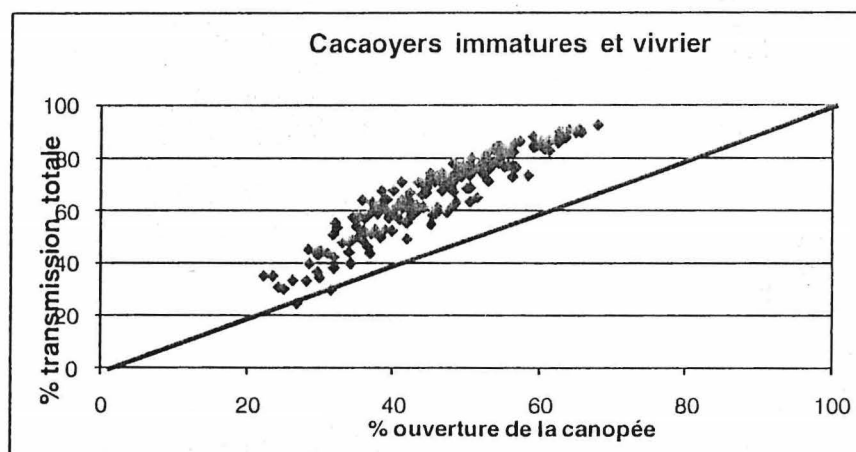


Figure N°36 : Positionnement de chaque PH en fonction du % d'ouverture de canopée et du % de Transmission Totale.

Sur la *Figure N°36*, on observe que les couples de coordonnées semblent se répartir en deux nuages soit selon deux des 3 paliers précédemment décrits :

- 2^{ème} palier : ouverture de canopée inférieure à 40 % : la lumière croît rapidement.
- 3^{ème} palier : ouverture de canopée supérieure à 40 % : la lumière croît moins rapidement.

Pour ce stade immature on ne retrouve que les deux derniers paliers décrits précédemment (cf *Figure N°34*) : celui de l'Ombrage **Faible** et celui de l'Ombrage **Absent**. La majorité des PH se trouvent dans le 3^{ème} palier : Ombrage **Absent** car ce stade de chronoséquence se caractérise par trop peu de feuillage sur les arbres d'ombrage pour intercepter la lumière et protéger de sa couverture foliaire les cacaoyers en dessous.

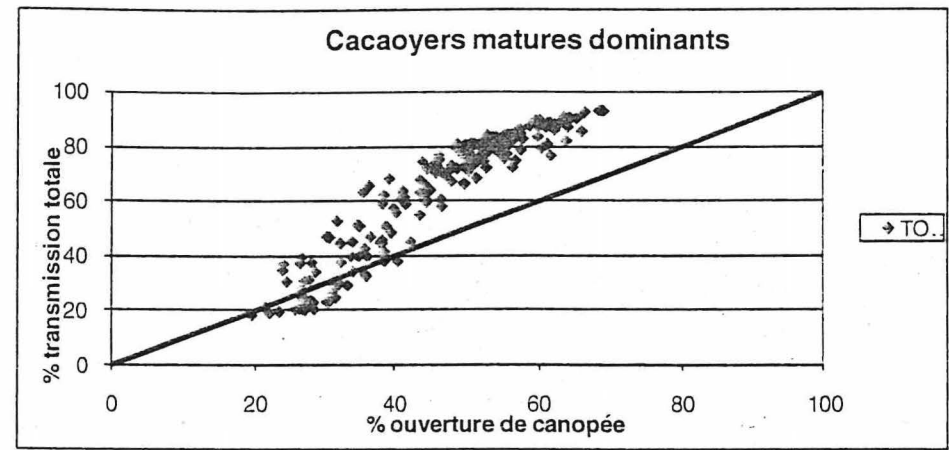
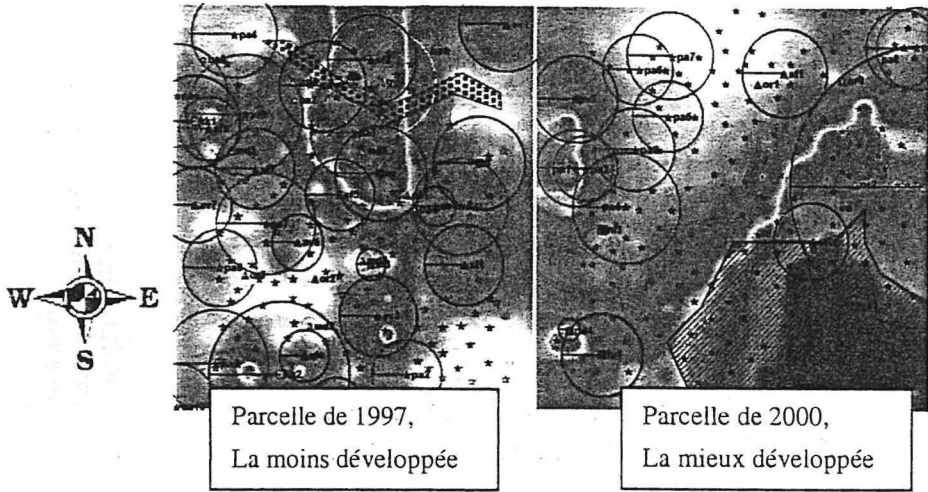


Figure N°38 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale

Figure N°37 : Transmission totale (%), Stade Cacaoyers matures dominants : (5 à 9 ans)

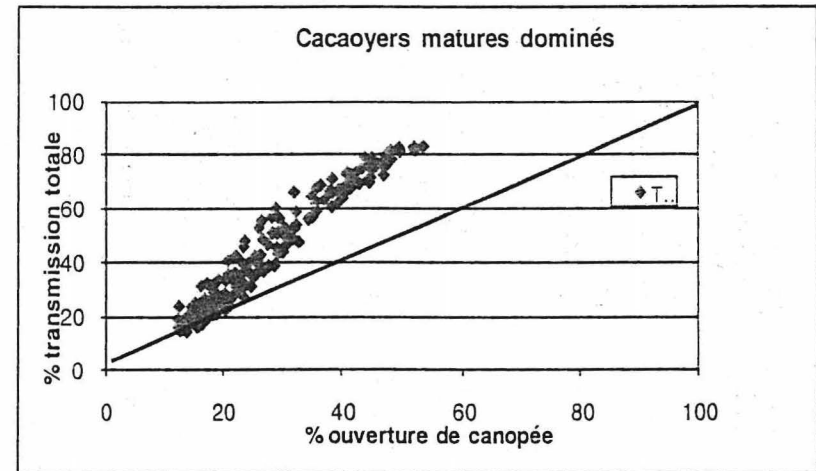
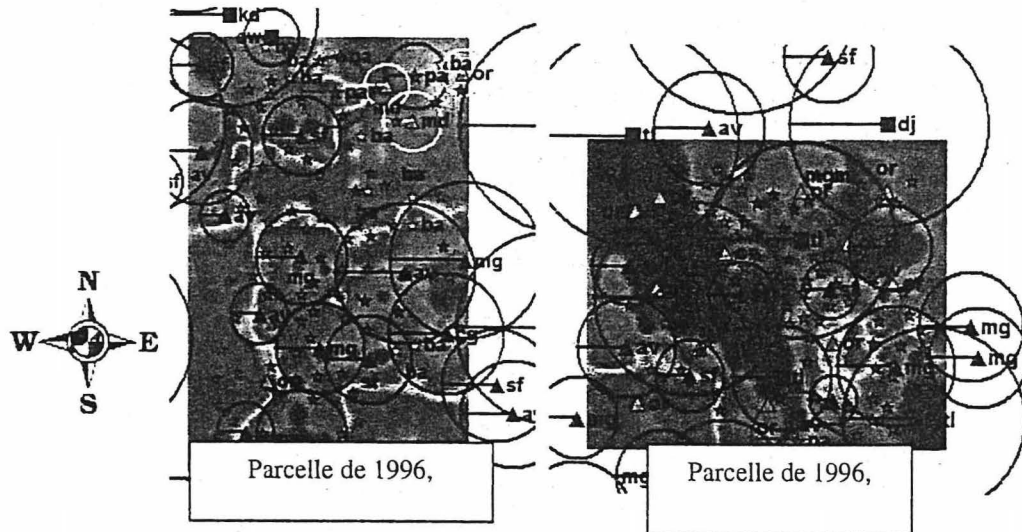


Figure N°39 : Transmission totale (%), Stade Cacaoyers matures dominés : (> à 9 ans)

Figure N°40 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale

2.2.2. Ombrage Faible au stade *Cacaoyers matures dominants* (5 à 9 ans)

La Figure N°37 présente deux parcelles plantées en 1997 et 2000. Les cacaoyers arrivent à maturité et sont entrés en production.

Les cacaoyers sont arrivés à maturité et dominant faiblement par endroit au dessus des arbres d'ombrage. Mais la canopée arrive également à maturité ; localement, elle peut être plus élevée que les cacaoyers, mais son feuillage et les couronnes foliaires arrivent juste à maturité et ne recouvrent pas encore l'ensemble de la parcelle ni les cacaoyers. Les ilots de couleur vert et bleu sont la représentation cartographique de ce début de maturité et de dominance de la canopée sur la strate des cacaoyers.

Sur la Figure N°38, on observe que l'ouverture de la canopée commence à 20 %. La parcelle est plus ombragée que dans le stade *Cacaoyers immatures associés au vivrier* (valeur minimale : 25 %). Le nombre de PH comprises entre 20 et 40 % d'ouverture de canopée est également plus important. On ne retrouve pas distinctement les 3 paliers, comme pour le stade plus jeune (cf. Figure N°34 de l'ensemble des PH tous stades confondus). Seuls les deux derniers paliers (Ombrage **Faible** et Ombrage **Absent**) sont clairement identifiables bien que le premier nuage commence à apparaître grâce aux 25 premières PH (1/8 des PH des deux parcelles) pour lesquelles les valeurs d'ouverture de canopée sont les plus faibles : entre 20 et 30 % d'ouverture de canopée, palier représentant un Ombrage **Fort**.

La non-maturité de la majorité des arbres, renforce de ce fait l'expression plus marquée des PH comprises dans le palier intermédiaire caractérisant un Ombrage **Faible**. Quelques arbres d'ombrage arrivent juste à maturité, leur feuillage n'est pas encore assez développé pour produire un Ombrage **Dominant** recouvrant l'ensemble de la cacaoyère, excepté au niveau de quelques ilots bleu marine (20 % d'ouverture de canopée). Ces exceptions apparaissent également sur la Figure N°38, et sont mises en évidence par l'apparition du nuage de points correspondant au premier palier : Ombrage **Dominant**.

2.2.3. Ombrage Fort au stade *Cacaoyers matures dominés* (> à 9 ans)

Les arbres d'ombrage sont matures. Ils dominent la cacaoyère de leur feuillage. (Figure N°39)

Sur la Figure N°40 la majorité des PH est comprise dans la tranche du palier caractérisant un Ombrage **Fort** (couples de PH compris entre : (15 ; 15) et (30 ; 30)).

L'ouverture de canopée des PH débute à partir de 12 % et la majorité des PH sont comprises entre 12 et 30 %. La transmission lumineuse totale n'atteint plus un maximum de 90 % mais plafonne à 80 % en raison de la maturité de la canopée et de la dominance qui s'installe.

A l'opposé des deux stades de chronoséquence plus jeunes, les PH du palier Ombrage **Absent** sont moins nombreuses que celles du palier Ombrage **Fort** et Ombrage **Faible**.

Enfin, le palier intermédiaire, caractérisant un Ombrage **Faible**, rassemble à lui seul le tiers des PH. Les arbres d'ombrage de force **Fort** sont certes devenus dominants mais pour autant les arbres de force **Faible** n'ont pas tous disparu. Ils sont recouverts et se cumulent avec les arbres de classe **Fort**. Mais lorsqu'ils ne sont pas superposés, ils sont eux mêmes matures et expriment plus faiblement leur intensité d'ombrage comme le montre la quantité non négligeable de PH du palier intermédiaire : Ombrage **Faible**.

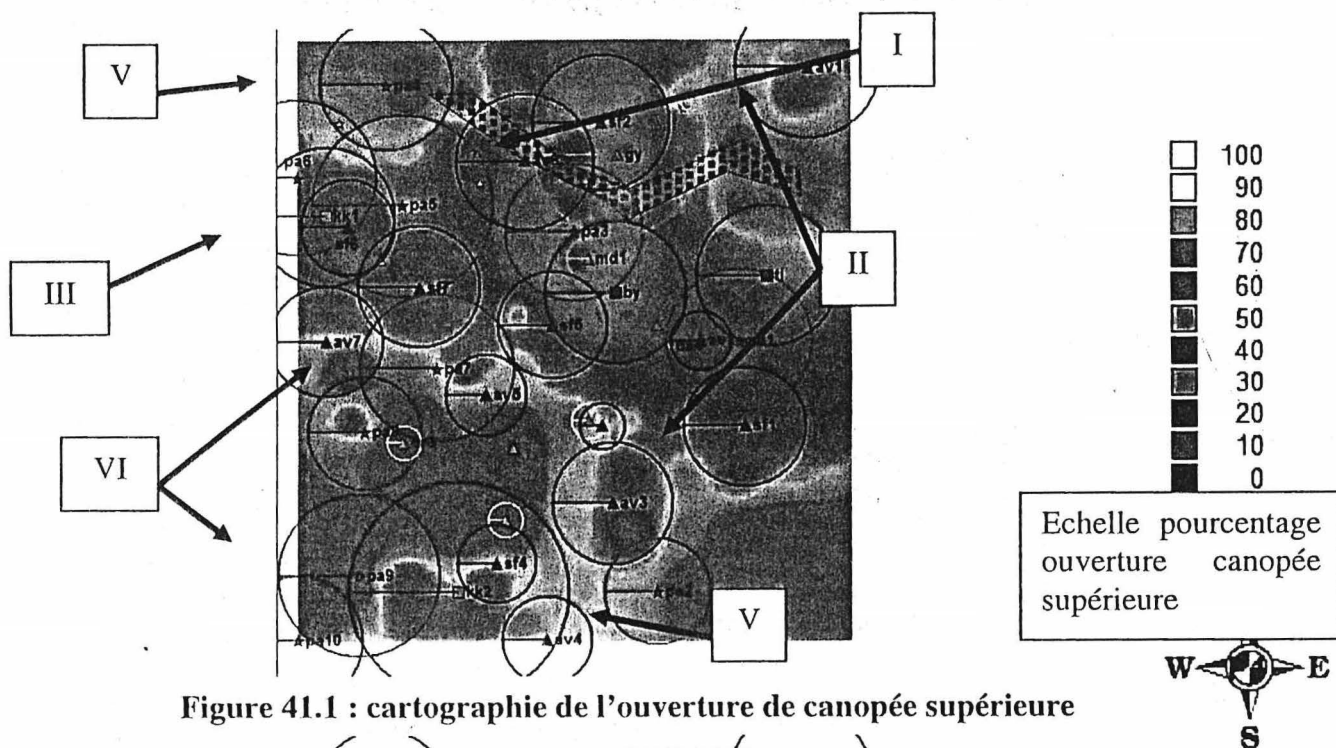


Figure 41.1 : cartographie de l'ouverture de canopée supérieure

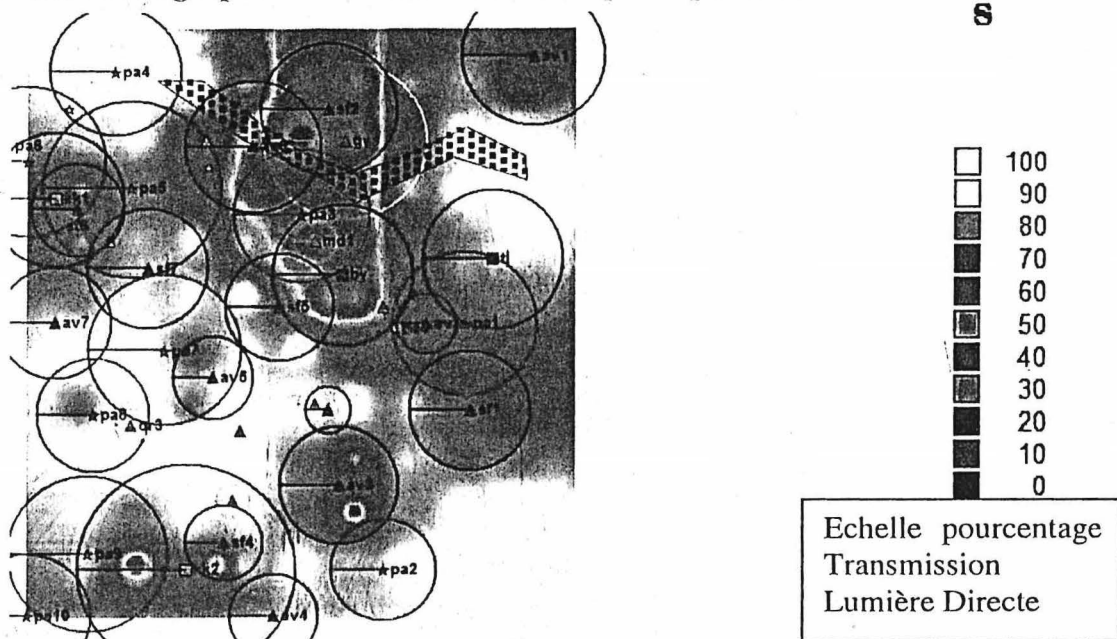


Figure 41.2 : cartographie de la transmission lumineuse directe

Cartographie N°11 : différence d'influence des couronnes de recouvrement des arbres supérieurs suivant qu'elles sont en associations ou non

2.3. Evolution de la lumière pour les deux classes d'ombrage

Variation de comportement de la lumière entre un ombrage supérieur : **Fort, Faible** ou **Absent**

Les Figures N°41.1 et 41.2 montrent deux cartes d'ambiance d'une même parcelle. On y voit respectivement l'ouverture de la canopée et la transmission lumineuse directe, une fois traversée la strate d'ombrage. C'est une parcelle de stade *Cacaoyers matures dominés*, plantée en 1997.

On présente dans les Figures N°41.1 et 41.2 5 variations de l'ombrage foliaire de la canopée supérieure afin d'observer le rôle des classes d'ombrage (**Abs, Faible** et **Fort**) dans l'interception de la transmission directe :

- I : association multistrates étagée d'arbres au feuillage dense et épais,
- II : arbre seul à feuillage dense et épais,
- III : association multistrates d'arbres au feuillage peu dense,
- IV : association de palmiers seuls,
- V : un seul palmier.

Situation I : association multistrates d'arbres au feuillage dense (classe d'Ombrage Fort) :

- association safoutier, avocatier et goyavier⁸ : **sf, av** et **gy**.
- association Bangbye, safoutier, mandarinier⁹ et palmier¹⁰ : **by, sf, md** et **pa**.

Sur la carte de l'ouverture de canopée (Figures N°41.1), les deux taches représentant le feuillage cumulé de ces arbres associés sont bien nettes, elles ne font pas transparaître « d'accident » dans la couverture du feuillage supérieur.

Sur la carte de transmission directe (Figures N°41.2), on retrouve l'influence de ce feuillage dense, à l'emplacement de la tache bleue (carte d'ouverture de canopée), on a la même tache verte que sur la Figures N°41.1 juste un peu moins grande mais de forme identique.

Situation II : arbre seul au feuillage dense et épais (classe d'Ombrage Fort) :

- 1^{er} exemple : avocatier seul, **av**.
- 2^{ème} exemple : safoutier seul, **sf**.

A eux seuls, ces arbres, dessinent sur la carte de l'ouverture de canopée (Figures N°41.1) des taches nettes et rondes, symboles de leurs couronnes circulaires et remplies de feuillage. Ils dessinent des surfaces circulaires vert clair, plus ou moins foncé aux endroits où leurs propres branchages se superposent. Une légère couleur mauve se distingue tout de même sur les contours des couronnes de recouvrement. On retrouve ainsi par endroits, le phénomène de surexpression, ou sur représentation de certaines couronnes, lors de la mesure de la plus grande branche projetée au sol.

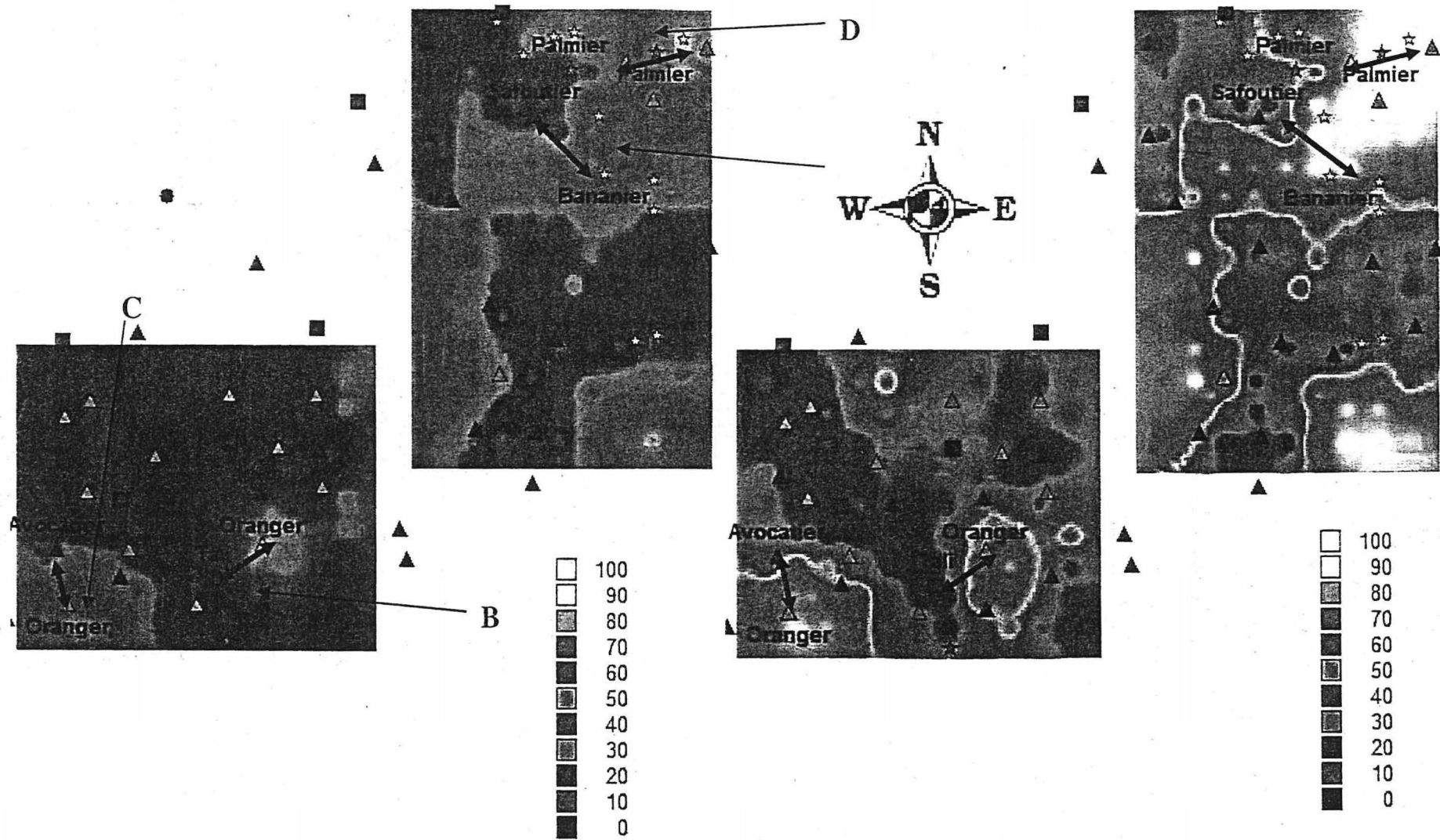
Sur la carte de la lumière (Figures N°41.2), on retrouve les mêmes découpages des deux couronnes de recouvrement de l'avocatier et du safoutier. Le dessin de la couronne bien tracé montre le bon développement de leurs couronnes, une des caractéristiques du feuillage de la classe d'arbre d'ombrage **Fort**, même si en bordure extérieure on observe un petit peu d'exagération de la modélisation du feuillage.

⁸ Le Goyavier : *Psidium guajava* de la famille des *Myrtaceae*

⁹ Le mandarinier : *citrus nobilis* de la famille des *Rutaceae*

¹⁰ Le palmier : *elaeis guinéensis* de la famille des *palmeaceae*

Figure N°42 : transections d'un Ombrage Fort vers un Ombrage Faible: cartographie d'ouverture de canopée supérieure et cartographie de transmission directe au dessus des cacaoyers



Situation III : association multistrates d'arbres au feuillage peu dense (classe d'Ombrage Faible) : kikoum, jeune safoutier et deux palmiers : kk, sf et pa.

Sur la carte de l'ouverture de canopée (*Figures N°41.1*) et malgré la superposition de leurs feuillages, ces 4 arbres en cumulant leur feuillage ne referment pas autant l'ouverture de canopée que pour la précédente **situation I**. Les arbres ont un peu plus de force d'ombrage que dans la **situation II** qui présente des arbres classe d'ombrage **Fort** seuls et donc non cumulés ou superposés.

Sur la carte de la lumière (*Figures N°41.2*), les accidents ponctuels observés en ouverture de canopée (taches turquoise noyées dans un halo vert clair) indiquent que le feuillage supérieur intercepte peu la lumière à l'exception des accidents correspondant à deux cumuls ponctuels des branchages entre ces 4 arbres, qui ne recouvrent pas l'ensemble des surfaces des couronnes de ces quatre arbres associés.

Situation IV : association entre plusieurs palmiers (classe d'Ombrage Faible) :

Sur la carte de l'ouverture de canopée (*Figures N°41.1*) lorsqu'on regarde les zones de chevauchement du feuillage des palmiers (intersection entre les deux couronnes de recouvrement), on remarque un Ombrage **Faible** : couleur mauve (60 % d'ouverture de la canopée supérieure). Cette canopée supérieure est peu influente et active dans l'interception de la lumière au dessus des cacaoyers.

La carte de la lumière directe (*Figures N°41.2*) au dessus des cacaoyers, montre que la couleur est comprise entre l'orange et le jaune (80 à 90 % de lumière directe).

Il y a très peu d'interception de lumière par l'association de feuillages entre palmiers.

Situation V : un seul palmier : pa (classe d'Ombrage Faible) :

Sur la carte de l'ouverture de canopée (*Figures N°41.1*) on observe l'action du feuillage d'un palmier seul et non cumulé avec d'autres arbres éloignés à l'Est. La moitié à l'Ouest de sa couronne de recouvrement est partiellement cumulée à distance avec deux arbres d'ombrage plus à l'Ouest du palmier (deux avocaiers : av, et appartenant à la classe : Ombrage **Fort**).

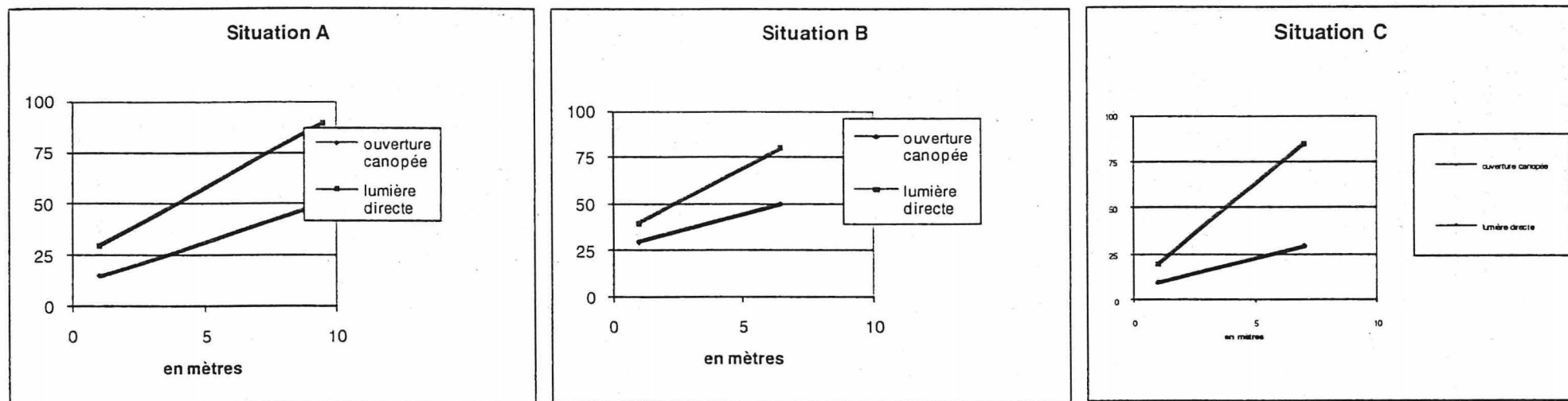
Le rôle et la force d'ombrage du palmier sont faibles. Son ombrage est renforcé malgré la distance qui les sépare, par des arbres quelques peu éloignés mais de classe d'ombrage **Fort** et à l'influence mature et prononcée. La moitié Ouest, du fait de ce cumul d'influence à distance, est proche du vert clair : 50 % d'ouverture de canopée. La partie Est est mauve : 60 % d'ouverture de canopée.

Cette valeur de 60% correspond à une ouverture de canopée très élevée. Précédemment, il a été montré que pour l'ensemble des parcelles, on ne dépasse pas 70 % d'ouverture de canopée. Cette valeur de 70 % laisse passer 93 % de transmission lumineuse, 60 % étant une valeur proche, on peut dire que l'ombrage produit par un palmier seul est quasiment nulle.

Sur la carte de la transmission lumineuse directe *Figures N°41.2*, la moitié Est de la couronne de recouvrement, représentant l'interception du palmier seul, les quantités de transmission directe au dessus des cacaoyers, sont quasiment de 90 %. La couleur jaune tend même vers le blanc (entre 90 et 100 % de lumière directe qui traverse ce feuillage). La lumière traverse le feuillage du palmier sans rencontrer d'obstacle foliaire limitant et confirme sa force **Faible** d'ombrage.

Tableau N°8 récapitulatif de l'évolution de la transmission directe et de l'ouverture de canopée de chaque transection

Situation	Variation d'ouverture de canopée (en %)	Variation d'augmentation de lumière directe (en %)	Distance (en m)	Coefficient d'augmentation de la transmission face à l'ouverture de canopée
A	35	60	8.5	x 1.7
B	20	40	5.5	x 1.7
C	20	65	6	x 3.25

**Figure N°44 : évolution comparée de l'ouverture de canopée supérieure et de la transmission directe pour chaque transection**

2.3.1. Comportement de la lumière sur des transects caractéristiques à l'intérieur d'une canopée mature, dominante et inégalement répartie

La Figure N°42.1 et 42.2 (Page précédente) présente deux parcelles matures et productives de stade *Cacaoyers matures dominés*, plantées en 1996. La canopée supérieure est mature et dominante. Elle recouvre de son feuillage dense la quasi-totalité des cacaoyers.

Ces cartes (Figure N°42.1 et 42.2) présentent 3 transects¹¹ allant d'un Ombrage **Fort** vers un Ombrage **Faible** à **Absent** et montrent le comportement évolutif de la lumière. Elles sont identifiées sur les cartes par les lettres **A**, **B** et **C**. Elles permettent d'observer, sur de courtes distances (inférieures à 12m), le passage d'une zone fortement ombragée vers une zone faiblement ombragée ou même sans ombrage.

L'augmentation de la lumière progresse plus vite que la disparition de l'ombrage (lumière qui « explose » au regard de l'ouverture de canopée).

Situation A : du safoutier jusqu'au bananier : sf, ba ; Distance de 8.5m

Sur la carte de l'ouverture de canopée (Figure N°42.1) : les valeurs passent de 15 % d'ouverture de canopée (**Sf** : couleur marron bleu) pour arriver à 50 % (**ba** : couleur vert clair)

Sur la carte de la transmission lumineuse directe (Figure N°42.2) : on passe de 30 % de lumière directe (**sf** : bleu turquoise) à 90 % de lumière directe (**ba** : jaune).

Situation B : du tali jusqu'à l'oranger : tl, or. Distance de 6m

Sur la carte de l'ouverture de canopée (Figure N°42.1) : les valeurs passent de 10 % d'ouverture de canopée (**tl** : marron) pour arriver à : 30 % d'ouverture (**or** : bleu turquoise).

Sur la carte de la transmission lumineuse directe (Figure N°42.2) : on passe de 20 % de lumière directe (**tl** : bleu marine) pour arriver à 85 % de lumière directe (**or** : orange à jaune).

Situation C : de l'avocatier à l'oranger : av, or. Distance de 5.5m.

Sur la carte de l'ouverture de canopée (Figure N°42.1) : on passe de l'avocatier : 30 % d'ouverture de canopée (**av** : bleu turquoise) pour arriver à l'oranger 50 % (**or** : vert clair).

Sur la carte de la transmission lumineuse directe (Figure N°42.2) : on passe de 40 % de lumière directe (**av** : vert foncé) pour arriver à 80 % de lumière directe (**or** : orange).

Le Tableau N°8 et les 3 Figures N°43.1, .2 . 3 présentent les évolutions de la lumière qui viennent d'être décrites. Sur de courtes distances, l'ouverture de canopée peut doubler voire tripler ou plus sa valeur et passer de 10 à 50 % (**Situation A**). La transmission de la lumière est la plupart du temps triplée ou plus.

La canopée supérieure intercepte la lumière en fonction de la qualité et la nature du feuillage et donc de la force d'ombrage du feuillage et de la classe de l'arbre traversé. Lorsque l'on passe d'un arbre d'ombrage **Fort** vers un arbre d'ombrage **Faible**, il s'opère un changement radical des conditions foliaires d'interception de la transmission de lumière.

Ceci illustre le phénomène d'explosion de la lumière. Seule une canopée supérieure dense permet une réelle interception de la lumière. Un Ombrage **Faible** intercepte peu la lumière et diminue peu les potentialités radiatives.

¹¹ Transect : Coupe virtuelle selon un axe spatial déterminé, destinée à représenter schématiquement selon cet axe une séquence d'informations d'ordre écologique (type de milieu, structure de la végétation, espèces présentes...).

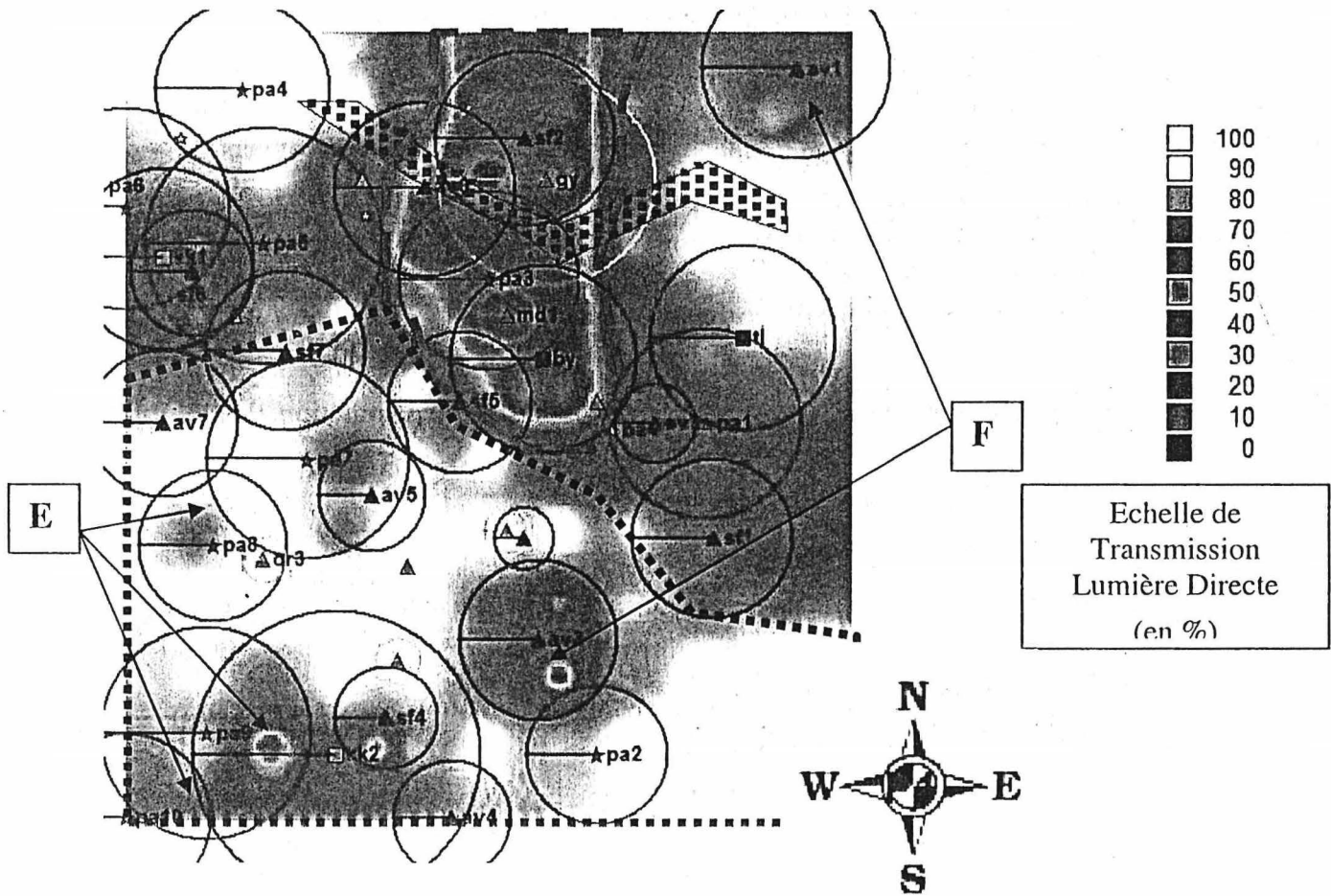


Figure N°44 : comparaison entre une association/cumul de feuillage d'arbres à l'Ombrage Fort et d'arbres à l'Ombrage Faible

2.3.2. Comportement de la lumière sur les branchages ponctuels et peu cumulatifs des arbres de classe d'ombrage Faible

La **Figure N°44** montre des « accidents ponctuels » dans l'interception de la lumière mais aussi ces « explosions de lumière », localisés par de petits cercles de couleur plus prononcés noyés dans des halos de couleurs différentes.

Au **Nord de la carte** (pointillés vert), on remarque une tache verte qui descend sur le centre. Elle correspond à l'association d'arbres aux feuillages denses et épais. Cette surface est nette, prononcée et bien découpée. Quelques taches ponctuelles bleues représentent des accidents où l'interception de la lumière est plus forte (superposition et surdensité locale du feuillage).

Au **Sud de la carte**, (pointillés noirs), les arbres se chevauchent peu et se superposent rarement. Lorsque c'est le cas, ce sont des espèces de classe d'Ombrage **Faible**.

La couleur qui domine est le jaune avec quelques ilots ponctuels correspondant à des branchages plus « touffus » en feuillage. Ce sont des accidents ponctuels, soit de percée de lumière (au Sud : couleur blanche) soit d'interception de la lumière par le branchage unique d'un arbre, ou d'une association cumulative de deux branches d'arbres différents (d'Ombrage **Faible**) à proximité l'une de l'autre.

On retrouve la surestimation des couronnes de recouvrement modélisées pour certaines espèces ou pour des arbres au développement foliaire encore immature. Les arbres n'ont pas de couronnes circulaires et homogènes pour recouvrir de leur feuillage une surface circulaire ; les couronnes n'interceptent pas la lumière de manière homogène et égale en leur intérieur.

Deux situations typiques sont identifiées par les lettres **E** et **F** sur la **Figure N°44** :

Situation E, les pics d'interception de lumière sont dus à deux arbres au feuillage **Faible** et inégalement réparti sur leur couronne. Ils sont proches l'un de l'autre, leurs branches se rejoignent. Ils forment une zone d'interception lumineuse plus forte et plus dense que le feuillage d'une couronne unique d'un arbre de classe d'Ombrage **Faible**.

Situation F, on est en présence d'arbres de classe d'Ombrage **Fort** au feuillage dense et épais. Leur couronne de recouvrement est normalement circulaire, mais ici les arbres ne sont pas encore matures. Il avait été avancé que les arbres de classe **Fort** ont un feuillage dense du fait de la présence de plusieurs strates au sein de leur feuillage. Cela n'est pas encore le cas quand l'arbre est immature et n'a pas achevé sa croissance.

Les accidents (**Figure N°44**) que l'on peut observer à l'intérieur des couronnes non cumulées de recouvrement, sont dus à une superposition de plusieurs branches à l'intérieur d'une couronne, elle-même peu feuillée.

2.4. Résumé des observations et résultats relatifs à l'évolution de la lumière

La lumière, pour arriver au dessus des cacaoyers et être disponible pour leur photosynthèse, doit traverser les strates végétales de la canopée supérieure.

On observe que :

- Les cartes « **s'assombrissent** » à mesure que la canopée se développe,
- La lumière « **explose** » au dessus des cacaoyers à mesure que la canopée s'ouvre,
- Elle semble présenter **3 paliers** dans son développement :
 - Fortement interceptée sous un ombrage **Fort** mature dominant,
 - Qui explose sous un ombrage **Faible**,
 - Qui se stabilise à son maximum de 90 % à mesure que l'ombrage finit de disparaître totalement,
- Un ombrage **Faible** ne diminue que très peu les potentialités radiatives au travers de son feuillage clairsemé et inégalement réparti.

3. Croissance des cacaoyers et canopée hétérogène

Maintenant que l'on a posé les observations relatives à l'ombrage, ses différentes natures et expressions, ses aspects qualitatifs et/ou quantitatifs et le comportement de la lumière au sein des différentes espèces ligneuses associées, nous allons nous intéresser plus directement à la strate végétale des cacaoyers et à la mesure et à l'estimation de son feuillage.

Le logiciel Gap Light Analyser (GLA V2), à partir des PH, des données de bilan radiatif et d'ouverture de canopée, est capable d'estimer le **Leaf Area Index** (LAI) présent au dessus de chaque point de mesure (PH) et donc de nos strates successivement mesurées et déduites.

Nous avons présenté dans la partie « *Matériels et Méthodes* » la réalisation des mesures de caractérisation des strates végétales par une méthode dite « de sandwich », (soustraction des valeurs de la strate du dessus et du dessous pour obtenir une valeur propre à la strate des cacaoyers seuls). C'est à partir de l'estimation du LAI, à l'aide du logiciel GLA, de la strate des cacaoyers seuls que l'on s'intéresse maintenant à la relation existant entre la présence d'une canopée supérieure au dessus des cacaoyers, les potentialités lumineuses disponibles en dessous de celle-ci et la production photosynthétique de ces mêmes cacaoyers qui se développent en dessous.

Le développement d'une cacaoyère présentant une canopée mature sera comparé à celui d'une parcelle encore juvénile.

Puis nous réaliserons une projection graphique du LAI mesuré par son ouverture de canopée, tous stades confondus et stade par stade.

Enfin, la **surface terrière** (note de vigueur des cacaoyers) et le **LAI mesuré** (estimation du feuillage des cacaoyers) seront confronté statistiquement en tant qu'indicateurs biophysiques de notre étude du bilan radiatif au travers d'un SAF multistrates.

Cartographies N°14 : présentation de 4 transects d'une parcelle mature : rôle de la canopée dans l'interception de la lumière photosynthétisable par les cacaoyers en dessous.

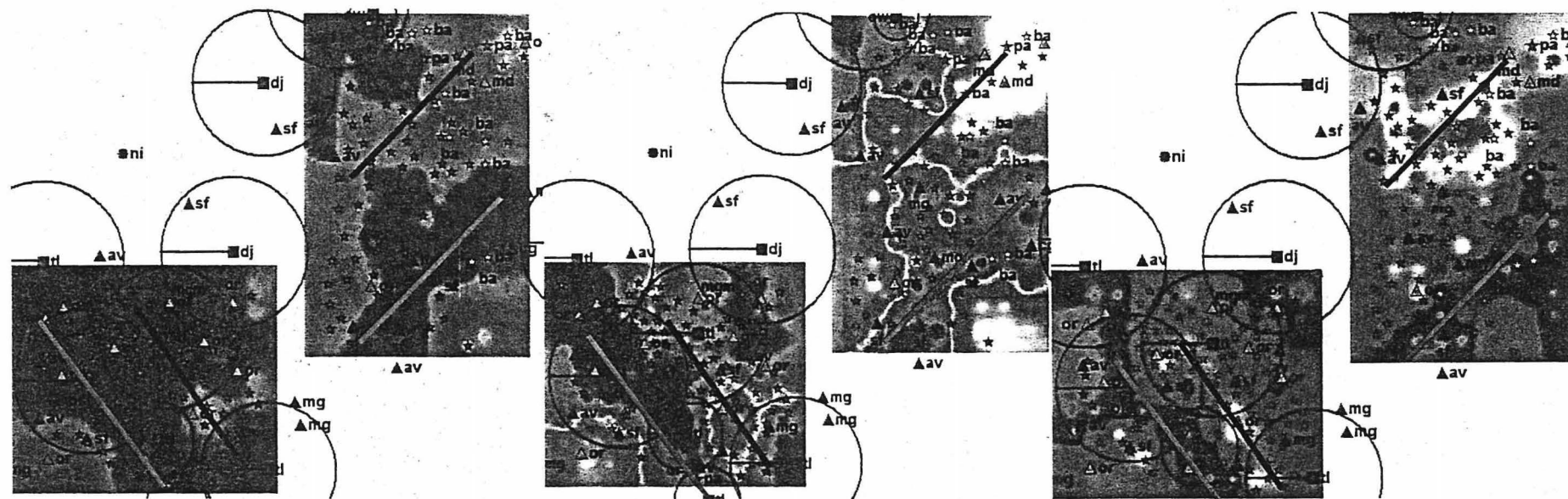
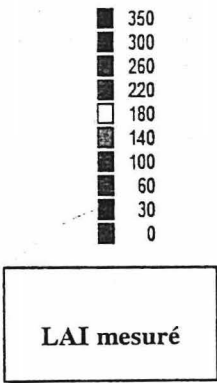
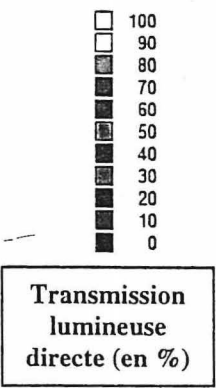
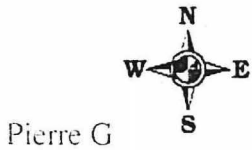
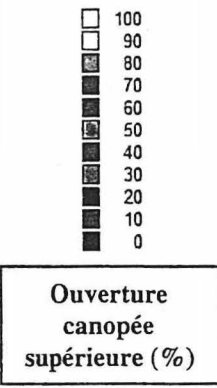


Figure 45.1 : Cartographie de l'Ouverture canopée supérieure

Figure 45.2 : Cartographie de la Transmission totale disponible au dessus des cacaoyers

Figure 45.3 : Cartographie du LAI estimé des cacaoyers



3.1.Limite de potentialité de croissance des cacaoyers en fonction de la maturité et de la couverture des arbres d'ombrage

Les Figures N°45 et 46, montrent deux parcelles d'âge et de stade de développement éloignées :

- une parcelle en production (la plus vieille : 1996) de stade *Cacaoyers matures dominés* divisée en deux sous-parcelles,
- une parcelle en pleine phase de croissance (la plus jeune : 2004) de stade *Cacaoyers immatures et vivrier (3 à 5 ans)*.

Pour chacune, on fait se succéder trois cartes d'ambiance :

- ouverture de la canopée supérieure (au dessus des cacaoyers), Figures N°45.1 et 46.1
- pourcentage de transmission directe (disponible au dessus des cacaoyers), Figures N°45.2 et 46.2
- LAI estimé des cacaoyers seuls (en dessous). Figures N°45.3 et 46.3.

L'enchaînement visuel de ces trois cartes d'ambiance doit nous permettre d'observer si les cartes présentent des découpages colorimétriques similaires ou au contraire différents et sont liées. On désire ainsi observer si l'action d'un feuillage supérieur qui diminue les potentialités lumineuses, a une incidence sur le développement foliaire et la photosynthèse de la strate végétale située en dessous en fonction du stade de développement.

3.1.1.Stade *Cacaoyers matures dominés* : canopée mature dominante (9 ans et plus)

Pour chacune des trois cartes d'ambiance et pour chaque parcelle (Figure N°45), on a modélisé à l'aide de transects (noirs et rouges) deux situations d'ombrage et de canopée supérieure opposées :

- Les transects noirs identifient une canopée composée d'arbres dont la force d'ombrage est **Faible** ou **Absent**, la transmission lumineuse au travers est élevée et le feuillage des cacaoyers est bien développé en dessous (LAI des cacaoyers le plus élevé des deux sous-parcelles de la cacaoyère : rose à jaune et vert). (Figure N°45)
- Les transects rouges, à l'opposé, identifient une canopée composée d'arbre de force d'ombrage **Fort**, la transmission lumineuse au travers est faible (fortement interceptée) et le feuillage des cacaoyers est le moins développé de l'ensemble de la parcelle (LAI le plus faible de la cacaoyère : bleu marine à turquoise). (Figure N°45)

Pour les deux transects : Ombrage **faible** (en rouge) (Figure N°45), on remarque nettement la similitude de découpage des fermetures dans la canopée végétale, l'explosion de la lumière disponible en dessous de ce feuillage supérieur et le bon développement du feuillage des cacaoyers en dessous. A l'inverse, pour les deux transects : Ombrage **Fort** (en noir) (Figure N°45), la canopée supérieure intercepte beaucoup de lumière qui ne sera alors plus disponible pour la photosynthèse et le développement des cacaoyers. La carte du LAI estimé montre des cacaoyers dont le feuillage s'est peu développé en comparaison avec les autres cacaoyers des deux sous-parcelles, disposant de conditions moins fermées de canopée supérieure.

Plus l'ouverture de canopée est faible, plus la transmission lumineuse est interceptée et diminuée en potentialités photosynthétiques et moins le feuillage des cacaoyers s'est développé. A l'opposé plus l'ouverture de canopée et la transmission de lumière sont importantes (peu interceptée), plus le feuillage des cacaoyers semble s'être bien développé.

Figure N°46 : parcelle de stade jeune (plantée en 2004) : absence du rôle de la canopée supérieure dans l'interception de la transmission lumineuse qui sera photosynthétisables par les cacaoyers en dessous.

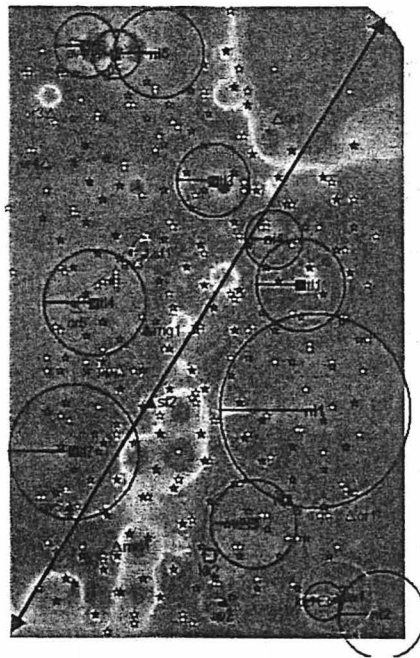
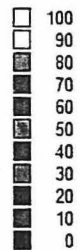


Figure 46.1 : Cartographie de l'Ouverture canopée supérieure



Ouverture canopée supérieure (%)

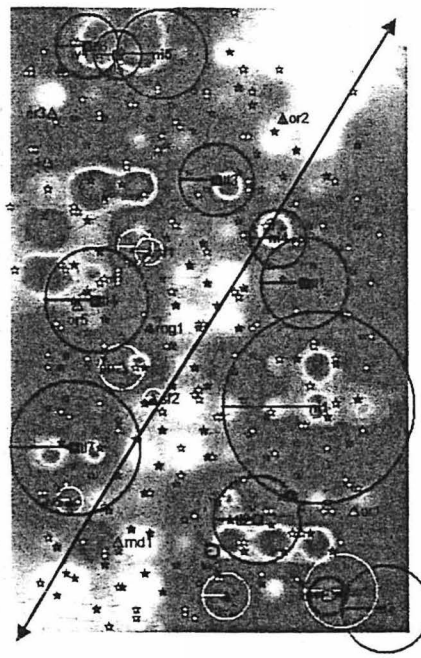
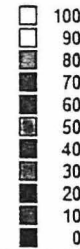


Figure 46.2 : Cartographie de la Transmission totale disponible au dessus des cacaoyers



Transmission lumineuse directe (en %)

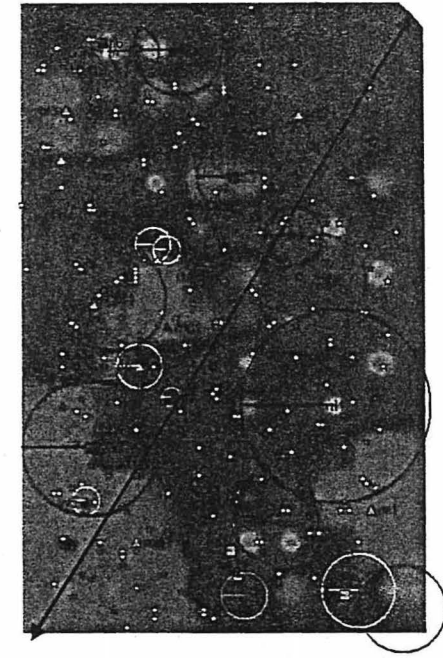
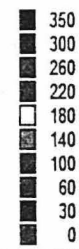


Figure 46.3 : Cartographie du LAI estimé des cacaoyers



LAI mesuré



Pierre GENDRE

3.1.2. Stade Cacaoyers immatures et vivrier (3 à 5 ans)

Il s'agit de la cacaoyère la plus jeune du lot de parcelles caractérisées. Les arbres d'ombrage sont immatures et peu développés. Leur feuillage ne surplombe ni ne recouvre la cime des cacaoyers encore en croissance et au feuillage peu développé.

Le découpage de la cartographie (*Figure N°46.1*) de l'ouverture de canopée est quasiment le même que celui de la transmission lumineuse (*Figure N°46.2*), une fois traversée la canopée. En revanche, la carte modélisant le développement foliaire des cacaoyers situés en dessous est différente (*Figure N°46.3*), à quelques taches et îlots éloignés près. On ne retrouve pas le phénomène d'une canopée supérieure qui limite les quantités lumineuses et empêche le feuillage des cacaoyers de croître.

Le feuillage immature et non dominant de la canopée d'ombrage et l'interception de la lumière par cette strate « supérieure » sont trop peu fonctionnels. Avec des valeurs d'ouverture de canopée comprises entre 60 et 90 %, la lumière qui a déjà un comportement « explosif » rencontre peu d'obstacle végétal limitant. La disponibilité lumineuse photosynthétisable par les cacaoyers présente permet un développement foliaire relativement homogène sur l'ensemble de la surface de la sous-parcelle. Les valeurs de transmission lumineuse sont très élevées sur l'ensemble de la parcelle.

De plus, les valeurs faibles de LAI mesuré (ce qui est normal pour une parcelle juvénile) sont trop faibles pour présenter des amplitudes et variations qui permettraient d'observer une variabilité dans le comportement de production foliaire des cacaoyers.

Les cacaoyers sont encore immatures, leur feuillage (LAI estimé) est trop jeune pour avoir été limité dans ses potentialités futures de développement foliaire de manière prononcée et visible.

La canopée supérieure est, elle aussi, trop jeune ; son feuillage n'est pas mature pour être une variable limitante du bilan radiatif disponible pour les cacaoyers.

Les faibles différences de développement foliaire observées peuvent correspondre à d'autres phénomènes indétectables sur les cartes, tels que la mortalité, les attaques phyto-parasitaires ou même les effets de la sécheresse sur une parcelle peu protégée par un ombrage absent ou encore trop immature.

3.2. Evolution comparée du feuillage des cacaoyers et de l'ouverture de canopée

La **Figure N°47** a été réalisée à partir de l'ensemble des PH (toutes parcelles et stades confondus). Chaque PH est projetée graphiquement à l'aide de son couple de coordonnées géométriques :

- X : % d'ouverture de la canopée supérieure (au dessus).
- Y : LAI estimé de la strate des cacaoyers (en dessous).

On remarque la même tendance mise en évidence précédemment à l'aide des cartes de LAI dans le cas d'un ombrage mature et développé. Plus l'ombrage supérieur est **Fort** et moins le feuillage des cacaoyers semble s'être développé en dessous.

La droite de régression confirme cette tendance observée. Son coefficient directeur positif et supérieur à 1 (2.0789) met en évidence le rôle restrictif de la canopée supérieure sur le développement du feuillage des cacaoyers en dessous.

Plus l'ombrage est **Fort** et plus il limitera la croissance et les potentialités de production des cacaoyers qui se trouvent en dessous en terme de feuillage et de cabosses, donc de revenus pour le planteur.

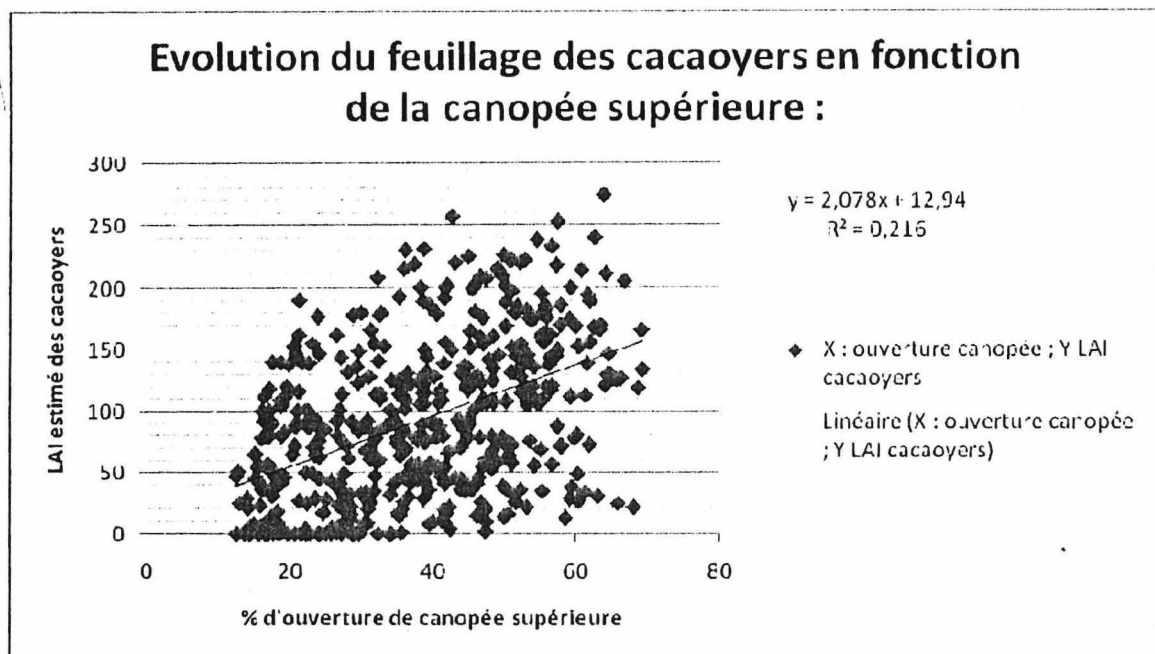
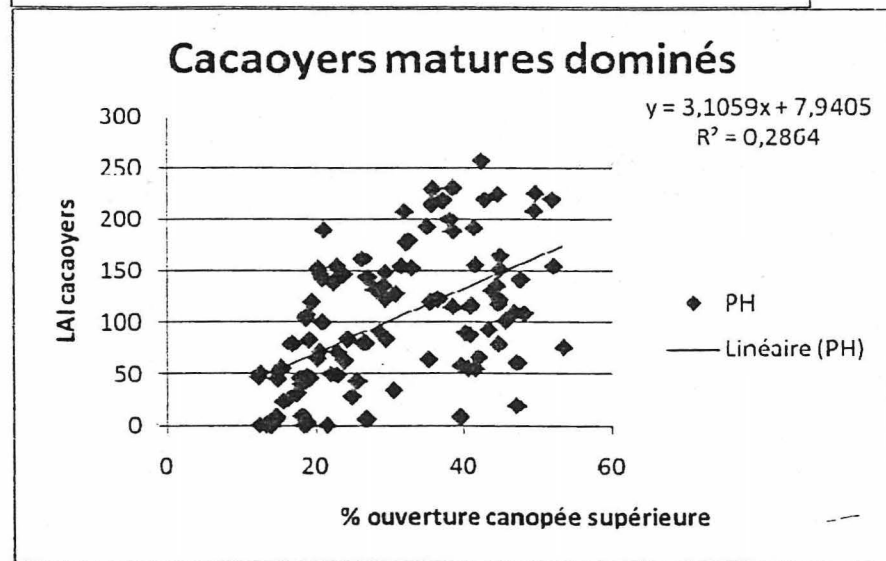
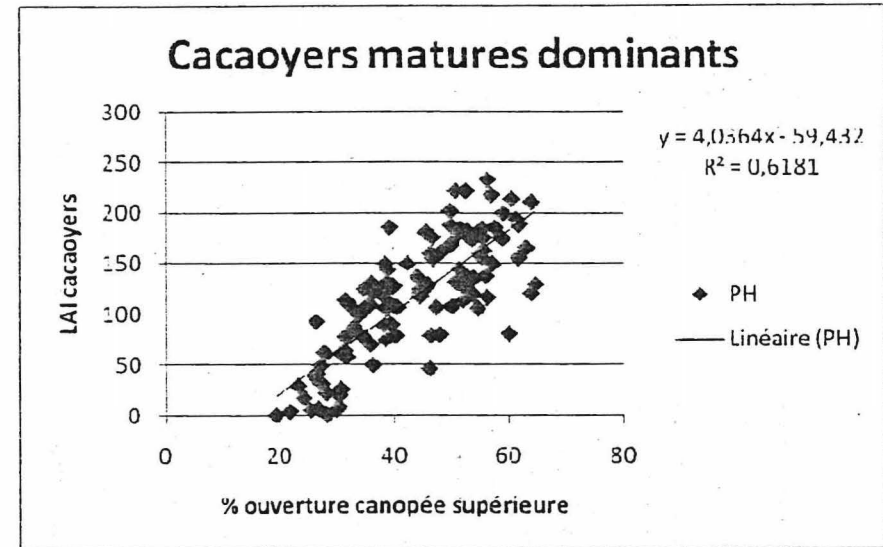
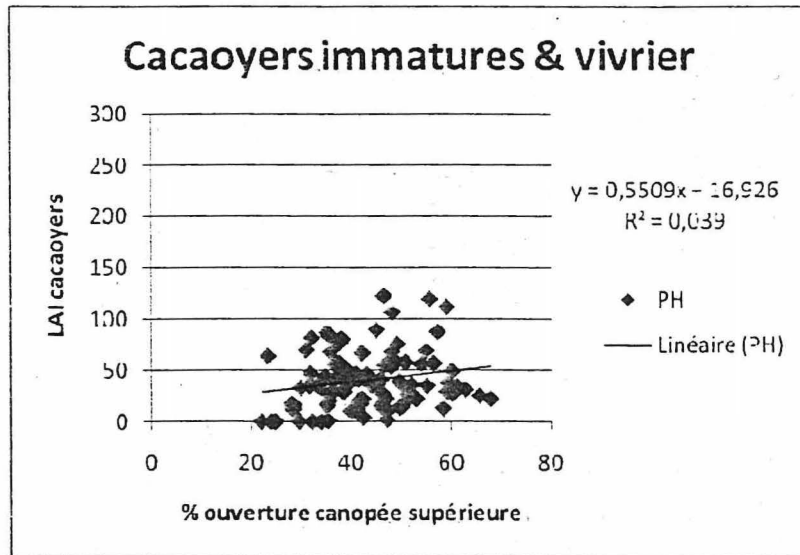


Figure N°47 : évolution du feuillage des cacaoyers en fonction de l'ouverture de la canopée supérieure et de la droite de régression de l'ouverture de la canopée supérieure) :

Figure N°48.1, 48.2 et 48.3 : évolution du LAI des cacaoyers et droite de régression de l'ouverture de la canopée supérieure, stade par stade de chronoséquence



3.3. Evolution comparée du feuillage des cacaoyers et de l'ouverture de canopée : stade par stade de chronoséquence

La **Figure N°48** présente trois parcelles (une par stade de chronoséquence) et l'évolution du LAI des cacaoyers au regard de l'ouverture de la canopée supérieure selon la même méthode de présentation graphique des PH que pour la lumière en fonction de l'ouverture de la canopée. Chaque PH est projeté graphiquement à l'aide de son couple de coordonnées géométriques :

- X : % d'ouverture de la canopée supérieure (au dessus).
- Y : LAI estimé de la strate des cacaoyers (en dessous).

3.3.1. Stade Cacaoyers immatures associés au vivrier : 3 à 5 ans

Sur la **Figure N°48.1**, les cacaoyers et les arbres d'ombrage immatures sont en pleine croissance. La canopée ne domine ni ne recouvre les cacaoyers. Son influence restrictive, à ce stade de maturité foliaire des arbres (toutes espèces confondues) n'est pas encore effective, mais elle se renforcera avec le temps. De plus, les cacaoyers ont trop peu de feuilles pour que le feuillage d'interception, faiblement développé et à la même hauteur, limite leur photosynthèse. Le coefficient directeur de la droite de régression est positif (0.55) mais inférieur à 1. Cela confirme une faible interception et incidence sur le développement foliaire des cacaoyers mais comme on le verra pour les stades plus âgés, cette restriction reste faible pour ce stade immature. Enfin, à la différence des deux figures suivantes **Figures N°48.2 et .3** (stades matures), les valeurs de LAI des cacaoyers sont faibles (de 0 à 120).

3.3.2. Stade Cacaoyers matures dominants : 5 à 9 ans

Sur la **Figure N°48.2**, les cacaoyers et arbres d'ombrage arrivent à maturité. Les cacaoyers sortent juste de leur phase de production foliaire et d'activité photosynthétique de croissance. Le coefficient directeur supérieur à 1 de la droite de régression est de 4, soit le plus élevé des trois stades. Il confirme que la strate supérieure et son importance qualitative jouent un rôle fortement limitant pour le développement du feuillage des cacaoyers en croissance en dessous

3.3.3. Stade Cacaoyers matures dominés : 9 ans et plus

Sur la **Figure N°48.3**, la canopée supérieure est maintenant mature. Les cacaoyers n'ont plus un développement uniquement foliaire, ils sont entrés en production de cabosse. La pente de la droite de régression, même si elle est moins forte que précédemment (**Cacaoyers matures dominants : 5 à 9 ans**), reste tout de même élevée et supérieure à 1 : coefficient directeur de 3. Les arbres d'ombrage ont joué un rôle limitant et le jouent encore mais plus faiblement, dans l'expression et le développement du feuillage des cacaoyers. Les cacaoyers sont matures depuis quelques années, une part de plus en plus importante du rayonnement photosynthétisable disponible et assimilé est destinée non plus à la production foliaire mais à la production de cabosses.

Pour le stade intermédiaire **Figure N°48.2**, la représentation du nuage est bien ajustée sur la droite de régression. On peut avancer l'hypothèse que c'est lors de ce stade de plein développement et de croissance foliaire des cacaoyers que la strate d'ombrage est la plus influente sur leur production foliaire.

Pour le dernier stade **Figure N°48.3**, la pente de la droite de régression est moins forte mais les cacaoyers ont terminé leur croissance foliaire. Il aurait été intéressant pour ce stade non pas de rechercher la corrélation entre le feuillage d'interception de la strate supérieure et le LAI des cacaoyers, mais entre le feuillage supérieur et la production de cabosse des cacaoyers. En effet, ce stade est celui où les cacaoyers sont en pleine production fruitière une fois leur feuillage arrivé à maturité.

3.4. Accentuation du rôle limitant de la canopée à mesure de sa maturité

La cacaoyère et les arbres d'ombrage vieillissent et murissent conjointement. A partir du stade *Cacaoyers matures dominés*, lorsque la canopée supérieure passe de dominée à dominante, le phénomène de facteur limitant est accentué par le développement en surface de l'étendue des couronnes de recouvrement des arbres à Ombrage **Fort**.

Quand les arbres d'ombrage sont devenus dominants, leur feuillage ne pousse plus en hauteur mais tend à recouvrir de plus en plus de surface et donc de cacaoyers en dessous.

Sur la Figure N°49 de répartition des espèces d'arbres d'ombrage, on observe que la proportion d'arbres à ombrage **Fort** augmente au cours des stades. Une fois les arbres d'ombrage devenus dominants, la catégorie des arbres à ombrage **Fort** est celle qui recouvre le plus de cacaoyers.

Au fur et à mesure que le SAF prend de l'âge et devient mature, on assiste à une influence des arbres d'ombrage de plus en plus renforcée pour arriver à une dominance totale de la canopée supérieure sur les cacaoyers.

Le feuillage des arbres d'ombrage est dense, les surfaces de recouvrement sont de plus en plus vastes, recouvrant chacune de plus en plus de cacaoyers. Enfin le remplacement des espèces à Ombrage **Faible** au profit des espèces à Ombrage **Fort** dominant s'explique par le recouvrement de ces espèces à Ombrage **Faible** (qui ne disparaissent pas) par les espèces à Ombrage **Fort**.

Tableau N°9 coefficients de corrélation entre ouverture de canopée, bilan radiatif et les notes agronomiques pour les cacaoyers :

Corrélations :	Parcelle N°6	Parcelle N°5	Parcelle N°4	Parcelle N°3	Parcelle N°2	Totalité des parcelles
Ouverture canopée dessus & surface terrière	<i>Abs</i>	<i>Abs</i>	<i>Abs</i>	0.3	<i>Abs</i>	-0.15
Lumière au dessus & surface terrière	<i>Abs</i>	<i>Abs</i>	<i>Abs</i>	0.2	<i>Abs</i>	-0.1
Ouverture canopée dessus & LAI des cacaoyers	0.4	0.5	0.85	0.55	0.3	0.4
Lumière au dessus & LAI des cacaoyers	0.45	0.5	0.8	0.65	0.35	0.45

Abs : absence de corrélation significative.

3.5. Analyse statistique des indicateurs biophysiques mis en place

3.5.1. La surface terrière : un indicateur biophysique peu significatif

Les SAF sont constitués de plusieurs strates, les cacaoyers formant la strate inférieure. La lumière est une composante obligatoire et une variable limitante du développement des végétaux et donc des cacaoyers placés en dessous d'une strate supérieure d'interception comme nous l'avons mis en évidence dans cette partie : *Estimation du feuillage des cacaoyers* à l'intérieur des paragraphes 3.1 et 3.3.

Il a été proposé, lors de ce stage, de mettre en place des indicateurs permettant d'évaluer le bon développement des cacaoyers :

- la **surface terrière** qui donne une note de vigueur pour chacun des cacaoyers
- l'estimation du feuillage des cacaoyers : le **LAI** (après interpolation des PH sur les cartographies).

La lumière conditionne les potentialités de développement foliaire mais également de production de cabosses tout comme le sont les disponibilités hydriques, fertilisantes, les ravageurs et les maladies.

Le traitement statistique par ACP recherche s'il existe une corrélation entre le développement des cacaoyers et la présence d'une strate supérieure composée d'arbres d'ombrage ainsi que l'influence de ces arbres d'ombrage sur l'ambiance radiative et les potentialités photosynthétiques des cacaoyers grâce aux deux indicateurs mis en place : la surface terrière et l'estimation du LAI des cacaoyers et enfin à juger de la qualité de chacun.

Les coefficients de corrélations sont présentés dans le Tableau N°9. Les deux premières lignes évaluent les corrélations entre la surface terrière et l'ouverture de la canopée supérieure et avec le bilan radiatif mesuré. On ne trouve pas de corrélation significative entre la lumière, la fermeture de la canopée et la note de développement mesurée, et cela pour quasiment toutes nos parcelles. D'après cet indicateur : la surface terrière, le développement des cacaoyers ne se ferait pas en fonction de l'intensité lumineuse disponible. Il ne serait pas limité par un ombrage diminuant le bilan radiatif, donc les potentialités photosynthétiques des arbres en dessous.

Pourtant, on sait que la lumière est un facteur majeur dans l'explication du développement d'un végétal et d'une plante pérenne. Si elle est déficitaire, elle peut être un facteur limitant strict. La qualité de cette note de vigueur est donc ici mise en question : la lumière devrait expliquer, en partie du moins, le développement des cacaoyers. Or la surface terrière n'est pas corrélée avec la présence d'une canopée supérieure ni avec la lumière qui l'aura traversée.

Il semblerait donc que la surface terrière ne soit pas le meilleur indicateur de notation agronomique permettant la mise en relation le développement de nos individus en rapport avec le bilan radiatif et l'interception de la strate supérieure des arbres d'ombrage. Dans la littérature, la surface terrière est présentée comme intéressante pour comparer des peuplements entre eux et leur variabilité mais n'est pas utilisée pour comparer des individus entre eux.

3.5.2. Estimation du feuillage des cacaoyers, bilan radiatif et ouverture de canopée supérieure

A l'inverse de la surface terrière qui n'était pas corrélée avec la strate supérieure, le feuillage estimé des cacaoyers (LAI) présente de meilleurs coefficients de corrélation comme le montre le *Tableau N°9*. Il semble que ce soit le stade *Cacaoyers matures dominants* (stade intermédiaire de la chronoséquence) qui présente la plus forte corrélation, comme cela l'avait déjà été mis en évidence précédemment à l'aide du graphique qui présentait chaque PH stade par stade avec pour couple de coordonnées : l'ouverture de canopée en abscisse et l'estimation du LAI en ordonnée.

Stade Cacaoyers immatures associés au vivrier (3 à 5 ans)

Au début de l'installation de la plantation, quand la canopée d'ombrage n'est pas encore mature, la corrélation obtenue est plus faible que pour les stades plus avancés (stade *Cacaoyers matures dominants* ou *dominés*) car l'ombrage est trop peu influant. La lumière qui n'est que peu, voir pas interceptée, par la canopée supérieure, arrive sans subir de diminution par le feuillage supérieur.

Puisqu'elle n'est que peu interceptée avant d'arriver au dessus des cacaoyers, il est normal de ne trouver qu'une corrélation faible (0.3) et peu significative entre l'estimation du feuillage des cacaoyers et l'interception végétale supérieure. On ne peut pas essayer de corréliser une variation de développement des cacaoyers avec une variation de la canopée supérieure si cet ombrage est encore immature, non dominant et trop peu développé pour intercepter de la lumière. Pourtant, malgré cette immaturité des arbres d'ombrage, et comme pour la *Figure N°48.1* dont la droite de régression présentait une pente positive faible, on observe une faible diminution des potentialités photosynthétisables pour les cacaoyers.

Stade Cacaoyers matures dominants (5 à 9 ans)

Les arbres d'ombrage ne sont pas encore dominants au dessus des cacaoyers. Pour autant, certaines espèces plus précoces commencent à dominer localement des portions de la cacaoyère. Les cacaoyers terminent leur transition d'un stade immature vers un stade mature : c'est à dire qu'ils sont arrivés à leur taille adulte.

Si le planteur gère correctement la taille annuelle des cacaoyers, ceux-ci n'auront plus de croissance en hauteur et n'auront pas un développement foliaire plus important.

Mais surtout, ce stade de la chronoséquence est celui où les cacaoyers arrivent à maturité, ils sont ou sortent juste de production foliaire importante. L'interception que peut jouer la strate supérieure aura été la plus forte des 3 stades car c'est à ce stade que le potentiel de feuillage du cacaoyer se met en place. Ensuite, le cacaoyer entrera en production de cabosses.

Les coefficients de corrélations pour ce stade *Cacaoyers matures dominants* sont les plus élevés : 0.8 et 0.6.

Stade Cacaoyers matures dominés (9 ans et plus)

Les arbres d'ombrage ont pris le dessus, les cacaoyers sont matures depuis le stade de chronoséquence précédent. Les coefficients de corrélation indiquent une liaison entre la présence d'une couverture supérieure qui intercepte la lumière et le développement du feuillage des cacaoyers en dessous (coefficients de corrélation de 0.4 et 0.5).

Mais cette corrélation est moins forte que pour le stade précédent où les cacaoyers arrivaient à maturité et rentraient en production de cabosses (non pas que les arbres ne produisent plus de feuillage mais les ressources allouées au feuillage seront moins important que celles allouées à la production de fruits une fois l'arbre mature).

On peut avancer deux hypothèses différentes mais plus ou moins complémentaires à cette baisse de la corrélation :

- La première est que la corrélation plus faible ainsi mise en évidence s'explique par le fait que les arbres ne sont plus assujettis pour leur production foliaire. Celle-ci est devenu moindre mais découle à l'origine de cette corrélation : quantité radiative et production foliaire du stade précédent.
- La seconde est qu'il ne faudrait plus rechercher une corrélation entre la présence d'une couverture supérieure d'interception et une production foliaire (alors que nous sommes dans un stade mature depuis plusieurs années pour les cacaoyers), mais entre la présence de la couverture supérieure et la production de cabosse qui est la conséquence de la maturité de nos cacaoyers. Cette production de cabosse, pour une plante de rente, serait un bon indicateur pour ce stade de chronoséquence à comparer avec le bilan radiatif et son interception/diminution par la strate supérieure

Cette hypothèse n'a pu être vérifiée pour des raisons de calendrier de stage : non présence sur le terrain à la floraison ni au moment de la récolte des cabosses. On peut cependant avancer que, si la surface terrière n'est pas le plus pertinent des deux indicateurs agronomiques mis en place, par contre, l'estimation du feuillage grâce aux PH, est un meilleur indicateur, plus fiable et représentatif de ce qui a été observé sur les parcelles.

Il faut tout de même nuancer ce raisonnement : la lumière est un facteur limitant du bon développement des cacaoyers, mais afin de déterminer l'ensemble des facteurs limitant, il faudrait prendre en compte d'autres variables agronomiques telles que les intrants (fertilisation et traitements phytosanitaires). Il faudrait croiser également les données radiatives ainsi que l'ambiance et le rôle de cette canopée supérieure en termes de production de cabosse. En effet, c'est la rente et donc l'intérêt majeur du cacaoculteur avec la sécularisation de son foncier. Enfin, il faudrait mettre en place un suivi méthodique des variables agronomiques de nos cacaoyers sur des périodes plus longues et plus étalées.

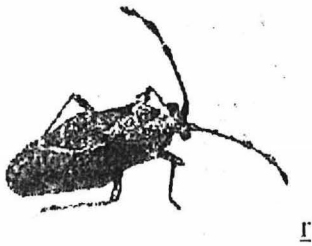
3.6. Résumé des observations et résultats relatifs à la croissance hétérogène des cacaoyers sous une canopée elle même hétérogène

Une fois traversée la canopée, la lumière est disponible pour la croissance foliaire et la production de cabosses des cacaoyers.

On observe que :

- Les SAF extensifs ont un ombrage qui devient limitant pour la croissance des cacaoyers une fois la canopée qui arrive à maturité,
- Une limitation qui semble se diviser en trois paliers :
 - Limitation très faible pour le stade juvénile : stade cacaoyers associés au vivrier (3 à 5 ans), les cacaoyers n'ont pas assez de feuillage pour être restreint par un ombrage lui-même immature,
 - Limitation la plus forte pour le stade intermédiaire : cacaoyers matures dominants, les cacaoyers sont encore ou sortent juste de leur pleine phase de croissance et de développement de leur feuillage mature,
 - Moyennement forte pour le stade final : cacaoyers matures dominés, les cacaoyers ne sont plus en croissance foliaire mais en phase de production de cabosses.

Un prolongement de cette étude des potentialités de production des cacaoyers serait à mettre en place en parallèle de notation agronomique cette fois-ci de production de cabosses.



I

Figure 50 : un miride

www.agents.cirad.fr, 2008

Les fourmis tisserandes *Oecophylla* construisent leur nid dans des arbres en attachant des feuilles ensemble, d'abord en les joignant par un pont d'ouvrières puis en les collant ensemble avec de la soie produite par des larves.

La reine est transportée un peu plus loin par les ouvrières lorsque les feuilles se dessèchent. De telles fourmis ont été installées depuis des siècles sur des cultures en Chine pour en protéger les fruits contre d'autres insectes, le prix à payer étant quelques piqûres lors de la récolte, mais attention ces espèces sont volontiers invasives. (Wikipédia, 2008)

4. Canopée hétérogène et distribution spatiale de la pression parasitaire

4.1. Une hypothèse de départ : la relation entre présence de mirides et lumière

Un objectif de ce stage est de mettre en relation le bilan radiatif avec la pression parasitaire au sein de cacaoyères. Pour cela, on se propose de comparer deux à deux les cartographies d'ouverture de canopée avec des cartes de krigeage des populations d'insectes (Figure N°50 : le miride : *S. singularis*) et de leurs dégâts (plus ou moins anciens : feuilles sèches, branches sèches et chancres).

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Mr Régis Babin, entomologiste au sein de l'équipe du CIRAD au Cameroun. Il travaille sur les mirides, un insecte piqueur-suceur, ravageur extrêmement présent et dévastateur des cacaoyères du Cameroun endémique de l'Afrique de l'Ouest. Son programme de recherche organise le suivi de cacaoyères infestées par des mirides. Il dispose ainsi de relevés pluriannuels de développement des cacaoyers, de production de cabosses, de populations de mirides (adultes et larves) présents sur les cacaoyers, ainsi que de relevés de dégâts induits par ces insectes (feuilles sèches, branches sèches et chancres).

Ce travail de caractérisation lumineuse et d'étude de la couverture végétale de la canopée rejoint son hypothèse de travail : « les mirides descendent sur les cacaoyers par le chemin de la lumière ». Les mirides semblent être attirés, soit par la lumière (phototropisme positif), soit par l'absence d'arbres d'ombrage et donc de feuillage de couverture pour déterminer les zones au sein de la cacaoyère où ils vont s'installer et se nourrir.

Afin de compléter son travail de recherche sous l'angle de données radiatives des parcelles, le travail de cartographies d'ombrage et de luminosité a été entrepris sur une parcelle suivie depuis plusieurs années.

La parcelle traitée est vieille, mature, âgée de plus de 20 ans. Installée sur d'anciennes terres de forêt, elle est dominée par une couverture supérieure de type forestier et fruitier au feuillage haut et dense fortement installé par endroits.

Toutes les cartographies d'ouverture de canopée ont été entreprises selon la même méthode que dans le cadre de l'ATP CARESYS. Les données de pression parasitaire ont été collectées après fumigation du SAF. On a collecté, pour chaque arbre, les différentes espèces d'insectes présentes, comptabilisé les mirides (adultes et larves) et relevé les dégâts sur chaque cacaoyer.

Ces données de pression parasitaire ont ensuite été traitées selon la méthode du krigeage qui permet de modéliser la distribution spatiale des mirides collectés.

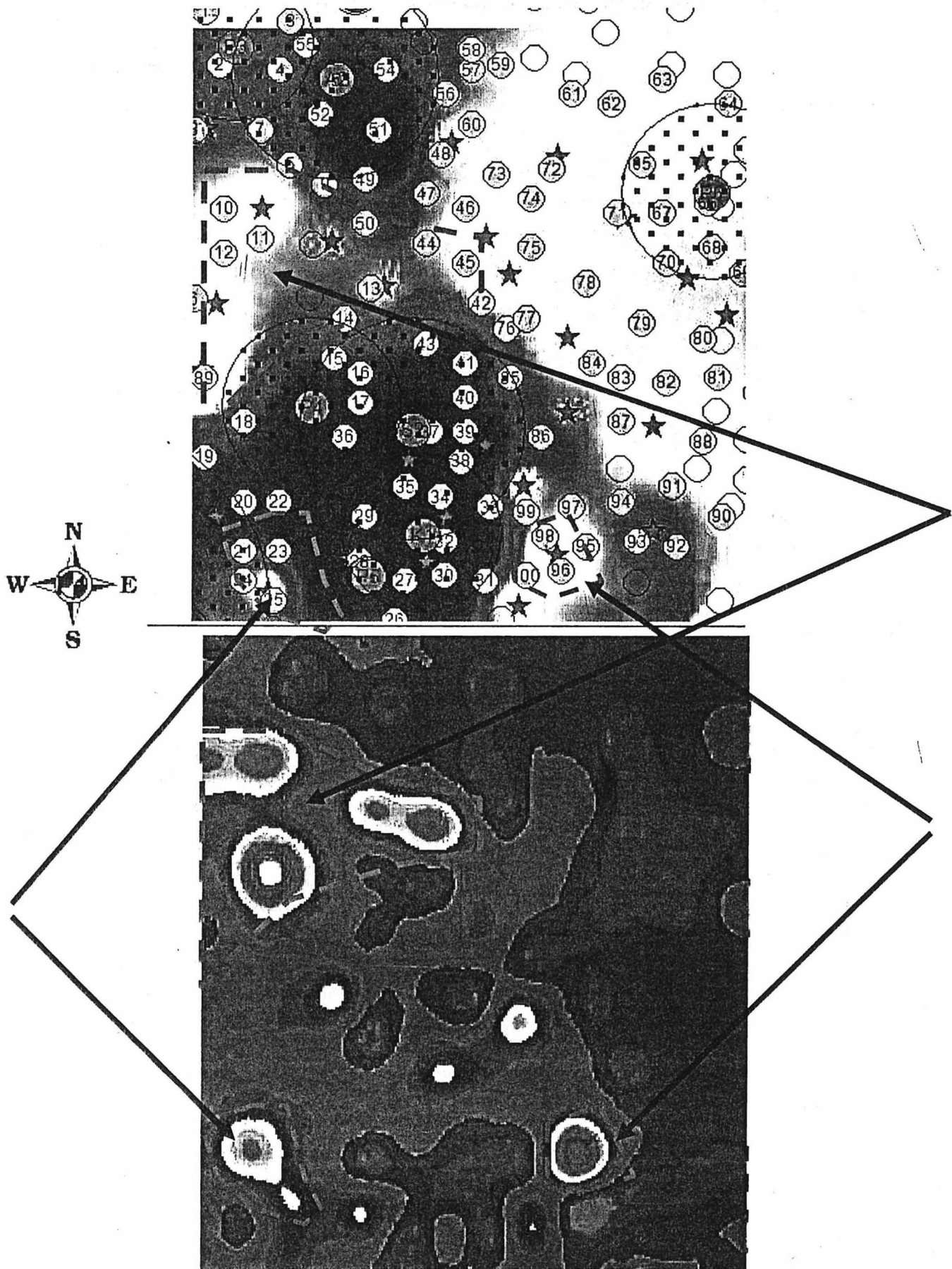


Figure N°51 : l'Ouverture de canopée (au dessus) et le krigeage de la distribution des mirides (en dessous) collectés sur la parcelle caractérisée

4.2. Ouverture de canopée et modélisation spatiale des mirides

La **Figure N°51** présente l'ouverture de la canopée supérieure et le krigeage de la répartition spatiale de la totalité des mirides présents et collectés sur la parcelle au moment de la fumigation (adultes + larves).

On retrouve quelques pics d'ouverture de canopée et de pression parasitaire conjoints. Aux emplacements où l'on retrouve les quantités les plus importantes de mirides, les valeurs d'ouverture de la canopée supérieure sont parmi les plus fortes.

On a schématisé en pointillés mauves ces pics conjoints entre l'ouverture de la canopée supérieure et la répartition des mirides.

Au Sud et à l'Ouest de la parcelle, on observe trois îlots de mirides dessinant trois petites taches qui témoignent d'une présence plus importante d'insectes. Ces taches sont positionnées à l'emplacement de trouées dans l'ouverture de la canopée. Les arbres d'ombrage y sont accidentellement moins présents. Cependant ce constat n'est pas validé par l'observation de la partie Est de la carte de l'ouverture de canopée. Elle y atteint les plus fortes valeurs de la parcelle. De plus il n'a pas été retrouvé de mirides sur environ 1/3 de la surface caractérisée non recouverte d'une canopée supérieure.

Donc la présence de mirides n'est pas généralisable à l'ensemble des trouées et accidents de l'ouverture de la canopée. La répartition des insectes n'est pas toujours superposable avec celle du positionnement des arbres d'ombrage. On ne constate pas leur présence de mirides à chaque percée de lumière où ouverture dans le feuillage des arbres d'ombrage.

Afin de proposer une explication à cette absence de mirides dans la partie la plus lumineuse de la parcelle, Régis Babin avance l'hypothèse que cette zone soit infestée de *fourmis eucophiles*. Leurs colonies vivent et forment leurs nids à l'intérieur du feuillage des arbres en tissant les feuilles entre elles avec de la soie. Ayant habitat et terrain de chasse au milieu des cacaoyers, ce sont des prédateurs de tous les insectes présents sur leur passage. Le plus souvent, les arbres colonisés par les fourmis au sein des cacaoyères sont indemnes de populations de mirides mais pas forcément de dégâts de mirides. Ceux-ci pourraient alors être antérieurs à l'installation des fourmis.

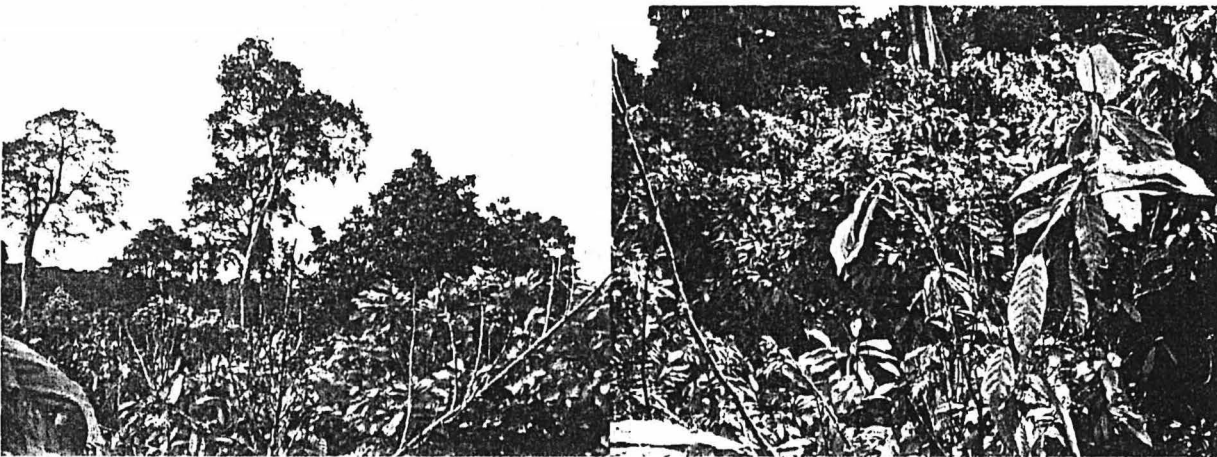
Certains planteurs disent les introduire volontairement dans leurs SAF dans le but d'éliminer tous les insectes, mirides compris.

Au Sud de la carte de l'ouverture de canopée se trouve une zone fortement ombragée ou les couronnes de recouvrement de quatre arbres d'ombrage âgés se superposent : deux palmiers, un safoutier et un kolatier. Deux des arbres sont de type fruitier à **Ombre Fort**, au port haut et au feuillage dense et étagé. A cet emplacement, sur la carte du krigeage des mirides, on trouve une zone où il y a moins d'insectes en comparaison avec les zones lumineuses infestées et positionnées autour.

Ceci vient appuyer l'hypothèse posée : les mirides préféreraient les zones lumineuses au sein des SAF ou du moins les zones où l'ombrage semble absent.



Un arbre sain au feuillage non-attaqué par les mirides



La cime de cacaoyers abimées par les mirides (feuilles et branches sèches).

Figure N°52 : 3 photos présentant un arbre sain suivi d'arbres aux branches piquées par les mirides et présentant des feuilles sèches et des branches sèches

4.3. Chronologie des dégâts de mirides

Figure N°5 : afin de se nourrir, les mirides piquent les parties tendres des cacaoyers pour y prélever de la sève. Trois types de dégâts peuvent apparaître suivant leur ancienneté : les feuilles sèches, les branches sèches et les chancres. Cette gamme de dégâts peut être rangée par ordre chronologique d'apparition et être ainsi datée.

- En premier, les mirides piquent les parties tendres et vertes de l'arbre, les flushs et les gourmands qui sont les organes les plus jeunes. Il en résulte des **dégâts immédiats** sur la production foliaire des cacaoyers. Les feuilles sèchent, dépérissent et l'arbre se défolie. Ce sont des **dégâts directs à court terme**.
- Lorsque le feuillage est trop abîmé de piqûres, ce sont les branches elles-mêmes (support du feuillage) qui sont attaquées, sèchent et dépérissent. Les branches sèches traduisent des dégâts plus anciens ; ce sont des **dégâts à moyen terme**.
- Enfin, les chancres sont la conséquence de l'infection fongique ou bactérienne des piqûres. En cicatrisant, elles forment des boursouflures appelées chancres. Ce sont les dégâts les plus anciens qui apparaissent au minimum un an après la piqûre quand celle-ci est cicatrisée. Ces marques seront visibles jusqu'à la mort de l'arbre. Ce sont les **dégâts à long terme**.

Les cartographies radiatives et les cartographies de pression parasitaire réalisées par la méthode du krigeage sont présentées deux à deux. Trois cartes de krigeage sont présentées au regard de la carte de l'ouverture de la canopée supérieure pour rechercher des similitudes dans les modélisations spatiales de la lumière au regard de :

- la distribution des mirides sur la parcelle (adultes et larves),
- la répartition des feuilles sèches : dégâts à court terme,
- la répartition des branches sèches, dégâts à moyen terme.

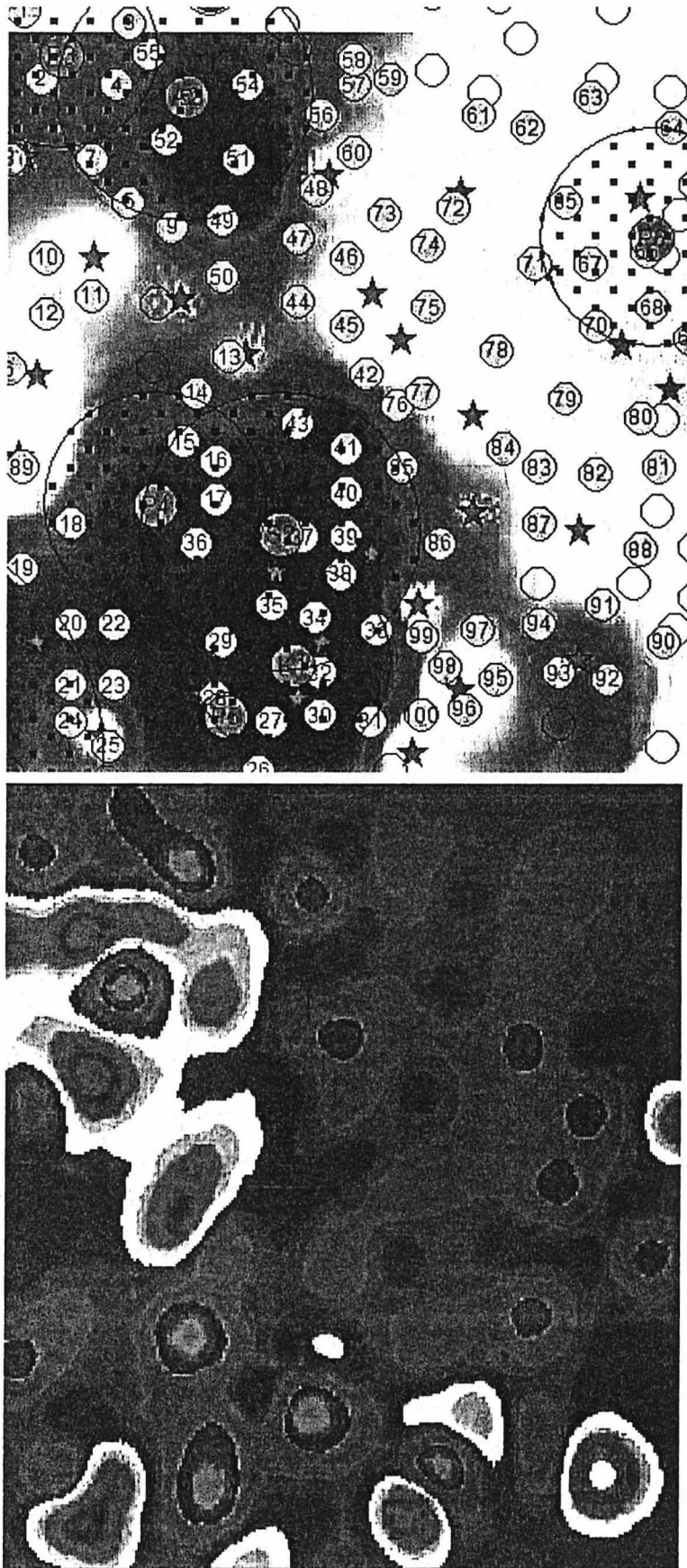


Figure N°53 : L'ouverture de la canopée supérieure (au dessus) et le krigeage des feuilles sèches : les dégâts à court terme (en dessous) de la parcelle caractérisée

4.3.1. Canopée supérieure et dégâts à court termes : les Feuilles Sèches

La *Figure N°53* compare la carte de l'ouverture de canopée avec la carte de répartition des feuilles sèches: les dégâts à court terme produits par les mirides.

On retrouve le même découpage que celui de la population de mirides précédemment décrit. Les taches de dégâts à court terme sont localisées aux mêmes endroits que les mirides, mais sur des surfaces plus vastes que celles des individus. Elles sont également plus intenses. Sur la partie Ouest des deux cartographies on retrouve au même endroit que la localisation des mirides, des dégâts aux surfaces plus étalées. Il en est de même pour les deux pics de mirides au sud de la carte.

Une des hypothèses énoncées lors des prises de mesures sur le terrain est que les individus adultes sont ailés et mobiles. Leur zone d'impact est plus vaste (en termes d'intensité de couleur et de surface sur le krigeage) que la répartition de tous les individus (adultes et larves). N'étant pas fixés sur un cacaoyer, ils changent d'arbre pour se nourrir. Ils augmentent ainsi la surface des dégâts occasionnés tout en laissant immobilisées les larves.

Les individus adultes étant mobiles, ils pourront avoir changé de cacaoyer une à plusieurs fois au cours de leur vie (recherche de nourriture, de partenaire de reproduction, fuite d'un prédateur, ...) avant d'être collectés sur un cacaoyer spécifiquement.

La zone où les arbres d'ombrage sont le plus fortement installés au dessus de la cacaoyère au Sud de la carte (superposition du feuillage des arbres d'ombrage), est celle où il y a eu le moins de dégâts directs.

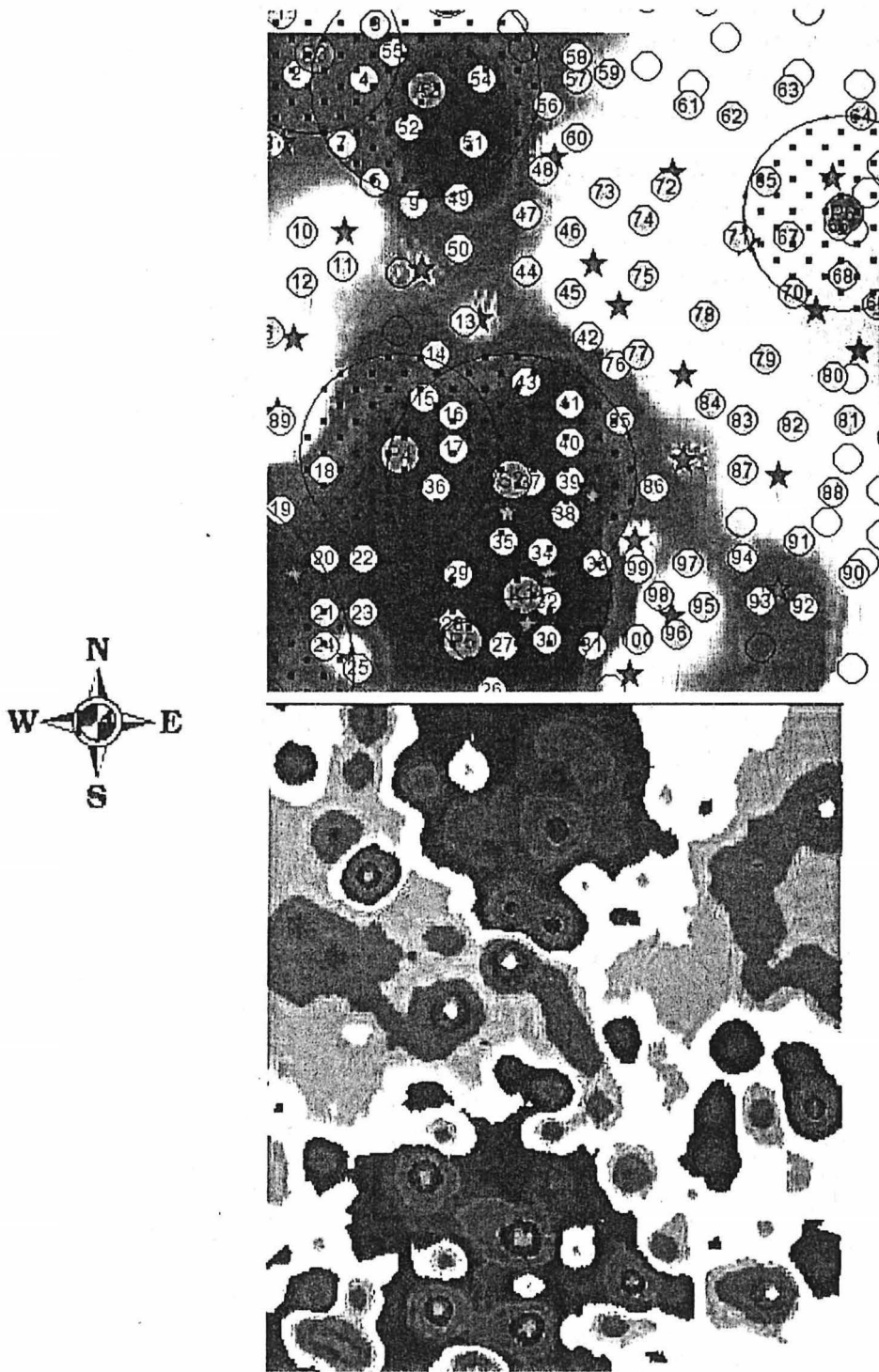


Figure N°54 : l'ouverture de la canopée supérieure (au dessus) et le krigeage des branches sèches : les dégâts à moyen terme (en dessous) de la parcelle caractérisée

4.3.2. Canopée supérieure et dégâts à moyen terme : les Branches Sèches

La **Figure N°54** compare la carte de l'ouverture de la canopée supérieure et celle de répartition des branches sèches observées sur la parcelle qui montrent les dégâts à moyen terme occasionnés par les mirides. On retrouve comme précédemment une forte similarité entre le positionnement des arbres d'ombrage et celui des dégâts sur la parcelle.

Les deux taches de feuillage prononcées des arbres d'ombrage qui se distinguent sur la cartographie radiative (au Nord et au Sud) se retrouvent sur le krigeage des branches sèches avec des valeurs de dégâts faibles. Ce sont les zones les plus éclairées et le moins couvertes par un feuillage supérieur, qui sont les plus touchées par les dégâts de mirides à moyen terme.

La zone Est, fortement éclairée, présente beaucoup de dégâts, alors que peu de mirides y avaient été collectés en 2007. Afin d'expliquer cette différence dans la répartition des dégâts avec les deux autres modélisations précédentes, il faut mettre en avant l'aspect temporel : la collecte des mirides a eu lieu en 2007, après l'apparition de feuilles sèches (dégâts court terme mais pouvant provenir des adultes ailés ou des larves immobiles), l'apparition de branches sèches (dégâts moyen terme) et enfin l'apparition de chancres (dégâts long terme).

Les mirides sont peu présents à l'Est de la carte lors de la collecte car il y aurait des populations de fourmis prédatrices. Pour autant, rien ne nous permet de savoir si, dans les années précédentes, les fourmis y étaient déjà implantées et si les mirides n'allaient pas se nourrir de ce côté ensoleillé (ou sans ombrage), les dégâts de branches sèches prouvant leur action passée. Cela expliquerait la localisation de dégâts plus anciens sur des zones où, en 2007, il n'y avait pas de mirides.

Il est donc intéressant de noter que, même si ces dégâts ne sont pas de l'année, ils attestent de la présence des mirides dans les années passées et permettent ainsi de déterminer de manière plus étalée dans le temps les endroits où ceux-ci sont à leur aise pour vivre et se nourrir. Ceci permet de mieux connaître les conditions d'habitat recherchées par les mirides et illustre l'hypothèse de départ sur la relation : présence de mirides-lumière renforcée par l'observation des dégâts à court et moyen termes.

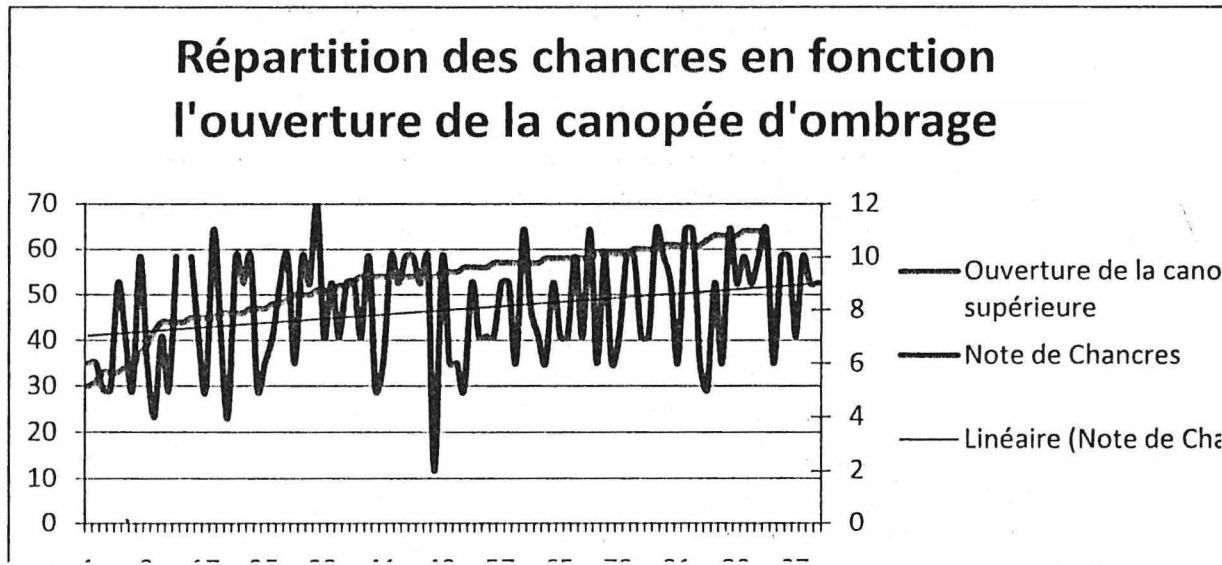


Figure N°55 : évolution de la note de chancre en fonction de l'ouverture de la canopée supérieure

4.3.3. Canopée supérieure et dégâts à long termes : les Chancres numérotation

Les chancres sont des dégâts à long terme qui apparaissent au minimum un an après la piqûre de l'insecte. Ces dégâts sont des cicatrices qui se conserveront tout au long de la vie de l'arbre. Les chancres ainsi trouvés sur cette parcelle peuvent donc avoir entre 1 an et plus de 20 ans. Sur la *Figure N°55*, on a présenté pour chacun des cacaoyers :

- L'ouverture de canopée,
- La note de chancres observée,
- La droite de régression de la tendance d'évolution de la note des chancres sur la parcelle au regard de la courbe de l'ouverture de canopée supérieure.

Il semble que plus l'ouverture de canopée soit importante, plus les mirides piquent et induisent des chancres sur les cacaoyers. Mais les chancres, comme dit précédemment, sont des dégâts à long terme et cette parcelle a plus de 20 ans. Il faut donc nuancer cette conclusion pour les dégâts à long termes. Conclusion qui ne pourrait être confirmée sans observations réalisées sur le long terme et sur un échantillon de parcelles plus représentatif.

4.4. Résumé des observations et résultats relatifs à la canopée hétérogène et la distribution spatiale des mirides

Une hypothèse de travail intéressante : « les mirides semble suivre le chemin de la lumière » ;

D'après cette hypothèse et au regard de la caractérisation de l'ambiance d'ombrage, on observe :

- Une similitude sur les cartes présentées entre la disposition des mirides sur des zones absentes d'ombrage supérieur,
- Une discordance du raisonnement : on ne retrouve pas des mirides à chaque fois que la zone est fortement ensoleillée,
- Une présence de colonies de fourmis prédatrices qui pourrait expliquer une absence localisée de mirides sur des zones fortement éclairées,

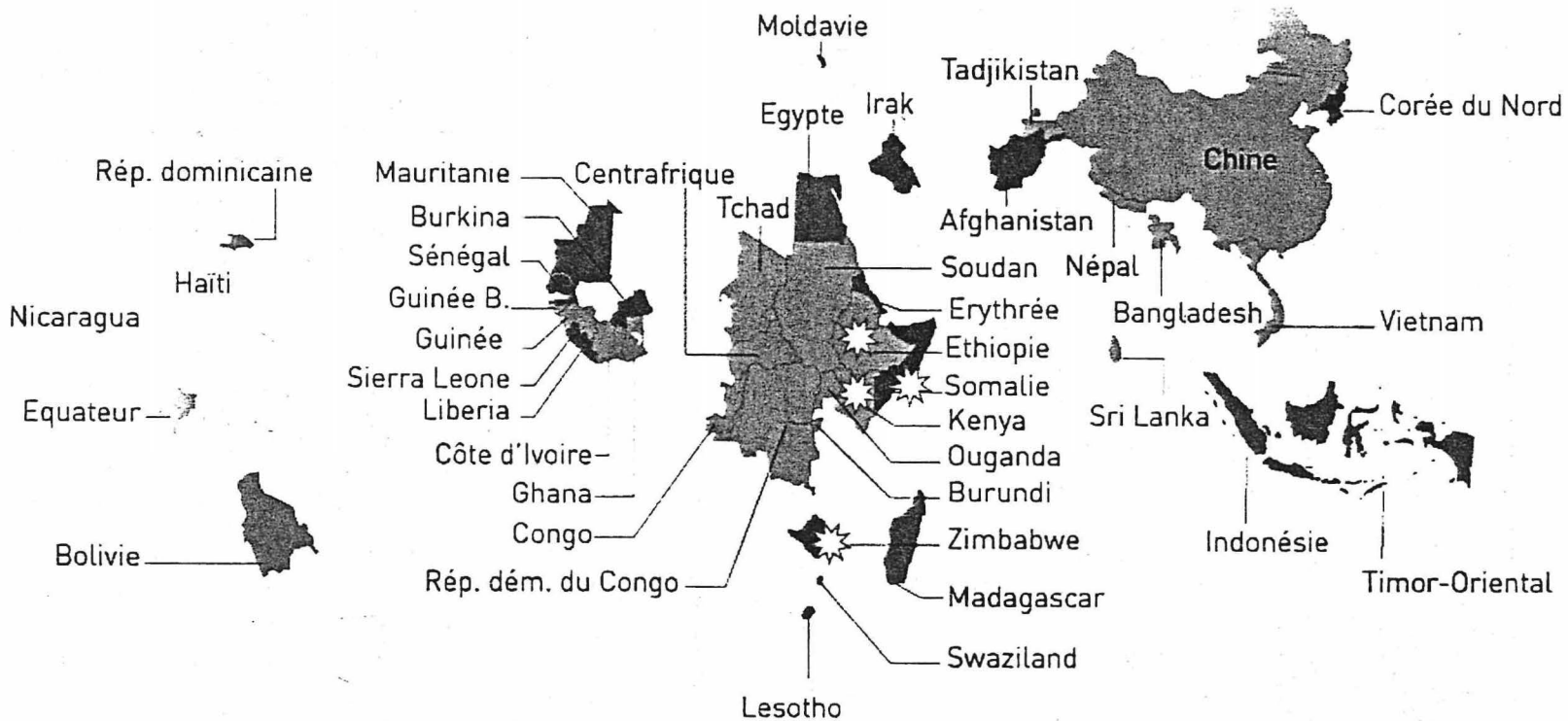
Sur la chronologie des dégâts occasionnés par les mirides :

- On retrouve des dégâts (plus ou moins étalés dans le temps) plus importants dans les zones où l'ombrage est absent sans qu'il n'y ait forcément des mirides actuellement,
- Les dégâts à long termes, pour cette parcelle de plus de 20 ans, concernent un pas de temps trop grand pour être interprétables au cours de cette étude rapide et ponctuelle.

Figure N°56 : Planisphère de la crise alimentaire mondiale (source : FAO, 2008)

PAYS AYANT BESOIN D'UNE AIDE D'URGENCE

- Pénurie exceptionnelle de nourriture (sécheresse, conflit, crise économique)
- Accès difficile à la nourriture (bas revenus, prix élevés...)
- Insécurité alimentaire localisée (population réfugiée ou déplacée, mauvaises récoltes)
- ★ Pays où de mauvaises récoltes sont prévues



Pays ayant suspendu ou réduit leurs exportations de céréales : Egypte, Inde, Indonésie, Kazakhstan, Thaïlande, Vietnam.

5. Confrontation entre la recherche proposée et les objectifs du développement dans le contexte agricole du Cameroun

5.1. Un contexte mondial agricole à la limite de l'explosion

L'actualité internationale est secouée par une situation alimentaire mondiale préoccupante dans les pays du Sud (*Figure N°56*) et parmi les classes les plus pauvres des pays du Nord. Pénuries alimentaires et augmentation du coût de la nourriture en sont les manifestations les plus visibles. La sous-nutrition et la mal-nutrition reprennent de l'ampleur malgré les résultats des actions de réduction de la pauvreté de l'Organisation des Nations Unies (ONU) entre 1990 et 2015. Les Objectifs du Millénaire étaient de réduire de moitié la proportion de la population au revenu inférieur à 1\$ par jour et qui souffre de la faim. La banque Mondiale (BM) évalue que plus d'une trentaine de pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud risquent de rencontrer de graves instabilités politiques et sociales à courte échéance. Les récentes Emeutes de la Faim au Cameroun, au Burkina Faso, au Pakistan et en Egypte le montrent. Dans ces pays, l'alimentation représente jusqu'à 70 % du revenu des ménages, contre 15% seulement dans les pays développés. Le riz, aliment de base, naturel ou introduit, pour de nombreux Pays en Voie Développement (PVD) a vu son prix doubler en quelques semaines. En Occident, l'accès à une nourriture de plus en plus chère fait baisser la qualité des aliments consommés par les classes les plus pauvres. La viande redevient un luxe inaccessible pour ces classes défavorisées.

Pour Jacques Diouf, directeur de la FAO, le risque que fait planer l'utilisation des biocarburants sur les surfaces de production alimentaires doit être jugulée à court terme pour qu'il n'affecte pas les populations pauvres sur le long terme. « *Les prix des denrées alimentaires au niveau mondial ont bondi de 45 % au cours des neuf derniers mois et il y a des pénuries de riz, de blé et de maïs* », a-t-il affirmé. Cette hausse catastrophique trouve ses origines dans une combinaison de facteurs : « *une production réduite due aux changements climatiques, un niveau historiquement bas des stocks, une consommation plus grande de viande et de produits laitiers dans les économies émergentes, une demande accrue pour la production de biocarburants et le coût de l'énergie et du transport. Sans oublier l'urbanisation sauvage dans les grandes villes du tiers-monde et les problèmes d'infrastructures que cela pose.* » « *Il est essentiel d'augmenter l'investissement agricole dans les infrastructures et la maîtrise de l'eau, et de faciliter l'accès des petits paysans aux intrants afin d'augmenter leur productivité* », a souligné Jacques Diouf. A cela s'ajoutent les conséquences du protectionnisme des pays riches sur leurs marchés agricoles et les subventions qu'ils accordent à leur agriculture. La spéculation organisée par les opérateurs économiques locaux de ces pays en crise n'arrange en rien l'accès à une ressource vitale : la nourriture quotidienne. Enfin des accidents climatiques et sismiques exceptionnels, tels que le cyclone Narguis en Birmanie, ou le tremblement de terre qui a ravagé toute la province du Sud-ouest du Sichuan en Chine, ont eu des répercussions directes sur la disponibilité en riz des marchés internationaux asiatiques ce qui surenchérit les prix des denrées de base.

Le secrétaire général des Nations Unies : Ban ki Moon, a réuni les dirigeants de l'ONU, de la BM, du FMI ainsi que des experts mondiaux pour dresser un état des lieux de cette crise des denrées alimentaires de base notamment riz, blé, maïs, et envisager les actions à entreprendre (mai 2008, New York). Tous partagent ces inquiétudes : les responsables du Haut Commissariat aux Réfugiés (HCR), de l'OMC, de l'Europe, des Etats Unis et les bailleurs de fonds nationaux, notamment la Grande Bretagne et la France.

Robert Zoellick, directeur général de la BM appelle à un « New Deal » alimentaire mondial pour répondre à l'urgence et envisager l'avenir de l'agriculture mondiale de manière

durable. Il s'agit de réduire la dépendance alimentaire en fournissant les moyens d'accéder à l'autosuffisance.

Selon le directeur du FMI, Dominique Strauss-Kahn, les « *conséquences seront terribles si les prix de l'alimentation continuent comme ils le font maintenant* ». « *Comme nous l'avons appris dans le passé, ce genre de situations se finit parfois en guerre* ». Pour Christine Lagarde, ministre française de l'Economie, la crise financière actuelle des marchés boursiers a sa part de responsabilité dans la spéculation qui encourage les investisseurs mondiaux à se reporter sur les marchés des Matières Premières et, alimentant ainsi la flambée des prix. « *Traitons la crise financière et on fera disparaître une partie de la pression qui s'exerce* » sur les prix alimentaires, a-t-elle ajouté.

Les Etats unis derrière Georges W Bush ont augmenté l'Aide Américaine pour la porter à 1 milliard de dollars. La Banque Asiatique de Développement (BAD) a débloqué 500 millions de dollars d'aide d'urgence. L'Europe promet, pour 2008, 440 millions de dollars d'aide alimentaire totale. La FAO réclame 1,7 milliards de \$ pour soutenir la production agricole des pays du Sud, dans un contexte où les stocks alimentaires mondiaux sont au plus bas depuis 1980. Le Programme Alimentaire mondial (PAM) estime son budget pour 2008 à 3,1 milliards de \$ et demande à ce titre une rallonge d'urgence de 755 millions de \$. Josette Sheeran, directrice du PAM, annonce « un tsunami silencieux ». Des dizaines de millions de personnes supplémentaires risquent de basculer elles-aussi dans la famine, la sous-nutrition et la malnutrition. Le monde a consommé plus qu'il n'a produit ces trois dernières années. Des pays tels que l'Australie, le Vietnam ou la Thaïlande, ont réorienté leurs productions vers leurs marchés domestiques afin de limiter les effets de la crise sur leurs propres populations.

Le Pape Benoit XVI appelle à une « *mondialisation de la solidarité* ». La communauté internationale, en cette fin de premier semestre 2008, semble répondre ces appels, en mettant à la disposition des organismes supranationaux du développement, de forte somme d'argent. Mais toutes ces ressources monétaires ne sont qu'une réponse à court terme à ces urgences alimentaires. Il faut en parallèle instaurer des bases saines et promouvoir une agriculture qui produit plus, proprement, durablement et équitablement afin de proposer une autosuffisance alimentaire pour ces pays et réduire leur dépendance à l'aide internationale, aux aléas climatiques tropicaux et aux fluctuations des cours internationaux des matières premières.

5.2. Une obligation d'envisager des réponses à moyen et long terme

Plusieurs dirigeants appellent à une « révolution agricole » dans les pays du Sud. En plus de cette révolution agraire, Gordon Brown propose un programme d'aide et d'accompagnement intégré auprès des petits producteurs. Il appelle à mettre ces questions de développement à l'ordre du jour du G8 (Japon / juillet 2008).

Les pays riches ont leur part de responsabilité dans cette crise alimentaire. Leurs politiques de protectionnisme, de dérégulation et d'ouverture des marchés des pays pauvres (condition de l'aide internationale) et les subventions accordées à leurs agricultures sont directement mises en causes. Ban ki Moon a accusé les Etats Unis et l'Europe, par ces mécanismes, de « *pénaliser les pays pauvres et de contribuer à l'urgence actuelle* ». Selon lui « *Il est temps pour les nations les plus riches de repenser leurs programmes démodés de subventions agricoles* ». Pour le président brésilien Inacio Lula da Silva, « *les principales victimes [des subventions] sont les fermiers les plus pauvres* » touchés par cette crise alimentaire ; il a ajouté : « *nous devons rester vigilants face à la tentation de pratiques protectionnistes des pays riches* ».

Chaque année, l'Occident engage de lourdes sommes pour soutenir la compétitivité de son agriculture. Parallèlement il pratique un protectionnisme agressif contre les produits agricoles et agroalimentaires importés, grâce à des droits de douane et des taxes d'entrées élevées (en Europe : jusqu'à 430% sur certains produits étrangers). Cela représenterait pour l'Europe 50 milliards d'euros distribués sous forme de subventions directes ou déguisées. Les Etats Unis consacraient 90 milliards d'euros à leur agriculture.

Enfin, l'aide internationale accordée est un moyen de pression pour les pays riches afin de forcer les pays du Sud à ouvrir leurs frontières et à supprimer leurs barrières douanières. Les aides alimentaires et monétaires sont adossées à des mesures d'ouverture de leurs marchés nationaux fragiles. Les résultats sont catastrophiques. Avec la suppression de leurs protections, ces pays pauvres subissent de plein fouet la concurrence déloyale des produits agricoles des pays du Nord subventionnés, mais aussi la concurrence acharnée que se livrent les pays du Sud entre eux, tout cela au détriment de secteurs entiers de leurs productions nationales et régionales, tant industrielles qu'agricoles.

Les défis de l'agriculture moderne devront concilier les tenants du protectionnisme et ceux de l'ultralibéralisme, tout en proposant aux paysans pauvres des techniques adaptées à leur contexte productif et respectueuses de l'environnement. Ainsi, après une phase de rattrapage vers la suffisance alimentaire mondiale, ces pays pourront envisager de réduire leurs dépendance et leur vulnérabilité, tant envers l'aide internationale, qu'envers la fluctuation immatérielle des prix des matières premières et des aliments.

Les gouvernements souverains de ces mêmes pays pauvres devraient être normalement parmi les premiers promoteurs de leurs agricultures nationales. Or suite à la crise mondiale du début des années 80 provoquée chez tous ces pays, qui soutenaient tant que possible leurs agricultures et leurs agriculteurs (subventions aux intrants, vulgarisation, matériels génétiques sélectionnés diffusés, politique de soutien des prix d'achat à l'échelon national, ...), on assiste à un désengagement brutal et un retrait total de ces politiques d'accompagnement. Le plus souvent, les agriculteurs des Pays du Sud se sont retrouvés seuls face à un marché international mondialisé, contre lequel, les petits producteurs et groupements de paysans ne pouvaient lutter.

5.3. Le cas de la cacaoculture au Cameroun

De 1977 à 1985, le Cameroun a connu une croissance économique soutenue (plus de 10% par an) grâce à l'utilisation et à la commercialisation de ses ressources pétrolières, minières, forestières et agricoles d'exportations. A partir du milieu des années 80 intervient la crise évoquée plus haut et s'opère un virage suite à l'effondrement des cours des produits bruts, ce qui provoque la chute du prix du cacao payé aux planteurs.

Dans le même temps, les dépenses publiques ont augmenté de 19%, ce qui a conduit le pays à une crise économique profonde. Du jour au lendemain, les prix du cacao passèrent de 435 à 250 FCFA/kg (MASSEIN, 2000). En 1990, la SODECAO annula toute forme de crédit de campagne. Enfin, en 1994, le système de stabilisation des prix aux producteurs est supprimé. (ALARY, 1996). L'Etat initia précipitamment de nouvelles structures afin d'assurer un auto-encadrement des populations rurales : les Groupes d'Initiatives Communes (GIC) chargés : « *de la promotion, de l'émergence et du développement des organisations de base* » (AKA ETOM, 2005). Le redressement de l'économie camerounaise et des cours du cacao tarda à se faire sentir, alors que la dévaluation du franc CFA (en 1994) favorisait une reprise de l'économie (MASSEIN, 2000).

Entre 1997 et 1999, les secteurs du cacao et du café ne représentaient plus que 2% du PIB national du Cameroun (ANONYME, 1999). Dans le même temps, la cacaoculture, pratiquée par $\frac{3}{4}$ des petites exploitations du Centre Cameroun représente 48 % du revenu total des ménages (HIETET cité par TODÉM, 2005).

Le coût de production du cacao se rapproche du prix « bords champs » payé aux petits cacaoculteurs. Ceux-ci se privent de tous apports et intrants. Les amendements coûtant trop cher, les systèmes fonctionnent en systèmes ouverts. La lutte phytosanitaire ne peut plus être entreprise faute de moyens, ce qui entraîne des chutes dramatiques des rendements.

Toutes ces raisons : prix trop bas, coût des intrants, pertes de rendement, rendent les exploitants de plus en plus frileux vis-à-vis de la cacaoculture. On observe un désengagement des cacaoculteurs vis-à-vis de leurs plantations. Ils limitent les investissements en argent et en temps de travail, sans pour autant abandonner leurs parcelles agroforestières ; ils assurent un entretien minimal pour dégager une récolte minimale. Plutôt que de planter de nouveaux SAF à base de cacaoyers, certains préfèrent se diversifier vers de nouvelles productions vivrières ou arborées. Ils installent de nouveaux SAF à base d'agrumes avec du maraichage intégré lors des premières années. Enfin, un désintéressement pour les fruitiers 'extensifs' comme le colatier, l'avocatier ou le manguier apparaît au profit des fruitiers 'intensifs' comme les agrumes et les safoutiers et cela malgré la revalorisation récente des prix du cacao (Glatard 2006). Pour autant, les exploitants ne pourront se résoudre à abandonner leurs cacaoyères, stopper la régénération des plus vieilles parcelles, ne plus installer de SAF (à base de cacaoyers ou autres) tant que l'accès à la propriété foncière se fera selon les règles villageoises.

5.4. La durabilité : une réponse coutumière au contexte mondial

Au sein du village de Kédia et plus généralement en Afrique de l'Ouest, il existe un mode de gestion de la ressource villageoise selon des règles de fonctionnement et de répartition collectives. La terre est le ciment identitaire du village, tant pour l'individu, que pour le groupe ou la collectivité. Elle permet la construction d'une identité sociale, d'être reconnu pour la qualité de son travail et la richesse accumulée. Les règles coutumières du village régulent la base du système de tenure foncière. Tout villageois ou résident a droit à la terre mais ce droit est hiérarchisé selon différents niveaux et degrés : patriarche du village, ancêtres, hiérarchie villageoise...

Le village dispose d'un capital foncier global qu'il doit gérer et entretenir pour l'ensemble de sa population. Chaque année, le chef de village pratique une rotation dans la mise en culture de nouvelles surfaces destinées à la production vivrière de l'année. Chaque famille appartenant au village se voit attribuer un lot de parcelles vierges qu'elle devra quitter à la fin de l'année agricole (soit deux à trois récoltes successives). Par cette gestion, toute personne et famille habitant au village doivent pouvoir subvenir à leurs besoins nutritionnels. De cette manière, par une rotation planifiée sur plusieurs décennies (en fonction de la ressource foncière disponible du village et du nombre de famille ayant droit d'accès et de travail), le village pratique la jachère pour laisser se reposer son capital foncier.

Mais cette gestion collective interdit, de fait, toute acquisition foncière par les familles à titre privé qui ne peuvent exploiter durablement les parcelles qu'elles devront abandonner en fin d'année. Cela limite l'investissement travaillistique (défriche-brulis, labour, aménagements hydrauliques, ...) et capitalistique (intrants, achat de semences, espèces pérennes). Cette gestion de la production vivrière ne permet pas aux familles de dégager un revenu monétaire, ou alors dans de faibles proportions. La production de revenu se faisant grâce à des espèces pérennes ou semi-pérennes (cacao, café, kolatier, avocatier, plantain,

agrumes, ...), il serait irrationnel d'installer un système arboré, nécessitant une projection sécurisée sur plusieurs décennies.

Afin d'offrir une gestion privée familiale et individuelle sur le long terme et permettre une rémunération monétaire des familles, il existe une seconde règle coutumière villageoise. Après avoir obtenu l'accord des élites dirigeantes concernées (chef du village, chefs de quartiers, patriarches familiaux, ...), un planteur peut obtenir, à partir de la surface totale collective villageoise, une parcelle agricole dont il deviendra l'unique propriétaire. Il doit pour cela y créer un SAF ou du moins installer des espèces ligneuses pérennes. Tant que ce système agricole sera entretenu, personne ne pourra lui contester son titre de propriété. Ainsi, il pourra, à sa guise, le léguer à ses descendants, qui, s'ils continuent à l'entretenir, conserveront cette acquisition foncière privée. Par cette seconde règle, une famille gèrera deux types de production : une production alimentaire sur l'espace agricole collectif par un investissement minimum (travail et intrants) et, en parallèle, une production arborée fruitière de rente qui lui permettra un retour sur investissement durable, un revenu et un titre de propriété.

Cet encadrement coutumier et ces règles de l'usage individuel de l'espace agricole collectif sont considérés, par les villageois, comme supérieurs aux lois du Cameroun. L'Etat camerounais se garde de s'immiscer dans la gestion du patrimoine foncier villageois tant qu'il n'a pas de raisons d'intervenir.

Cette gestion de l'espace foncier dicte le mode de d'exploitation et les pratiques de l'agriculteur. A ce titre, les SAF sont exploités de manière extensive, plus qu'intensive. Les exploitants pratiquent une diversification des espèces plantées, entretenues et récoltées. Ils choisissent ainsi une sécurisation de leurs récoltes variées par une diversification des productions agricoles. Les aléas climatiques et la pression phytoparasitaire pèsent moins que sur une seule espèce productive sur laquelle le planteur aurait misé tous ses espoirs. Les autres productions pourront secourir le planteur et sa famille en cas de perte de la récolte d'une espèce.

Mais entre le tout intensif promu dans les pays riches, et une extensivité peu créatrice de richesses pratiquée dans les pays pauvres, il existe une formidable marge de manœuvre pour une agriculture intégrée à son environnement écologique, mais également à son environnement humain. C'est dans cette optique que la recherche publique internationale, en partenariat avec des acteurs locaux impliqués dans le développement de leurs pays, doit prendre le relai. Dans ses fondements et ses objectifs, la recherche est à la source du progrès, ingrédient essentiel pour la création de systèmes agricoles plus performants, raisonnés dans leur contexte.

5.5. Une recherche axée sur des objectifs de production monospécifiques

L'intérêt porté à l'étude des SAF est relativement nouveau. La recherche, par le passé, considérait ces systèmes agricoles comme des systèmes « anarchiques » où de nombreuses espèces étaient plantées sans organisation rationnelle, selon le point de vue développé par les agricultures intensives, monospécifiques occidentales. Elle ne les envisageait que selon une étude des rendements, plante par plante, sans analyser le système dans sa globalité de production et de services fournis. Ainsi, on était tenté de considérer les rendements comme faibles alors que la production totale cumulée de ces SAF n'est toujours pas possible à chiffrer. La complexité est forte pour permettre de dénombrer facilement l'ensemble des productions et services que les SAF sont en mesure de proposer tant à l'agriculteur, qu'à l'agriculture, mais également à son environnement et à son écosystème environnant.

Les scientifiques qui travaillent à l'étude des SAF plurispécifiques complexes reconnaissent qu'ils n'accordent pas la même importance aux différentes variables étudiées. Certains étudient selon une vision de production, d'autres de durabilité environnementale, d'autres encore essaient de projeter les évolutions internes de ces systèmes pouvant vivre jusqu'à une centaine d'année lorsqu'ils sont correctement entretenus et régénérés (on trouve au Cameroun des SAF à base de cacaoyers qui ont plus de 80 ans). Afin de mieux discerner les fonctionnalités de ces SAF, une démarche d'intégration des acteurs, les cacaoculteurs, est entreprise par la recherche en cours et par ses observateurs, les scientifiques. Cela permet d'analyser et de prendre en compte les rationalités agricoles, familiales et coutumières qui dirigent les planteurs dans la gestion de leurs parcelles.

5.6.L'ATP CARESYS : une recherche innovante à l'écoute des SAF

Fort de ce constat, l'ATP CARESYS s'est lancée dans « la caractérisation et l'évaluation des performances agro-écologiques de systèmes de culture plurispécifiques en zone tropicale humide » (ENJALRIC, 2005).

Dans une première phase, cette ATP doit permettre de mieux comprendre ces SdC multistrates, et en particulier leurs composantes biophysiques et socio-économiques (SCHCROTH et SINCLAIR, 2003, NAIR, 2001 cités par Enjalric, 2005). Elle a été entreprise grâce aux deux stages précédents réalisés par deux étudiants du CNEARC.

La deuxième étape consiste à les évaluer. Cependant, les méthodes et critères d'évaluation, généralement utilisés sur les systèmes intensifs monospécifiques s'avèrent insuffisants et de nouveaux indicateurs doivent être identifiés. (GLATARD, 2006).

Enfin, cette ATP se propose de contribuer à l'optimisation et à l'amélioration des SAF et de participer à la création d'itinéraires techniques et de SdC selon les principes de durabilité que sont la sécurisation des revenus, l'optimisation de la productivité du travail, le retour sur investissement, la pérennisation des productions et la protection de l'environnement, ...

L'ATP CARESYS se trouve pourtant tiraillée entre deux grands axes de résultats : le premier, et le moins attendu, est que les SAF sont dirigés selon un objectif de durabilité qui était encore mal compris et qui apparaît de plus en plus rationnel pour répondre aux réalités de terrain. La durabilité, vue sous l'angle de la production, était envisagée le plus souvent comme une limite à l'augmentation du rendement et à la création de richesses.

Le second résultat, tiré de la présente étude du bilan radiatif, montre comme nous allons le présenter ci-dessous, des résultats qui ne coïncideront pas forcément avec la gestion durable voulue par les planteurs.

5.7.Des résultats et des recommandations en opposition avec la gestion durable du planteur :

Les résultats permettent d'avancer que lorsque le SAF entre en production et que la strate des arbres d'ombrage mature est dominante (à partir de 6 à 8 ans), le feuillage de la canopée devient une variable limitante de la photosynthèse des cacaoyers. Il en résulte comme nous l'avons montré une diminution des quantités radiatives disponibles pour les strates inférieures, ce qui entraîne un développement limité du feuillage des cacaoyers. Cette étude n'a pas porté sur la production de cabosses, mais il est facile de prolonger par analogie le raisonnement agronomique : si la canopée restreint la production foliaire des arbres installés en dessous d'elle, elle limitera également la production fruitière des cacaoyers. Et cela pour deux raisons : avec un feuillage moins développé, un arbre dispose d'un potentiel photosynthétique diminué, et à comparaison égale entre deux cacaoyers, celui qui recevra le plus de lumière produira le plus de cabosses.

La recommandation qui découlerait serait donc de proposer aux planteurs de diminuer l'ombrage et ainsi optimiser la production cacaoyère. Pourtant, cette proposition ne serait pas suivie et cela pour plusieurs raisons :

- La première, et la plus forte, est la volonté de tous les planteurs de gérer leurs SAF selon **une optique de durabilité maximale**. Le cacaoyer peut pousser sous ombrage ou en pleine exposition solaire. La grande variance de ces deux modes de gestion tient dans l'intensivité de production générée par la disponibilité radiative. Plus le cacaoyer reçoit de lumière et plus il poussera vite, entrera rapidement en production, atteindra son optimum de production mais plus vite il s'essoufflera et tombera en dégénérescence. Le planteur recherche, quant à lui, un maximum de durabilité. Il managera donc son système de manière extensive afin qu'il dure le plus longtemps possible. Ainsi, il choisira un ombrage dominant fort qui limitera la photosynthèse des cacaoyers en dessous. Une cacaoyère placée sous ombrage forestier pourra durer jusqu'à une centaine d'année et même plus, tandis qu'une cacaoyère placée en plein soleil s'éteindra et dégènera à partir d'une trentaine d'année.

De plus, un management extensif des SAF permet au planteur de disposer de sa force de travail rationnellement tout au long de sa vie active. L'installation d'une cacaoyère est la période la plus critique et la plus coûteuse en temps et en effort de travail. Quand le système stabilisé est entré en production, le planteur « peut se reposer en attendant sa récolte ». Il se contente d'opérations de nettoyage et de récolte. Il ne labourera plus, n'aura plus à défricher, l'ombrage limitant l'envahissement des herbes au sol. S'il se projette correctement dans l'avenir et prépare sa retraite, quand sa force de travail aura diminué avec l'âge, il disposera de parcelles à entretenir jusqu'à la fin de ses jours et donc d'un capital économique. C'est une logique de capitalisation travaillistique à une période de sa vie où il peut fournir cet effort physique. Il profitera du retour sur investissement lorsque sa force de travail l'aura abandonné et lui interdira tout travail intensif.

Enfin, dans une logique de transmission d'un capital « acquis à la sueur de son front » à ses descendants mâles, le planteur dispose ainsi d'un patrimoine transmissible, à sa mort.

- Une seconde raison est le prix du cacao payé aux planteurs. Une amélioration du produit des ventes les pousserait vers une intensification de leur production. **Sans des potentialités économiques véritables, le planteur limitera au maximum son investissement travaillistique (entretien, élagage, ...) et capitalistique (intrans, traitements phytosanitaires) pour s'assurer de son retour sur investissement.**

L'étude des mirides au regard de l'ambiance radiative était justifiée par son postulat de départ : « les mirides semblent suivre le chemin de la lumière ». Leur présence endémique en Afrique de l'Ouest, dans un contexte où les produits de traitement phytosanitaire sont inaccessibles, pousse les planteurs à développer une canopée d'ombrage fort pour limiter la pression parasitaire. Là encore, la rationalité durable est promue devant une rationalité de production.

Ainsi l'on voit les antagonismes auxquels la recherche est confrontée, sans pour autant qu'elle ait été inutile ou infructueuse. D'autres facteurs, sources d'antagonismes, seraient à citer, et cette ouverture n'a pas la prétention de tous les avoir tous pris en compte ni analysés. Il est donc important que l'ingénieur ISTOM se place dans le contexte local et essaye de concilier ses objectifs de mission et de travail avec les impératifs locaux. S'il ne prend pas en

compte les rationalités et attentes des populations cible, sa mission se heurtera à la non-participation et au désintéressement de celles-ci (les cacaoculteurs dans notre cas).

Souvent, des projets intelligents et raisonnés, mais dont les objectifs ont été établis et définis par les promoteurs du développement, n'ont pas intégré les rationalités locales ni confronté leur point de vue avec les attentes des personnes bénéficiaires. Ces actions ne peuvent être pérennes puisque non acceptées par les populations destinataires. Celles-ci ne chercheront à en tirer qu'un profit immédiat et à court terme, ce qui grèvera d'autant la portée, la finalité, la rentabilité, la viabilité et le succès de ces missions de développement qui ne pourront atteindre leurs objectifs.

Conclusion

Cette étude a choisi de retenir comme base d'approche de l'agroforesterie le bilan radiatif, le développement de la canopée supérieure et sa structure évolutive au cours des stades de la chronoséquence. Pour cela, il a d'abord été étudié l'hétérogénéité omniprésente, comme constat de démarrage, avant de s'intéresser à ses conséquences sur la lumière et sa disponibilité pour les cacaoyers, strate inférieure de ces systèmes multistrates et étagés. Puis, à l'aide d'une caractérisation de la canopée végétale supérieure et des cacaoyers (% d'ouverture de canopée), suivi d'une caractérisation du bilan radiatif au travers de ces deux strates pérennes, et de l'estimation du feuillage des cacaoyers (LAI estimé), nous avons pu déterminer l'impact de la canopée sur le développement foliaire des cacaoyers.

L'hétérogénéité définissant les SAF est elle même créatrice de développement hétérogène. La gestion extensive, la non-sélection des plants d'arbres (d'ombrage et cacaoyers), les rudes conditions de la savane (conditions pédoclimatiques, pression parasitaire), la structure inorganisée de la plantation lors de son installation, la conservation d'espèces forestières plus ancienne au sein de nouvelles plantations agroforestières et enfin la variabilité intra et interspécifique des arbres d'ombrage (feuillage, densité foliaire, étagement, recouvrement), la disparition et le remplacement d'une partie des espèces plantées au cours du temps (taux élevé de mortalité, vivrier et bananier uniquement pendant la croissance du SAF encore improductif), tout cela prédispose et fait se développer la canopée supérieure des arbres d'ombrage selon une hétérogénéité innée et obligatoire.

La lumière, qui doit traverser cette hétérogénéité végétale avant d'arriver au dessus des cacaoyers ne peut être elle-même qu'hétérogène dans sa disponibilité photosynthétisable. Elle sera de plus en plus diminuée en termes de quantité radiative photosynthétisable pour les plantes de la strate inférieure : les cacaoyers, à mesure que la canopée sera mature et dominante.

Tandis que les cartographies de l'ouverture de la canopée réalisées s'assombrissent avec le temps, la canopée semble devenir inopérante lorsqu'elle s'ouvre devant une lumière qui elle « expose ». Sa disponibilité et sa diminution sont directement liés à la nature et la classe d'ombrage des arbres qui dominant (ombrage **Fort**, **Faible** ou **Absent**).

On met ainsi en évidence qu'un ombrage mature **Fort** devient un facteur limitant du développement foliaire des cacaoyers :

- **Faiblement** lors de la croissance des cacaoyers et de la canopée, tous juvéniles, lors des 5 premières années,
- **Fortement** lorsque les cacaoyers sont en pleine croissance foliaire entre 5 et 10 ans,
- **Moyennement** lorsque les cacaoyers sont entrés dans leur pleine phase de production de cabosses.

En parallèle de l'étude du développement des cacaoyers, une parcelle infestée de mirides a été caractérisée. Il n'a pas été possible de dégager de conclusion scientifique de cette rapide étude de la pression parasitaire au regard du bilan radiatif. Pour autant, les comparaisons visuelles présentées, même si elles n'ont pas abouti à une validation scientifique et statistique (échantillon trop petit et non représentatif) ont confirmé pour partie l'hypothèse d'un phototropisme entre les mirides et la lumière (qui semble variable dans le temps) de l'entomologiste (R. BABIN) avec qui cette étude a pu être entreprise en partenariat. Ainsi on constate sur les cartographies d'ouverture de canopée et de krigeage des mirides,

comparées deux à deux, des similitudes visuelles intéressantes, mais pas généralisables à l'ensemble de la parcelle. Ces résultats encourageants ont, à ce jour, été complétés par Régis Babin, et ont abouti à des résultats confirmés scientifiquement et statistiquement. Une publication scientifique est à ce propos en cours de validation par le CIRAD.

L'implantation de SAF (à base de cacaoyers dans notre cas, ou de fruitiers plus généralement) est à rapprocher de l'accès au foncier, lui même dirigé par des règles coutumières du village. Ce sont les impératifs coutumiers de l'accès à la propriété, auxquels aucun planteur ne pourrait se soustraire. Ce qui les incite à adopter une gestion extensive plurispécifique, plutôt qu'intensive et qui se baserait sur un nombre d'espèces ligneuses plus réduit.

Pour ces paysans, la recherche d'une durabilité de leur investissement travaillistique, à travers une pérennisation des surfaces agroforestières en production, semble plus important qu'un retour sur investissement à courte ou moyenne échéance. La dynamique positive de restauration de la fertilité des SAF installés en savane vient d'autant appuyer l'utilité écologique et environnementale de ces SdC innovant, issus de l'adaptation des populations rurales à la disparition des surfaces forestières disponibles.

Au Cameroun, grâce à la succession de deux stagiaires ingénieur, cette ATP a mis en avant : la dynamique positive de restauration de la fertilité (Glatard, 2006) lors de l'installation de ces SAF à base de cacaoyers en savane, ce qui est extrêmement novateur dans un contexte croissant de savanisation et de pression foncière. De plus la gestion extensive durable montre la rationalité éloignée du « tout productif » de ces cacaoculteurs qui ont du mal à s'intégrer aux filières et marchés d'écoulements de leurs productions selon une sortie uniquement économique. Cette extensivité et cette multiplicité leur offrent, certes, moins de cabosses de cacao, et donc moins de revenus à la fin de l'année, mais les sécurisent par sa diversification et les mettent à l'abri d'imprévus (climatiques, parasitaires et autres) que subissent les systèmes intensifs monospécifiques, au haut degré d'investissement et d'intrants (machinerie, traitements phytosanitaire, engrais) développés au Nord. Ces résultats innovants mis en avant par l'ATP CARESYS confirment et appellent à l'intérêt d'une étude approfondie des SAF, de leur rationalité face à un contexte local et international, et de leur fort degré d'intégration social par les populations autochtones rurales les exploitants.

A travers cette étude, nous avons pu constater les limites d'interprétations si l'on ne s'intéresse qu'au feuillage pour évaluer et caractériser le développement des cacaoyers, arrivés à un certain âge. Il faudrait étudier la façon dont l'arbre répartit l'énergie de sa photosynthèse entre son feuillage et ses cabosses sans quoi on se prive d'une partie du raisonnement agronomique.

De même, en ne s'intéressant qu'au cacaoyer, on ne s'intéresse pas à la multitude de productions et de services que le planteur peut tirer, volontairement ou inconsciemment de son système. Le SAF, ciment de la gestion foncière coutumière et donc de cohésion villageoise fournit des biens et des services. Il fournit un revenu monétaire. Il fournit également une nourriture quotidienne qui se partagera en famille, ou en communauté, ou lors d'évènements exceptionnels. Il fournit aussi une production d'alcool de vin de palme, qui se partage en groupes et qui permet d'acquitter des impôts et taxes coutumières et communautaires. De surcroit, le SAF fournit les matériaux de construction. Il est une « pharmacie » par sa disponibilité en plantes médicinales qui y poussent, naturellement à l'état sauvage ou introduites par le planteur. Enfin sa dynamique plurispécifique dynamise l'écosystème et la biodiversité dans lesquels il s'intègre.

Toutes les propriétés de l'agroforesterie ne sont actuellement qu'effleurées par les ONG et les organismes nationaux et internationaux de recherche. Bien qu'accessibles, elles sont difficilement discernables et même parfois invisibles tant leurs imbrications mutuelles sont multiples et répondent à des liaisons indéchiffrables pour un observateur occidental muni de ses grilles de lecture et de rationalité inculquée au Nord. Pourtant elles doivent être prises en compte dans l'analyse des SAF au Centre Cameroun, mais également dans l'analyse de l'Agriculture des Pays du Sud si l'on veut promouvoir un développement dynamique et l'envisager sur le long terme tant équitablement qu'écologiquement.

Une telle étude touche les domaines de l'Agriculture et de l'Agronomie qui l'ont motivés, mais également de l'Economie, du Social, de l'Anthropologie, du droit coutumier et lorsqu'il s'agit de l'Afrique, du sacré et de la superstition : « Magie et Mysticisme autochtone ». Il faut donc ouvrir le développement, l'immerger et l'imprégner de ces grilles de lecture tropicales et exotiques afin de lui proposer une optique, une orientation de travail rationnelle à nos yeux, mais aussi acceptable aux yeux des populations cibles, en accord avec leurs souhaits, leurs attentes et leurs traditions.

Bibliographie

- Abanda, S. E., Fankam, H., Gilbert, C. L., Kamajou, F., Nchare, A., et Tollens, E.** 1999. Rapport provisoire. Effet de la libéralisation dans les sous-secteurs café-cacao au Cameroun. 247p.
- Aka Etom, L.** 2005. Diagnostic agraire du village de Kédia, Mbam et Inoubou. Mémoire de diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale : CNEARC, Montpellier, 98 p.
- Alary, V.** 1996. Incertitude et prise de risque en période d'ajustement, le comportement des producteurs de cacao du Cameroun avant et après 1994. Thèse de doctorat en économie : Université Paris I, Orstom, 749 p.
- Anonyme** 1999. Effets de la libéralisation dans les sous-secteurs café-cacao au Cameroun. Rapport provisoire : Cameroun, minagri, 247 p.
- Anonyme** 2000. Etudes socio-économiques régionales au Cameroun, province du centre. Projet PNUD-OPS CMR/98/005/01/99 : Cameroun, minpat, 152 p.
- Babin, R.** 2005. Contribution à la définition de recommandations de lutte intégrée contre les maladies et ravageurs par l'élaboration participative d'un modèle d'aide à la décision. Rapport annuel scientifique et technique, projet FSP-2000-137 Mise au point de systèmes de culture compétitifs et durables en Afrique, France-Cameroun : Irad, Cirad, 32 p.
- Baumer, M.** 1987. Agroforesterie et désertification. Centre technique de coopération agricole. 259 p.
- Braudeau, J.** 1969. Le cacaoyer. Techniques agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose. Paris. 299p.
- Brouot, J.** 1990. Le cacaoyer. Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose. Paris. 160p.
- Carrière, S.** 1999. Les orphelins de la forêt « Influence de l'agriculture itinérante sur brûlis des Ntumu et des pratiques associées sur la dynamique forestière du sud Cameroun. Thèse de doctorat : Université Montpellier II.
- Champaud, J.** 1973. Commentaires des cartes de l'atlas régional Ouest II. France : Orstom, 115 p.
- CIRAD.** 2008. [on line] [2008/05/05]. www.cirad.fr
- CIRAD.** 2007. Le CIRAD en 2006. 27p.
- CIRAD-DSA, programme SILVIT.** 1990. Stratégies des producteurs en zone caféière et cacaoyère du Cameroun. 35p.
- COFACE.** 2008. [on line] [2008/05/05]. www.coface.fr
- Doncker H.** 1663 : Atlas nautique. The atlas of atlases: the map maker's vision of the world. 1992 Marshall Editions developments limited, 192p.
- Enjalric, F.** (2005). Fiche projet ATP Caresys. Montpellier : document interne du Cirad, 13 p.
- Enjalric, F.** (2007). Fiche de proposition de stage 2007. Montpellier : Cirad, 4 p.
- FAO.** 2008. [on line] [2008/05/05]. www.fao.org
- Feintrenie L.** 2006. Analyse de la conduite technique de SAF à base de cocotiers sur l'île de Malo, Vanuatu. Montpellier : CNEARC, 106p. Diplôme d'ingénieur de spécialisation en agronomie tropicale.
- Glatard F.** 2006. Analyse de la conduite technique de cacaoyères au Centre Cameroun : liens avec le milieu (forêt/savane) et les caractéristiques de fertilité des sols. Montpellier : CNEARC, 144p. Diplôme d'ingénieur de spécialisation en agronomie tropicale.
- Hors Série Jeune Afrique N°18** : l'état de l'Afrique 2008. Jeune Afrique, 226 p.
- Kiepert R.** 1902 ; H. Kiepert's politische Wandkarte von Afrika. Couleurs de la terre. Bibliothèque nationale de France : Seuil/Bibliothèque nationale de France, 243p.
- IRAD.** 2008. [on line] [2008/05/05]. www.irad-cameroun.org
- Jagoret, P., Bouambi, E., Menimo, T.** 2004. Historique de l'introduction de la cacaoculture à Kédia. Cameroun : document interne de l'Irad, 2 p.

- Jagoret, P., Couve, C., Bouambi, E., Menimo, T., Domkam, L., et Nyassé, S.** 2006. Caractérisation des systèmes de cacao-culture du Centre-Cameroun. Yaoundé, Irad/Cirad, 107 p.
- Lamanda, N.** 2005. Caractérisation et évaluation agro-écologique des systèmes de culture agroforestiers : une démarche appliquée aux systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) sur l'île de Malo. Thèse de doctorat, INAPG. 200 p.
- Lecompte, Y., Losch, B., Petithuguenin, P.** 1993. Relance régionalisée de la production paysanne de café et de cacao au Cameroun, étude de faisabilité, Phase 2 stratégie et programme de relance. France-Cameroun : Cirad, Minagri, 399 p.
- Leplaidier, A.** 1985. Les systèmes agricoles en zone forestière : les paysans du centre et du sud Cameroun. Thèse de doctorat en économie rurale : Université de Montpellier I, Cirad-Irat, 615 p.
- Londres A.** 1929. Terre d'ébène. Arléa. 215p.
- Massein, G.** 2000. Impact des variations de prix du cacao sur les stratégies de plantation des producteurs de la Lékié, Cameroun. Mémoire de diplôme d'ingénieur : Agro M, Montpellier, Iita, Cirad, 93 p.
- Mazoyer, M., Roudart, L.** 1997. Histoire des agricultures du monde, du néolithique à la crise contemporaine. Paris : Seuil, 705 p.
- Memento de l'agronome 2002**, Cirad, Gret, Ministère des affaires étrangères. Paris, Jouves, 1063 p.
- Messie C.** 2006. Caractérisation de la richesse floristique des agroforêts à base de cacaoyers du Centre-Cameroun. Cameroun : Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang, 116P. Diplôme d'Ingénieur des Eaux, Forêts et Chasse.
- Ndaka, S.** 2006. Contribution à la Caractérisation et évaluation des performances agro-écologiques des systèmes de culture plurispécifiques au Cameroun. Document de travail : Cameroun, Irad, 3 p.
- Nouvel observateur.** Atlas économique et politique 2008, Nouvel Observateur, hors série N°5.
- Nkeng Ndoumbe, M.** 2002. Incidence des facteurs agro-écologiques sur l'épidémiologie de la pourriture brune des fruits du cacaoyer au Cameroun : contribution à la mise en place d'un modèle d'avertissements agricoles. Thèse de Doctorat. Paris, France, Institut national agronomique Paris-Grignon, 151p.
- Owona, I., Djuidjeu, M.** 2000. Etude des systèmes et motivation des producteurs de cacao vis à vis de la qualité de leur produit – région centre. Groupe de Recherche Interdisciplinaire et Observatoires de Terrain, France-Cameroun : Cicc, Coopération française, 31 p.
- Reuters.** 2007. Cacao, le Cameroun malade de sa production.
- RFI.** 2008. [on line] [2008/05/05]. www.rfi.fr
- Ruf, F.** 1995. Booms et crises du cacao, les vertiges de l'or brun. Paris-Montpellier : Cirad-SAR, Ministère de la Coopération et Editions Karthala, 455 p.
- Sebillotte, M.** 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Dans les cahiers de l'ORSTOM, série biologie, N°24. Paris : ORSTOM. 3-25pp.
- Schroth, G., et Sinclair, F. L.** 2003. Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods. CABI publishing. 423p. (2-7p).
- Tchawa P.** 2007. Atlas du Cameroun. Edition du jaguar. 119p.
- Todem Ngnogue, H.** 2005. Bilan financier des systèmes de cacao-culture du centre-Cameroun. Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome : Université de Dschang, 86 p.
- Torquebiau, E.F.** 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie, 323 : 1009-1017.
- Wikipédia.** 2008. L'encyclopédie Libre. [on line] [2008/05/05]. <http://fr.wikipedia.org>

Table des illustrations

Figure N°3 : Devise, Drapeau et Blason du Cameroun	2
Figure N°4 : Localisation du Cameroun en Afrique.....	2
Figure N°5 : Carte du Cameroun, localisation de la zone d'étude au Cameroun et de la limite de production climatique du cacaoyer au Cameroun	6
Figure N°6 : Le logo du CIRAD.....	9
Figure N°7 : Logo de l'IRAD	10
Figure N°8 : Localisations géographiques de l'ATP CARESYS et de ses missions	11
Figure N°9 : Schéma de l'articulation entre les précédentes missions aboutissant à la définition du thème de stage traité lors de cette étude	12
Figure N°12 : Les 4 stades de la chronoséquence d'une cacaoyère installée savane	17
Figure N°13 : Diagramme du traitement de caractérisation d'une parcelle type.....	18
Figure N°14 : les deux strates végétales et la technique du sandwich.....	20
Figure N°15 : le dispositif expérimental pour réaliser les PH en hauteur	21
Figure N°16.1 : deux photos hémisphériques réalisées assez loin du feuillage à caractériser et utilisables pour le logiciel GLA.....	22
Figure N°16.2 : deux photos hémisphériques réalisées trop à proximité du feuillage à caractériser et inutilisables pour le logiciel GLA. Les feuilles sont trop exagérées ainsi que les rayons lumineux traversant.....	22
Figure N°17 : une PH en couleur avant seuillage suivie des trois résultats possible obtenus après passage en noir et blanc suivi du seuillage d'une PH.....	23
Figure N°18 : illustration des deux couches : la couche ponctuelle et la couche moquette.....	24
Figure N°20 : Diagramme ombrothermique de Kédia (sources : Ohno Emile, planteur à Kédia, 2003-2004, cité par Glatard 2006).....	26
Figure N°21 : Cartographies de l'ouverture de la canopée supérieure classée par ancienneté de stade de chronoséquence	27
Figure N°22 : ouverture de la canopée supérieure : stade cacaoyers matures dominants : 3 à 9 ans.....	28
Figure N°23 : l'ouverture de la canopée supérieure & la transmission lumineuse directe , en pourcentages, stade cacaoyers matures dominants : 5 à 9 ans.....	29
Figure N°27 : Répartition des d'arbres d'ombrage classés et organisés par stade de la chronoséquence	34
Figure N°28 : Répartition des cacaoyers en fonction de l'ombrage qui les domine stade par stade :	35
Figure N°29 : ACP : Cacaoyers identifiés par leurs stade de chronoséquence et variables lumineuse du bilan radiatif	37
Figure N°30 : ACP de la totalité des cacaoyers identifiés par leur classe ombrage .	39
Figure 31.1, .2, .3, .4, .5 et .6 : La transmission lumineuse totale de chacune des parcelles stade par stade	42
Figure N°33 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale :	44

Figure N°34 : récapitulatif des trois paliers d'explosion de la lumière :	44
Figure N°37 : Transmission totale (%), Stade Cacaoyers matures dominants : (5 à 9 ans) :	47
Figure N°39 : Transmission totale (%), Stade Cacaoyers matures dominés : (> à 9 ans)	47
Figure N°38 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale	47
Figure N°40 : Positionnement de chaque PH en fonction de son % d'ouverture de canopée et son % de Transmission Totale	47
Cartographie N°11 : différence d'influence des couronnes de recouvrement des arbres supérieurs suivant qu'elles sont en associations ou non :	48
Figure N°42 : transections d'un Ombrage Fort vers un Ombrage Faible: cartographie d'ouverture de canopée supérieure et cartographie de transmission directe au dessus des cacaoyers	49
Figure N°44 : évolution comparée de l'ouverture de canopée supérieure et de la transmission directe pour chaque transection	50
Figure N°44 : comparaison entre une association/cumul de feuillage d'arbres à l'Ombrage Fort et d'arbres à l'Ombrage Faible.....	51
Cartographies N°14 : présentation de 4 transects d'une parcelle mature : rôle de la canopée dans l'interception de la lumière photosynthétisable par les cacaoyers en dessous.	54
Figure N°46 : parcelle de stade jeune (plantée en 2004) : absence du rôle de la canopée supérieure dans l'interception de la transmission lumineuse qui sera photosynthétisables par les cacaoyers en dessous.....	55
Figure N°13 : évolution du feuillage des cacaoyers en fonction de l'ouverture de la canopée supérieure et de la droite de régression de l'ouverture de la canopée supérieure) :56	
Figure N°48.1, 48.2 et 48.3 : évolution du LAI des cacaoyers et droite de régression de l'ouverture de la canopée supérieure, stade par stade de chronoséquence.....	57
Graphique N°16 : tendance d'évolution des cacaoyers à changer d'ombrage supérieur subit :	58
Figure 50 : un miride.....	63
Figure N°51 : l'Ouverture de canopée (au dessus) et le krigeage de la distribution des mirides (en dessous) collectés sur la parcelle caractérisée	64
Figure N°52 : 3 photos présentant un arbre sain suivi d'arbres aux branches piquées par les mirides et présentant des feuilles sèches et des branches sèches.....	65
Figure N°53 : l'ouverture de la canopée supérieure (au dessus) et le krigeage des feuilles sèches : les dégâts à court terme (en dessous) de la parcelle caractérisée.....	66
Figure N°54 : l'ouverture de la canopée supérieure (au dessus) et le krigeage des branches sèches : les dégâts à moyen terme (en dessous) de la parcelle caractérisée :.....	67
Figure N°56 : Planisphère de la crise alimentaire mondiale (source : FAO, 2008) ...	69

Annexe N°1 : Résultats bruts après traitement des PH seuillées par le logiciel GLA :

Tableau N°5 : matrice obtenue après traitement GLA

User Field 2	User Field 3	% Sky Area	% Mask Area	% Cnpy Open	% Site Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Trans Dir	Trans Dif	Trans Tot	% Trans Dir	% Trans Dif	% Trans Tot
8	0,5	99,9	0,1	68,56	68,56	0,03	0,13	20,13	18,28	38,41	97,34	88,42	92,88
8	1	99,9	0,1	64,38	64,38	0,11	0,21	19,83	17,47	37,29	95,88	84,48	90,18
8	2	99,9	0,1	51,04	51,04	0,5	0,49	16,22	14,32	30,54	78,45	69,26	73,85
8	3	99,9	0,1	41,11	41,11	0,78	0,74	13,05	11,94	24,99	63,09	57,77	60,43
8	4	99,9	0,1	38,45	38,45	0,79	0,81	13,43	10,86	24,29	64,97	52,51	58,74
8	5	99,9	0,1	48,3	48,3	0,42	0,57	16,1	13,96	30,07	77,88	67,54	72,71
8	6	99,9	0,1	50,93	50,93	0,28	0,55	18,49	14,98	33,47	89,42	72,44	80,93
7	5,5	99,9	0,1	46,64	46,64	0,41	0,62	16,6	13,7	30,3	80,28	66,26	73,27
7	4	99,9	0,1	35,65	35,65	0,84	0,96	15,32	10,71	26,03	74,08	51,78	62,93

User Field 1, 2 et 3 : champs à renseigner

% Sky Area :

Pourcentage d'image et de pixels analysées

% Cnpy Open : % ouverture de canopée

LAI4Ring : estimation du feuillage au dessus et du LAI

Trans Dir, Dif et Tot : valeur mesurée de transmission Directe, Diffuse et Totale

% trans Dir, Diff et Tot : pourcentage mesurée de transmission lumineuse Directe, diffuse et totale

Résumé

La savanisation croissante et la disparition des galeries forestières, au Cameroun, oblige les cacaoculteurs à installer leurs systèmes agroforestiers (SAF) sur savane. L'Action Thématique Programmée CARESYS (CIRAD) vise la « CARactérisation et l'Evaluation des performances agro-écologiques de SYStèmes de culture plurispécifiques de la Zone Tropicale Humide ». Une première étude a montré une dynamique de restauration de la fertilité de cacaoyères en savane.

La présente étude s'intéresse au bilan radiatif à l'intérieur des strates végétales composant les SAF : canopée d'ombrage, cacaoyers sur des sous-parcelles homogènes pédologiquement. Après un relevé des essences suivi d'une cartographie de l'ambiance radiative, un classement des cacaoyers en fonction de l'ombrage subi fut établi : (i) absence d'ombrage supérieur, (ii) ombrage supérieur faible et (iii) ombrage supérieur fort. Il apparaît que la répartition et la dominance des arbres, en fonction de leur force d'ombrage évolue à mesure que la canopée devient mature. Sur les cartographies radiatives, le pourcentage d'ouverture de la canopée est de plus en plus faible à mesure que la parcelle vieillit. Plus l'ombrage domine, plus cette canopée limite la photosynthèse des cacaoyers. Le L.A.I. mesuré est plus développé sous des conditions d'ombrage Faible que Fort pour des cacaoyères en production. La méthode de caractérisation lumineuse des SAF multistrates est opérationnelle et reflète la réalité des conditions radiatives et d'ombrage observées. L'expérimentation pourrait être poursuivie en parallèle de mesures agronomiques (développement et production) et/ou de dégâts (ravageurs, microorganismes).

Mots clefs : système agroforestier, bilan radiatif, canopée, cacaoyer, savane

Abstract

The current increasing savanisation and the disappearance of free forest gallery, in Cameroon is forcing cocoa growers to install agroforestry systems (SAF) on savanna. The CARESYS (CIRAD) programme was set up to define the "ChARactérisation and Evaluation of agro-ecological performances of multi-crop SYStems in Humid Tropical Zones." A preliminary study has shown a positive dynamic in the restoration of soil fertility on Savanna cocoa plantations. This study focuses on radiation balance inside the vegetal strata components of the SAF: canopy shading, cocoa on sub-plots of homogeneous soil. After a listing of species followed by a mapping of the radiation atmosphere, a cocoa tree ranking based on shading was established thus: (i) lack of shade, (ii) low shade and (iii) high shade. It appears that the distribution and dominance of trees, according to their shading strength evolves as the canopy becomes mature above the cocoa trees. On the radiation atmosphere maps, the canopy open percentage becomes weaker as the plot matures. The more the shading dominates the more the canopy limits the photosynthesis of cocoa. The L.A.I. measured is more developed in conditions of low shade than high for cocoa trees under production. The light characterization method of SAF multi-strata is operational and reflects the reality of observed conditions of atmospheric radiation and shading. The experiment could be pursued together with agronomic (development production) and / or damage (pests, microorganisms) measures.

Keywords: agroforestry systems, radiation balance, canopy, cocoa, savanna

Resumen

El savanización creciente y la desaparición del bosque de galería, para instalar la plantación de cacao, en Camerún, obligando a los agricultores instalar sus sistemas agroforestales (SAF) en la sabana. Acción prevista por CARESYS Categoría (CIRAD) se refiere a la "Caractérisación y evaluación de rendimiento agro-ecológicas Sistemas multi-cultural de la Zona Tropical Húmeda". Un estudio preliminar ha demostrado un impulso de restaurar la fertilidad del cacao en la sabana. Este estudio se centra en la radiación saldo dentro de los estratos de plantas componentes SAF: dosel sombreado cacao en sub-parcelas homogénea. Después del estudio de las especies, seguida de una cartografía de la atmósfera de radiación, y una clasificación se estableció lo siguiente basada en árboles de cacao sombreados sufrido: (i) la falta de sombra superior, (ii) bajo la sombra superior y (iii) mayor fortaleza de sombra. Parece ser que la distribución y dominio de árboles, dependiendo de su fuerza de sombreado, los cambios como el dosel se convierten en la madurez por encima de los árboles de cacao. En los mapas de radiación, la apertura del dosel se debilita con el tiempo en la medida que la parcela envejece y limita la fotosíntesis de los cacaotier. Le L.A.I. ha calculado que este se desamolla mayor, en condición donde la sombra es débil. El método de caracterización de SAF de varias capas de luz está en funcionamiento y refleja la realidad de las condiciones de radiación y sombreado observado. El experimento podría llevarse a cabo en paralelo con las medidas agronómicas y / o daños.

Palabras clave: sistema agroforestal, equilibrio de radiación, parámetros biofísicos, cacao, sabana