Institut National Agronomique Paris - Grignon	Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)	Ecole Normale Supérieure
DEA Fonctionnement physique, chimique et biologique de la biosphère continentale		

MEMOIRE

Présenté par Marion BAUDU

Mise au point d'une méthode d'évaluation de la ressource ligneuse diffuse des jachères au Mali

pour l'obtention du diplôme d'études approfondies
commun à l'INA P-G, Paris VI et l'ENS

CIRAD

Soutenu le 25 septembre 1998
Sous la responsabilité de :
D. Lo Seen et M. Pain-Orcet

Responsables du DEA : A. Perrier, A. Mariotti, J.C Menaut

Remerciements.

REMERCIEMENTS :

Toute étude de recherche découle de l'étroite collaboration scientifique et technique d'une équipe de chercheurs et de techniciens, et du soutien logistique du personnel administratif. Je ne pourrais citer ici l'ensemble des personnes ayant ainsi participé à la réalisation de mon stage mais je tiens à les remercier pour leur aide précieuse sans laquelle celui-ci n'aurait pu être mené à bien.

Je souhaite adresser mes vifs remerciements et toute ma gratitude à Michelle Pain-Orcet et à Danny Lo Seen pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en m'intégrant aux projets de recherche du CIRAD. Je les remercie également pour leurs conseils "éclairés", leur disponibilité permanente et leur écoute.

Un grand merci à toute l'équipe scientifique du Cirad-Forêt, forestiers, biométriciens et informaticiens qui m'a accueillie et formée. Je remercie tout particulièrement Nicolas Fauvet de m'avoir fait part de son enrichissante expérience et de m'avoir secondée avec tant d'enthousiasme dans les différentes étapes de rédaction et de traitement des données.

Je remercie également Yves Nouvellet et monsieur Konandji de m'avoir reçue au Mali et d'y avoir assuré le meilleur déroulement possible de mon stage. Un grand merci à l'ensemble des membres de la Cellule Combustible Ligneux pour leur accueil si chaleureux qui a quotidiennement embelli mon séjour parmi eux. Merci à mon amie Ami pour m'avoir fait découvrir la grande fête de la Tabaski, merci à Mamadou Kouyate et à Hallassane Kanoute pour leur éternelle bonne humeur et la sympathie qu'ils m'ont témoignée, à Boubacar pour son thé et sa musique qui réveillaient la brousse africaine, à Moussa D. Ballo pour sa gentillesse.

A mon ange gardien et homonyme, à mon collègue et ami Modibo Serita que je ne peux remercier si je ne veux pas l'offusquer, l'amitié au Mali se passant de remerciements et s'imposant d'elle-même.

A Carine et Yoro. A Bertrand.

A Stéphan qui m'a permis d'aller au bout de mon ambition.

Au Mali, terre des Hommes, aux ocres et aux verts, à la chaleur perpétuelle, aux rires permanents et à l'agitation des rues, à son Humanité.

Sommaire - Listes des figures, tableaux et abréviations.

SOMMAIRE :

REMERCIEMENTS 1

SOMMAIRE 2

LISTE DES TABLEAUX 4

LISTE DES FIGURES 4

LISTE DES ABRÉVIATIONS 5

INTRODUCTION 6

1ère partie : Présentation de l'étude.

I. IMPORTANCE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE 7

II. LA RESSOURCE LIGNEUSE AU MALI 7

III. LA FILIÈRE BOIS-ÉNERGIE ET LE DÉVELOPPEMENT D'UNE POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE 8

IV. CONTEXTE DE L'ÉTUDE : 9

IV. A - LA CCL, VERS UNE ACTUALISATION DE SES INFORMATIONS SUR LA RESSOURCE LIGNEUSE 9
IV. B - IMPORTANCE SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA RESSOURCE LIGNEUSE DES JACHÈRES 9

V. PROBLÉMATIQUE DE LA RESSOURCE LIGNEUSE DES JACHÈRES : 10

V. A - HÉTÉROGÉNÉITÉ DU COUVERT VÉGÉTAL 10
V. B - SPÉCIFICITÉ DES ÉCHELLES SPATIALE ET TEMPORELLE 10

2ème partie : Méthodologie.

I. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE 12

II. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE : 12

II. A - CHOIX DE LA ZONE D'ÉTUDE 12
II. B - LOCALISATION 12
II. C - ELÉMENTS DE BIOCLIMATOLOGIE ET DE GÉOMORPHOLOGIE 13

III. CHOIX D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA RESSOURCE : 13

III. A - CHOIX D'UN INVENTAIRE 13
III. B - CONCEPTION D'UN INVENTAIRE PAR ÉCHANTILLONNAGE : 13
III. B. 1. Les critères intrinsèques à l'étude 14
III. B. 2. Elaboration du plan de sondage 15

3ème partie : Résultats et interprétation.

I. DÉROULEMENT DES TRAVAUX RÉALISÉS AU MALI : 19

I. A - CHRONOLOGIE 19
I. B - EN BROUSSE... 19

II. DE LA PHOTO-INTERPRÉTATION À LA CARTOGRAPHIE DES JACHÈRES : 19

II. A - PHOTO-INTERPRÉTATION DE NOTRE ZONE D'ÉTUDE 19
II. B - VÉRIFICATIONS TERRAIN ET LIMITES DE LA PHOTO-INTERPRÉTATION 19
II. C - CARTOGRAPHIE DES JACHÈRES : 21
II. C. 1. Réalisation de la carte 21
II. C. 2. Intégration à un SIG et géoréférencement 21
II. C. 3. Observations 21

III. CARACTÉRISATION DES UNITÉS DE SONDAGE DESTINÉES À L'ÉTUDE DE LA RÉGÉNÉRATION 22

IV. RÉALISATION D'UN PRÉ-SONDAGE : 23

IV. A - CHOIX D'UN SOUS-ÉCHANTILLON 23
IV. B - PRINCIPE ET MÉTHODE DE L'INVENTAIRE DES JACHÈRES 23

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION : 25

V. A - PRÉAMBULE 25
V. B - DENSITÉ DU PEUPLEMENT LIGNEUX 26
V. C - STRUCTURE DU PEUPLEMENT LIGNEUX 27
V. D - RICHESSE EN ESPÈCES LIGNEUSES DES JACHÈRES : 27
V. D. 1. Analyse floristique des grosses tiges 27
V. D. 2. Cas des arbres à parc 28
V. D. 3. Etude de la régénération 28
V. E - LA BIOMASSE LIGNEUSE DES JACHÈRES : 29
V. E. 1. Etude de la surface terrière des jachères 29
V. E. 2. Etude de la hauteur dominante des jachères 31
V. E. 3. Etude combinée de la surface terrière et de la hauteur dominante 32

VI. SYNTHÈSE ET DISCUSSION : 33

VI. A - ECHELLES DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS 33
VI. B - DU PRÉ-INVENTAIRE À L'INVENTAIRE 34
VI. C - VERS UNE TYPOLOGIE DES JACHÈRES ? 35

CONCLUSION 37

ANNEXE I 40

ANNEXE II 40

ANNEXE III 401

ANNEXE IV 42

BIBLIOGRAPHIE 48

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I - Comparaison de la demande et de l'offre potentiellement durable en bois de feu.

Tableau II - Origine du bois-énergie commercialisé pour l'approvisionnement de trois villes du Mali.

Tableau III - Localisation et âge des jachères inventoriées suivant un nombre donné de placettes.

Tableau IV - Répartition des jachères par classe d'âge.

Tableau V - Densité des tiges par classe d'âge.

Tableau VI - Nombre de tiges par hectare, par classes d'âge et de circonférence.

Tableau VII - Surface terrière des jachères par village et classe d'âge.

Tableau VIII - Hauteur dominante des jachères par village et classe d'âge.

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 - Parc à Karité (*Vitellaria paradoxa*) dans le domaine soudanien nord au Mali.

Figure 2 - Jachère dans le domaine soudanien nord au Mali.

Figure 3 - Bowal arboré dans le domaine soudanien nord au Mali.

Figure 4 - Localisation de la zone d'étude.

Figure 5 - Cartographie des jachères de la zone d'étude.

Figure 6 - Détermination de la taille de l'unité de sondage pour l'étude de la régénération.

Figure 7 - Schéma d'un tirage en quinconce.

Figure 8 - Localisation des huit villages dont les jachères sont échantillonnées.

Figure 9 - Schéma du dispositif d'échantillonnage des jachères.

Figure 10 - Densité du peuplement ligneux.

Figure 11 - Répartition du tiges par classe de circonférences.

Figure 12 - Répartition des grosses tiges par familles de ligneux (hors arbres à parc).

Figure 13 - Richesse en espèces ligneuses des jachères (hors arbres à parc) par classe d'âge.

Figure 14 - Surface terrière moyenne des jachères par classe d'âge.

Figure 15 - Surface terrière moyenne des jachères par village toutes classes d'âge confondues (a), sans les jachères de plus de 20 ans (b).

Figure 16 - Hauteur dominante moyenne des jachères par classe d'âge.

Figure 17 - Hauteur dominante moyenne des jachères par village.

LISTE DES ABREVIATIONS :

CCL : Cellule Combustible Ligneux

CED : Cellule Energie Domestique

CIRAD : Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement

CORAF : COnférence des responsables de Recherche agricole en AFrique de l'ouest et du centre

CV : Coefficient de Variation

PDOP : Position Dilution Of Precision

FAO : Food and Agriculture Organisation, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GPS : Global Positionning System

PIRL : Projet d'Inventaire de la Ressource Ligneuse

ICRAF : International Centre of Research in Agroforestry

IER : Institut d'Economie Rurale

IGN : Institut Géographique National

ORSTOM : Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

PGRN : Projet de Gestion des ressources Naturelles

SED : Stratégie Energie Domestique

SIG : Système d'Information Géographique

UE : Union Européenne

Introduction.

INTRODUCTION :

En Afrique de l'Ouest, la ressource en bois est non seulement une composante socio-économique majeure de la société mais un maillon de l'équilibre écologique des régions sahélo-soudaniennes.

Au Mali où l'économie de subsistance domine, le bois est la première source d'énergie et couvre 91% des besoins nationaux. Cependant l'approvisionnement en bois ne se limite pas à l'exploitation du domaine forestier mais déborde largement sur le domaine agricole. Les méthodes agro-sylvo-pastorales traditionnelles développées autour des parcs arborés et des jachères intègrent la gestion et l'exploitation du bois de ces deux types de formation. La ressource ligneuse issue de ces agrosystèmes est dite "hors forêt" ou diffuse par opposition à celle issue des formations forestières en référence à son organisation spatiale alternant des zones à forte densité de ligneux avec des zones de sol nu.

Le bois du domaine agricole est surtout destiné à l'autoconsommation des ruraux mais il tend à prendre de l'importance dans la filière commerciale pour l'approvisionnement des grandes villes comme Bamako et Ségou. L'augmentation de la demande en bois et la régression des espaces forestiers du fait de leur surexploitation et d'un défrichement intense, en sont les principales causes.

Afin de ne pas s'acheminer vers une crise du bois de feu, le Mali développe une politique énergétique : la Stratégie Energie Domestique (SED). Elle vise notamment à organiser le marché du bois en équilibrant autant que faire ce peut l'offre et la demande. Elle souhaite ainsi, par une exploitation raisonnée des ressources, prévenir au mieux les risques environnementaux de désertification.

La mise en place d'une gestion durable nécessite d'effectuer un état des lieux de la ressource et de suivre son évolution, ce qui est fait grâce aux inventaires. Les méthodes d'inventaire actuelles sont adaptées aux formations naturelles (forêt, savane et steppe) sur lesquelles on dispose, de ce fait, d'un grand nombre d'informations. La ressource "hors forêt" est encore mal connue. Pour appréhender sa potentialité, sa production et sa dynamique, il convient de mettre au point des outils d'évaluation appropriés.

Notre travail s'insère dans les préoccupations de la SED ; il tentera de donner les bases d'une méthodologie d'évaluation de la ressource ligneuse des jachères à l'échelle régionale. Il rejoint ainsi les nombreux thèmes de recherche développés autour de la ressource diffuse.

Ce rapport s'articule en trois partie. Nous présenterons tout d'abord le cadre de l'étude et en particulier la demande qui l'a motivée au Mali au sein de la SED puis nous la situerons dans le contexte scientifique actuel. Nous développerons ensuite une approche méthodologique qui insistera sur les particularités de la ressource ligneuse diffuse des jachères. Nous présenterons enfin les résultats obtenus et les conclusions qui en découlent.

Première partie : Présentation de l'étude.

I. IMPORTANCE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE :

L'intérêt mondial pour le développement durable depuis le Sommet de la Terre à Rio en 1992, a conduit la communauté scientifique à mettre en place des programmes de recherche visant à développer et améliorer les techniques de collecte des données sur les ressources naturelles afin d'obtenir des informations actualisées et fiables, nécessaires à l'élaboration de politiques d'aménagement adaptées.

Dans les régions tropicales sèches, la végétation ligneuse joue un rôle prépondérant dans les équilibres socio-économiques et environnementaux car elle est largement utilisée par la population pour le bois, le pâturage, la pharmacopée et d'autres usages divers (Diatta *et al.*, 1998). L'accroissement démographique, le développement des cultures de rente et la baisse des rendements ont conduit à l'expansion de systèmes fortement anthropisées (parcs arborés, vergers et jachères) couverts d'une ressource ligneuse dite "hors forêt" ou "diffuse", au détriment des formations boisées naturelles.

A l'heure actuelle, les travaux d'évaluation existant sur la ressource ligneuse des pays d'Afrique de l'Ouest portent essentiellement sur des formations de type forêt, savane ou steppe. Il s'avère donc nécessaire de compléter ces connaissances et de mener une recherche pour la mise au point de méthodes d'évaluation adaptées à la ressource ligneuse diffuse.

Actuellement, plusieurs projets s'intéressent en partie à cette question :

- le programme régional développé par la Banque Mondiale dans le cadre duquel des projets pour l'énergie domestique sont réalisés : les projets "Energie II" pour le Niger et "Stratégie Energie Domestique " pour le Mali ;

- le projet "Amélioration et Gestion de la Jachère en Afrique de l'Ouest" initié par l'ORSTOM, sous le patronage de la CORAF et financé par la Union Européenne (UE) de 1994 à 1999. L'objectif du projet est de mettre en place un programme d'étude, d'amélioration et de gestion de la jachère au niveau des terroirs villageois dans des pays d'Afrique tropicale (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal) ;

- le projet FRA 2000 "Collecte et analyse des données pour l'aménagement durable des forêts" lancé par la UE et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) pour une durée de trois ans (1998-2000) avec la participation des pays africains, caraïbes et pacifiques signataires de la convention de Lomé (ACP). Il vise notamment à récolter des informations encore non enregistrées comme celles concernant la ressource "hors forêt".

Notre étude a pour objectif d'apporter une contribution au démarrage de cette recherche. Ce travail devra, bien entendu, être poursuivi par des études complémentaires sur d'autres sites avant d'être en mesure de proposer une méthodologie adaptée à l'estimation de la ressource ligneuse diffuse en zone tropical sèche.

II. LA RESSOURCE LIGNEUSE AU MALI :

Comme pour l'ensemble des pays sahéliens, l'économie malienne est avant tout une économie de subsistance dans laquelle le bois est omniprésent : d'une part, en tant que ressource ligneuse intégrée au système agricole traditionnel et d'autre part, comme matière première et source d'énergie.

Depuis les trente dernières années, l'action conjuguée des périodes de sécheresse et de la

	Demande	Offre
1990	4 700	17 100
2020	9 200	16 500

Source : D. Bazile, 1997.

Tableau I - Comparaison de la demande et de l'offre potentiellement durable en bois de feu (en milliers de tonnes équivalent bois de feu).

pression anthropique (surexploitation des ressources et défrichement continu de nouvelles terres pour faire face à l'extension des villes) concoure à la dégradation des formations boisées : diminution des caractéristiques dendrométriques du peuplement (volume de bois, densité du couvert...) et de sa diversité spécifique.

Une gestion raisonnée et intégrée de la ressource prenant en compte les potentialités et la dynamique des formations doit donc être mise en place. Elle assurera le développement durable du pays en conciliant l'équilibre écologique et à la satisfaction des besoins actuels et futurs des populations urbaine et rurale.

Dans le cadre de cette étude, nous ne considérerons que la ressource ligneuse destinée à la production d'énergie. Après exploitation, le terme de bois-énergie est usuellement employé pour qualifier cette ressource, il regroupe le bois de feu ou de chauffage (brûlé en état) et le charbon de bois (issu de la carbonisation) (Bazile, 1997).

III. LA FILIERE BOIS-ENERGIE ET LE DEVELOPPEMENT D'UNE POLITIQUE ENERGETIQUE :

Dans la balance énergétique du Mali, le bois-énergie satisfait 91% de la consommation et dégage un chiffre d'affaire important : vingt milliards de francs CFA en 1995.

A l'horizon 2020, le bilan offre potentiellement durable et demande en bois de feu (Tableau I) reste positif. Mais il s'accompagne d'une diminution de stock de 4,6% par rapport à 1990 pour l'ensemble du territoire ; les bassins d'approvisionnement en bois-énergie des grandes villes (du fait de la croissance démographique de celles-ci), les secteurs ruraux qui tendent vers une agriculture de rente (comme la zone cotonnière de la région de Sikasso) et les zones peu boisées du Nord seront plus particulièrement touchées (D. Bazile, 1997).

Pour gérer la ressource et développer la filière bois-énergie, le Mali a mis en place une politique énergétique avec l'appui des Pays-Bas et de la Banque Mondiale. Cette politique est orientée vers le secteur domestique, premier consommateur pour lequel le bois-énergie (essentiellement sous forme de bois de feu) couvre 95% des besoins énergétiques. Elle a été élaborée en 1990 sous l'appellation Stratégie Nationale pour l'Energie Domestique (SED) et est effective depuis 1995.

Deux cellules assurent la conception, la planification et le suivi de l'exécution de la SED. Il s'agit :

- de la Cellule Energie Domestique (CED) couvrant le volet demande. Elle doit améliorer l'accès à l'énergie en proposant des matériels et services adaptés et en relayant les dynamiques existantes ;
- de la Cellule Combustible Ligneux (CCL) du volet offre. Elle s'occupe de gérer les ressources forestières en conciliant gestion productive et durable et une lutte contre la surexploitation.

C'est au sein de cette dernière que notre étude a été menée.

Lieux d'exploitation	Bamako	Ségou	Mopti
jachères	4 %	0 %	0 %
brousse	58 %	31,8 %	75 %
forêt morte	12 %	0 %	0 %
champ et brousse	2 %	0 %	0 %
brousse et jachère	16 %	59,2 %	12,5 %
brousse et forêt morte	4 %	0 %	0 %
jachère, brousse et forêt morte	0 %	4,5 %	12,5 %
champs, brousse et jachères	4 %	4,5 %	0 %

Source : D. Bazile, 1997.

Tableau II - Origine du bois-énergie commercialisé pour l'approvisionnement de trois villes du Mali (la "brousse" est l'appellation qui désigne l'espace non cultivé autour du finage villageois, hors jachères).

Figure 1 - Parc à Karité (*Vitellaria paradoxa*) dans le domaine soudanien nord au Mali.

IV. CONTEXTE DE L'ETUDE :

IV. A - La CCL, vers une actualisation de ses informations sur la ressource ligneuse :

Une des préoccupations majeures de la CCL pour l'année 1998 est la mise au point de Schémas Directeurs d'Approvisionnement en bois-énergie (SDA) des grandes villes du Mali (Bamako, Ségou, Mopti, Kayes et Sikasso). Ils ont principalement pour but de définir les réorientations souhaitables des flux d'approvisionnement en bois-énergie et d'identifier les zones d'actions prioritaires.

La mise en place de ces schémas nécessite non seulement de connaître la dynamique de la demande (croissance de la population, taux d'urbanisation, évolution de la consommation en bois-énergie ou en produits de substitution) mais aussi l'état de la ressource (le stock) et son évolution potentielle (sa productivité).

Les données chiffrées et les documents cartographiques actuellement disponibles sur la ressource ligneuse à l'échelle nationale sont issus du Projet d'Inventaire de la Ressource Ligneuse (PIRL) (BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME, 1991). Ces informations présentent le double inconvénient d'être trop anciennes pour être représentatives de l'état actuel de la ressource et de se limiter aux formations forestières ; les informations concernant les formations ligneuses agro-sylvo-pastorales en dehors des formations forestières *stricto sensu*, y sont assez peu précises.

Or les premières conclusions apportées par le projet " Energie II" (Bertrand *et al.*, 1991) insistaient sur l'importance des potentialités en bois-énergie des jachères, des arbres dans ou en bordure des champs et des forêts résiduelles insérées dans le terroir villageois. De façon plus générale, les inventaires forestiers nationaux réalisés au Burkina Faso et en Gambie estiment que le volume à l'hectare des arbres sur pied des jachères et cultures représente respectivement 30% et 19% des ressources ligneuses nationales ; pour l'ensemble des pays d'Afrique de l'Ouest, 23% de la production de bois énergie proviendrait des jachères arborées et des boisés ruraux (Jensen, 1995). Aussi, l'actualisation des données du PIRL nécessite de prendre en compte la ressource diffuse pour obtenir des estimations plus fiables.

IV. B - Importance socio-économique de la ressource ligneuse des jachères :

L'ensemble de la ressource ligneuse hors forêt présente une forte potentialité en bois-énergie. Cependant au regard des enquêtes socio-économiques réalisées sur les filières d'approvisionnement, il semblerait que seules les jachères soient exploitées à ces fins pour compléter les prélèvements effectués en milieu forestier (cf. Tableau II). La contribution des champs est marginal (Bazile, 1997). Aussi il nous a semblé préférable de cibler notre étude sur les jachères, d'autant que le temps imparti à la collecte des données sur le terrain (trois mois au Mali) ne permettait pas de traiter la problématique pour l'ensemble de la ressource ligneuse diffuse.

Les parcs arborés[1] (figure 1) seront donc peu considérés et leur production en bois-énergie sera supposée négligeable en première approximation. Ce postulat repose sur la fonctionnalité des arbres à parc qui sont avant tout conservés pour leurs fruits (*Vitellaria paradoxa* (Karité) et *Parkia biglobosa* (Néré)) ou pour leur pouvoir fertilisant (*Faidherbia Albida*).

Remarque :

Indépendamment de son rôle énergétique potentiel, la strate arborée des champs a un impact

[1] Le parc est l'association à l'intérieur de l'espace exploité régulièrement d'élément de la nature, conservés, entretenus et améliorés en raison de leur utilité, et de plantes cultivées (Raison, 1988).

écologique important qui se manifestera plus précisément avec la mise au point des techniques d'agroforesterie. Une approche systématique du paysage devra donc, à terme, la prendre en compte (Defourny, 1992).

La communauté européenne a ainsi lancé un vaste projet de recherche développement en septembre 1997 : le projet INCO-DC, « Improved management of agroforestry parkland systems in Sub Saharan Africa », regroupant un panel international et pluridisciplinaire d'universités, d'instituts et de centres de recherche dont l'Institut d'Economie Rurale (IER) et le Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF) au Mali et le CIRAD-Forêt pour la France.

Notre étude s'inscrit dans une double problématique :

- d'une part, une problématique de recherche appliquée, ciblée sur le contexte malien et devant répondre aux besoins immédiats de l'organisme d'accueil : la CCL. Notre travail doit aider à la mise en place d'une méthode d'évaluation de la production de la ressource ligneuse des jachères. L'étude menée constitue un travail préliminaire et les résultats obtenus auront plus une valeur relative qu'absolue ;

- d'autre part, une problématique beaucoup plus vaste intégrée aux préoccupations scientifiques internationales sur la ressource diffuse. Les conclusions de notre étude tenteront de spécifier les problèmes pratiques rencontrés sur le terrain et pourront ainsi contribuer autant que faire ce peut, à augmenter la fiabilité des recherches en cours ou à venir.

V. PROBLEMATIQUE DE LA RESSOURCE LIGNEUSE DES JACHERES :

Le peuplement ligneux des jachères fait partie des formations diffuses pour lesquelles la réalisation d'inventaire et de cartographie reste particulièrement difficile même avec les techniques classiques d'inventaire forestier.

V. A - Hétérogénéité du couvert végétal :

Le couvert végétal est caractérisé par une double hétérogénéité :

- inter-spécifique due à la diversité des espèces rencontrées : une centaine au Mali,

- intra-spécifique résultant des impacts des interventions humaines (exploitation différentielle en bois-énergie, transhumance du bétail en saison sèche), aux passages répétés de feu et à l'irrégularité des conditions hydriques qui provoquent de nombreuses morphoses adaptatives.

Par conséquent, les caractéristiques particulières de ce couvert végétal impose des méthodes de sondage avec des forts taux d'échantillonnage qui sont souvent jugés incompatibles avec les exigences économiques des projets.

V. B - Spécificité des échelles spatiale et temporelle :

L'évolution naturelle de la végétation est plutôt lente et progressive. Au contraire, les phénomènes anthropiques provoquent des transformations brusques (rapides) et souvent importantes du paysage. Les impacts de l'exploitation se traduisent par des adaptations du couvert végétal sur une échelle de temps relativement courte.

La répartition spatiale et l'étendue des formations ligneuses "anthropisées" possèdent aussi des caractéristiques particulières. Contrairement aux massifs forestiers vastes et d'un seul tenant, les jachères couvrent des surfaces beaucoup plus réduites et présentent une répartition spatiale "éclatée" : mosaïque d'unités de quelques hectares dispersées dans le terroir villageois.

Figure 2 - Jachère dans le domaine soudanien nord au Mali :
la strate arbustive est dominée par les Combretacées, les arbres à parc (Karité (*Vitellaria paradox*a) à gauche et Tamarin (*Tamarindus Indica*) à droite) forment la strate arborée.

Figure 3 - Bowal arboré dans le domaine soudanien nord au Mali.

A l'intérieur même d'une jachère, la répartition spatiale des ligneux n'est pas régulière (figure 2) : c'est ce qui caractérise les formations ligneuses diffuses. On observe l'alternance de zone de végétation avec des plages de sol nu plus ou moins cuirassé. Quand la végétation ligneuse se limite a quelques arbustes ou arbres isolés (souvent enracinés sur de vieilles termitières), on parle alors de bowal. Les bowé rencontrés dans les jachères (figure 3) sont dits arborés ou arbustifs (ou brousse tachetées, BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME, 1988). Ils sont constitués par une mosaïque de bowé typiques alternant avec des taches arbustives ou arborées très denses.

Les techniques d'inventaire mises au point pour les forêts denses humides puis adaptées aux forêts sèches ne peuvent donc pas convenir à la ressource diffuse : aussi, établir une méthodologie d'évaluation de la ressource ligneuse des jachères, c'est trouver des outils d'investigation adaptés aux échelles de temps et d'espace concernées.

Deuxième partie : Méthodologie.

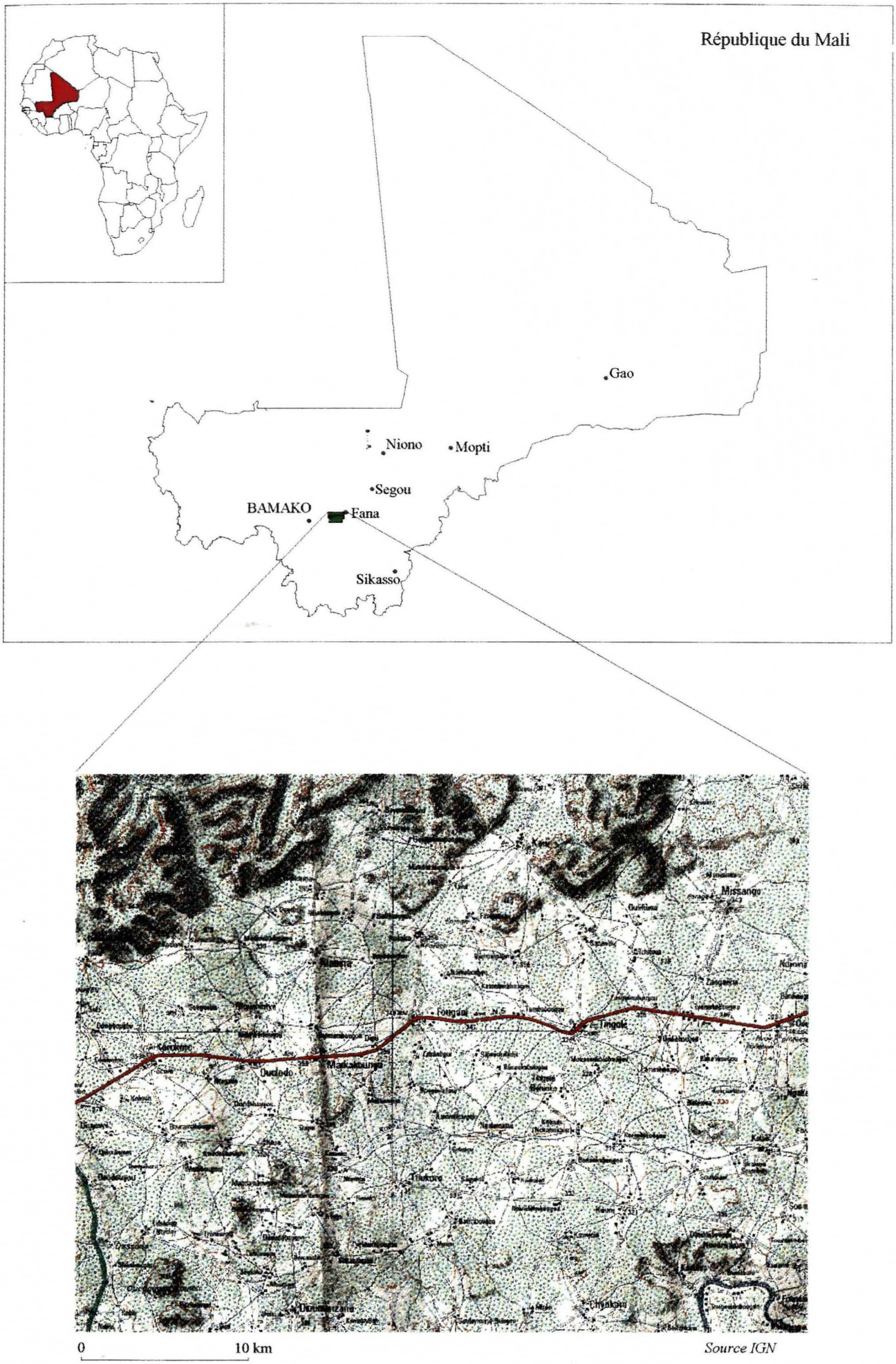


Figure 4 - Localisation de la zone d'étude.

I. DEROULEMENT DE L'ETUDE :

Le temps imparti pour réaliser cette étude est de six mois dont trois en France au CIRAD-Forêt de Montpellier (en mars et de juillet à août) et trois mois au Mali, la CCL étant l'organisme d'accueil (d'avril à juin).

Le mois de mars est consacré à l'étude bibliographique ; de nombreux documents sur les techniques d'inventaire en zone sèche sont consultés. Il s'agit d'inventaires de la ressource forestière au Mali (Kouyate, 1995 ; BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME, 1988, 1991 ; Sylla, 1987, 1997), au Niger (Ichaou, 1993), pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (Bellefontaine *et al.*, 1997 ; Clément, 1982 ; Duplat et Perrotte, 1981 ; Jensen, 1995 ; Louppe, 1989, 1993) et en Amérique Centrale (Stewart, 1990). D'autres ouvrages sur les méthodes d'inventaire sont consultés : appliquées aux écosystèmes pastoraux sahéliens (Piot, 1983) et à différents types d'occupation du sol (Godard, 1991).

Pendant les mois d'avril à juin, l'ensemble des travaux pratiques (photo interprétation, pré-sondage et sondage) est effectué au Mali en collaboration avec deux étudiants maliens à l'Institut Polytechnique Rural de Katibougou (messieurs Modibo Serita et Moussa D. Ballo respectivement en fin de cycles d'ingénieur et de technicien forestiers).

La synthèse bibliographique, le traitement et l'interprétation des données sont réalisés de juillet à août.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

II. A - Choix de la zone d'étude :

Deux critères président au choix de notre zone d'étude :

- l'existence de documents nécessaires à l'établissement d'une base de sondage, notamment une couverture aérienne relativement récente (mars 1995),

- la proximité de Bamako où se trouve le siège de la CCL (moins de 150 kilomètres) et la qualité du réseau routier (axe principal goudronné) assurant une facilité d'accès.

Pour compléter ce travail, quatre autres équipes d'étudiants maliens, stagiaires à la CCL, effectuent des mesures sur la ressource ligneuse diffuse dans la zone bioclimatique considérée.

II. B - Localisation :

La zone d'étude s'étend sur une longueur de quarante-sept kilomètres de l'est de la forêt de la Faya à Fana et sur une largeur de trente kilomètres de part et d'autre de l'axe Bamako-Ségou (Figure 4). Elle se situe dans le bassin d'approvisionnement en bois de feu de la ville de Bamako et fait partie de la zone de la Compagnie Malienne de Développement Textile (CMDT). Non seulement la ressource est soumise à un fort prélèvement mais les systèmes de culture traditionnelle (alternance culture-jachère) sont remplacés par une agriculture de rente : les terres sont cultivées de façon continue grâce à l'utilisation d'intrants suivant une alternance coton-maïs-mil ou sorgho. Les jachères tendent donc à perdre leur rôle agronomique de restauration de la fertilité des sols et constituent essentiellement une ressource foncière, lieu de pâturage, de cueillette et de prélèvement de bois de feu. L'existence de bowé plus ou moins étendus au sein des jachères signe la présence de cuirasse affleurante ou subaffleurante. Les sols portés par ces cuirasses sont fortement dégradés et impropres à la mise en culture : il serait alors plus juste de parler de friches (Bonetti, 1998). Nous garderons cependant le terme générique de jachères utilisé par les agriculteurs pour les qualifier.

II. C - Eléments de bioclimatologie et de géomorphologie :

Comme pour l'ensemble du pays, le climat est mégatherme (température annuelle moyenne supérieure à 25°C) à courbe unimodale de maximum estival (mois d'août). L'année climatique se compose d'une saison sèche hivernale et d'une saison humide estivale (l'hivernage) allant de mai à septembre (Nasi, 1994).

Dans ce contexte, la disponibilité en eau devient le facteur prépondérant de la répartition des grands types de végétation. En référence aux données du PIRL (BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME, 1988), notre zone d'étude se situe dans le domaine bioclimatique soudanien nord caractérisé par une pluviométrie annuelle comprise entre 800 et 900 mm (mm : millimètres). L'analyse des séries obtenues entre 1991 et 1996 aux stations de Fana et de Markakoungo donne une pluviosité annuelle moyenne de 778 mm ([2]CV=12, 5%). Il semble que la période actuelle s'inscrive dans une tendance générale de déficit hydrique.

Le relief est caractérisé par sa platitude et sa monotonie : il est constitué de plaines dans des grès tendres du précambrien supérieur au paléozoïque. Le sol est de nature sédimentaire (argilo-sableux et sablo-limoneux) fossilisé par endroits par des cuirasses.

III. CHOIX D'UNE METHODE D'EVALUATION DE LA RESSOURCE :

Il s'agit de réaliser un inventaire de la ressource ligneuse des jachères par échantillonnage. Les jachères récentes (de moins de trois ans) sont dominées par les adventices et les graminéens (Floret *et al.*, 1993) ; elles présentent donc un potentiel en bois-énergie négligeable et ne seront pas prises en compte.

III. A - Choix d'un inventaire :

Mettre au point une méthode d'évaluation de la ressource ligneuse dispersée, c'est acquérir une certaine connaissance de terrain qui permettra de la caractériser et de la quantifier. C'est donc réaliser un inventaire des formations diffuses.

Il existe deux types d'inventaire :

- les *inventaires exhaustifs* c'est-à-dire pied par pied pour l'ensemble du peuplement,
- les *inventaires partiels, statistiques* par sondage (échantillonnage).

Le choix de l'inventaire dépend de l'échelle d'étude et de la taille de la zone à inventorier, de la précision recherchée et du coût envisageable.

A l'échelle régionale, un inventaire exhaustif serait extrêmement fastidieux et coûteux aussi un inventaire par échantillonnage semble plus adapté à l'évaluation de la ressource ligneuse dispersée à cette échelle.

III. B - Conception d'un inventaire par échantillonnage :

Etablir une méthode d'échantillonnage, c'est définir un certain nombre de critères qui la caractérise. Ces critères ne sont pas indépendants les uns des autres et doivent être choisis de telle

[2] CV = Coefficient de Variation = $(s/\bar{x}).100$ où $\bar{x}$ et s sont les estimateurs sans biais de la moyenne et de l'écart-type des précipitations annuelles de la zone.

sorte à être compatibles. Parmi ces critères, on distingue les critères qui découlent du sujet de l'étude (la population et le critère d'échantillonnage) et ceux qui sont fonction des résultats attendus et des moyens disponibles (ils constituent le plan de sondage).

Nous allons maintenant décrire l'ensemble des critères qui caractérise la méthode de sondage retenue en essayant de souligner les raisons qui ont motivé notre choix.

III. B. 1. Les critères intrinsèques à l'étude :

a) La population, sujet de l'étude :

Notre inventaire s'intéresse à la production ligneuse (ou "biomasse ligneuse") des jachères c'est-à-dire au volume de bois sur pied par unité de surface (exprimé en kg ou en m^3/ha). Plus précisément, nous souhaitons définir la potentialité des jachères en bois-énergie. Nous ne considérerons donc que la ressource ligneuse énergétique. Cette ressource est caractérisée par un *diamètre minimal*[3] en deçà duquel elle n'est plus considérée comme exploitable.

Le diamètre minimal de l'inventaire ou diamètre de précomptage doit être fixé de façon à prendre en compte le maximum de volume ligneux disponible et utilisable comme ressource énergétique, sans imposer des temps de comptage trop importants.

Dans les inventaires des ressources ligneuses en zone sèche, le diamètre minimal mesuré varie ainsi de zéro à vingt centimètres (Jensen, 1995). Clément (1982) préconise un diamètre de précomptage de cinq centimètres pour l'estimation des formations mixtes forestières et graminéenes.

Dans notre inventaire, la population est constituée par l'ensemble des "tiges"[4] des jachères ayant une circonférence à 1,30 mètres supérieure à dix centimètres soit un diamètre de précomptage de trois centimètres environ.

Les tiges dont le diamètre est inférieur au diamètre de précomptage renseignent sur le potentiel de régénération des jachères c'est-à-dire sur la dynamique du peuplement. Elles seront dénombrées par espèces.

Remarque :

Au Mali, l'approvisionnement des villages en bois-énergie est assuré par les femmes qui privilégient le bois de petites dimensions. Bazile (1997) annonce un diamètre minimal de coupe, à la base, de 2,5 centimètres (soit huit centimètres de circonférence). Mais il est vraisemblable qu'il n'y ait pas de taille limite de coupe : les femmes collectant le bois suivant leur besoin. Le diamètre de précomptage choisi nous semble être représentatif de la moyenne des tailles des tiges coupées. De plus lors d'une évaluation de la biomasse ligneuse, une sous-évaluation ne peut pas entraîner la mise en place d'une politique d'aménagement préjudiciable pour la ressource.

b) Choix du critère d'échantillonnage :

Le *critère d'échantillonnage* est la grandeur choisie pour caractériser notre population et accessible par la mesure lors du sondage.

Le but de notre inventaire est d'estimer la biomasse ligneuse des jachères ; cette grandeur

[3] Classiquement, sauf indication contraire, les diamètres sont mesurés à 1,30 mètres du sol.

[4] La "tige" ou le "brin" sont des termes forestiers qui qualifient le tronc des arbres et arbustes.

n'est pas directement mesurable car elle nécessite l'abattage de l'ensemble des tiges du peuplement pour l'estimation de leur volume ou de leur poids. Il est donc nécessaire d'utiliser un *tarif de cubage*, modèle mathématique liant la production ligneuse (exprimée en m^3 ou kg/ha) à des variables dendrométriques des ligneux, non destructrices et facilement mesurables (diamètre, hauteur) (Stewart, 1990).

Le tarif de cubage est établi en ajustant les paramètres du modèle aux mesures faites sur un échantillon de tiges représentatif du peuplement ligneux des jachères.

Les tarifs de peuplement[5] ne sont valables que pour les populations dont ils sont issus (Jensen, 1995) or nous n'en disposons pas pour nos jachères. Ne connaissant pas *à priori* les entrées des tarifs que nous devrons établir, nous avons retenu plusieurs caractéristiques dendrométriques comme critères d'échantillonnage : les circonférences à la base et à 1,30 mètres et la hauteur des tiges.

La circonférence des tiges à 1,30 mètres nous permettra, par ailleurs, de calculer la *surface terrière* de notre peuplement soit la somme des sections des tiges à 1,30 mètres par unité de surface du sol (on l'exprime généralement en m^2/ha). Ce critère dendrométrique est largement utilisé par les forestiers ; facilement calculable, il permet de comparer directement des résultats obtenus dans différentes études alors que le recours au tarif de cubage introduit un biais difficilement évaluable.

Connaissant la hauteur des tiges du peuplement, nous pourrons également déterminer sa *hauteur dominante* (hauteur moyenne des cent plus grosses tiges à l'hectare) qui est un bon indicateur de la croissance et de la vigueur d'un peuplement, ainsi que de la fertilité du sol, des conditions climatiques... (Stewart, 1990).

III. B. 2. Elaboration du plan de sondage :

Pour mettre en place un plan de sondage, il faut adopter une méthode d'échantillonnage, caractériser les unités d'observation (forme, taille, nombre et localisation) et définir le déroulement des travaux d'inventaire.

a) Les méthodes classiques d'échantillonnage :

Le mode de sondage que nous avons retenu est un échantillonnage probabiliste à tirage systématique. Seule la première unité est tirée aléatoirement, la position des autres étant définie par équidistance.

• Un *sondage probabiliste* est objectif et permet l'utilisation des lois statistiques pour interpréter et extrapoler les résultats obtenus. Il fournit une estimation de la grandeur étudiée avec un intervalle de confiance pour une précision donnée. Il s'oppose au *sondage empirique* où le nombre d'unités d'observation et leur localisation sont définis de façon raisonnée. Les données obtenues ont alors une valeur indicative car l'estimation des biais n'est pas possible.

Le sondage probabiliste permet donc de gagner en exactitude et en fiabilité. Son inconvénient majeur par rapport à l'échantillonnage empirique est son coût (en temps et financier) car la taille de l'échantillon est imposée par la précision souhaitée et peut, de ce fait, être relativement importante.

[5] Parmi les tarifs de cubage, on distingue les "tarifs individuels" établis pour une espèce donnée et les "tarifs de peuplement" établit pour l'ensemble des espèces en présence pour des conditions stationnelles pédologiques et bioclimatiques identiques.

Remarque :

Dans un travail de recherche, l'échantillonnage probabiliste est préféré ; cependant dans un souci de faisabilité, il est souvent adapté aux contraintes du terrain si bien que peu d'inventaires forestiers réalisés à l'échelle régionale ou national sont à proprement parlé, probabilistes.

• Le mode d'échantillonnage par sondage systématique s'adapte bien à notre étude car il permet d'étudier une population sans disposer d'informations particulières sur celle-ci. De telles informations sont utilisées par d'autres méthodes de sondage probabiliste (stratifié ou à deux degrés) pour améliorer la représentativité de l'échantillon extrait. De ce fait, ces sondages plus sophistiqués sont aussi de meilleure qualité.

Remarque :

La qualité d'une méthode est approchée par la précision des estimations, à coût constant ou par son coût pour une précision donnée.

Un dispositif de sondage systématique permet une exploration optimale et régulière de la surface occupée par la population. La précision de l'estimation est très généralement augmentée par rapport à un sondage aléatoire simple où les individus de l'échantillon sont désignés au hasard (Duplat et Perrotte, 1981).

b) Les unités d'observation, supports de la mesure :

Les critères d'échantillonnage retenus sont des densités (nombre de tiges/ha, surface terrière) : ils doivent être mesurés sur une certaine surface autour du point où on cherche leur valeur. Cette surface constitue l'*unité d'échantillonnage* ou la *placette*.

• La *forme* des placettes : circulaire, carré ou rectangulaire a une incidence sur la précision des estimations. En région tropicale sèche, le choix d'une placette rectangulaire rend mieux compte de la structure du peuplement et les résultats obtenus sont alors plus précis (Sylla, 1987). Nous avons donc retenu des placettes de formes rectangulaires pour notre sondage.

• La *surface* des aires de mesure est avec le nombre et la localisation des points échantillons, un élément clef de l'échantillonnage. Cette surface ne doit être ni trop petite car la précision deviendrait trop mauvaise sans que le coût tende vers zéro, ni trop grande car le coût deviendrait trop élevé pour un gain de précision illusoire (Duplat et Perrotte, 1981).

Il existe deux façons de définir la surface de la placette :

- 1ère méthode : on retient les dimensions des placettes classiquement usités dans des inventaires similaires,

- 2éme méthode : on réalise une étude préliminaire où on étudie la variation de la densité du critère d'échantillonnage (nombre de tiges par hectare, par exemple) pour des placettes de surface croissance. La densité varie jusqu'à une taille de placette au delà de laquelle sa valeur se stabilise : c'est l'*aire minimale* retenue pour l'échantillonnage. En effet, le gain de précision obtenu en prenant une surface de placette supérieure à l'aire minimale ne se justifie pas par rapport à l'augmentation du coût qui en découle.

La première méthode est utilisée pour définir la taille des unités d'observation qui permettront l'étude de la surface terrière des ligneux des jachères. Ce sont des placettes de vingt-cinq sur cinquante mètres (soit une surface d'un huitième d'hectares) utilisées lors d'inventaires des

ligneux des formations naturelles au Mali (Sylla, 1987 ; BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME, 1988) et dans bon nombre de pays d'Afrique de l'Ouest (Bellefontaine *et al.*, 1997).

L'étude de la régénération concerne les tiges de petites dimensions, particulièrement abondantes dans les peuplements à évolution rapide comme les jachères ; leur dénombrement sur des placettes d'un huitième d'hectares serait long et fastidieux (et risquerait d'augmenter les erreurs de mesure). Il nous a ainsi semblé préférable de déterminer la taille optimale de l'unité de sondage (deuxième méthode). Ces placettes seront implantés au centre des placettes d'un huitième d'hectares.

• Le nombre de placettes c'est-à-dire la *taille de l'échantillon* est défini connaissant la précision recherchée sur la mesure, le seuil de probabilité fixé et la variabilité du critère étudié (donnée par sa variance ou son coefficient de variation). Pour déterminer la taille de notre échantillon, il nous faut donc connaître l'hétérogénéité des jachères pour le critère étudié. C'est ce que nous ferons dans la troisième partie de ce rapport.

Remarque :
Lors d'un inventaire, différentes contraintes naturelles, humaines, économiques peuvent minorer la taille de l'échantillon. La précision alors obtenue sur les estimations conditionnera la valeur indicative ou vraie des résultats.

La *localisation* des placettes dépend du mode de sondage et nécessite une base de sondage.

c) La base de sondage, support cartographique de l'échantillonnage :

Une *base de sondage* est un support cartographique (carte topographique, interprétation de photographies aériennes ou d'images satellites) contenant toute la zone d'étude (Godard, 1991) et sur lequel il est possible de tirer un échantillon compatible avec les renseignements recherchés.

La *base de sondage* des jachères de notre zone est obtenue par photo-interprétation des clichés panchromatique noir et blanc au 1/50 000 datant de mars 1995. Ces photographies ont été réalisées par Maps Geosystems et acquises par le Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) au Mali.

D'autres documents (cartes et images satellites) étaient disponibles pour réaliser une cartographie des jachères de notre zone d'étude mais ils nous ont paru difficilement exploitables pour différentes raisons.

Les cartes topographiques réalisées par l'IGN sur le Mali (zone désertique nord exceptée) et les cartes des formations végétales et de l'occupation agricole des terres éditées par le PIRL sont anciennes et à trop petite échelle. Les cartes IGN datent de la fin des années cinquante (une réactualisation partielle ayant eu lieu dans les années soixante-dix) et celles du PIRL ont été réalisées à partir d'images SPOT acquises entre 1987 et 1989. De plus, ces cartes sont toutes au 1/200 000 ; notre zone d'étude y est donc représentée par un carré peu détaillé d'une dizaine de centimètres de côté.

Les images satellites numériques Landsat TM de mai 1994 ne sont pas directement utilisables. La résolution de ce capteur : trente mètres sur trente mètres a une faible valeur informative pour l'étude des formations diffuses. En effet, les données satellitaires sont très dépendantes de la densité des peuplements ligneux. Dans le cadre du projet PIRL, une action de recherche (Pain-Orcet *et al.*, 1989) a montré qu'un écart de densité du couvert de 20% était

Troisième partie : Résultats et interprétation.

nécessaire pour individualiser de façon précise deux thèmes de végétation. En dessous de ce seuil de densité, la réponse spectrale enregistrée par le satellite ressemble à celle d'un sol nu ou couvert d'herbacées. Or le terme jachère se rapporte à un mode d'occupation du sol plus qu'à un type de formation végétale. Ainsi, suivant ses caractéristiques intrinsèques (âge, durée des cycles cultures-jachères) et extrinsèques (taux d'exploitation, périodicité des feus), une jachère a une signature spectrale de savane (arbustive, arborée ou boisée) ou de cultures. L'image satellite Landsat TM de notre zone est donnée en annexe I. L'analyse visuelle suffit à identifier les zones de cultures mais la délimitation des jachères semble beaucoup plus aléatoire.

I. DEROULEMENT DES TRAVAUX REALISES AU MALI :

I. A - Chronologie :

Trois mois (d'avril à juin) sont consacrés à l'étude pratique au Mali.

Durant le mois d'avril, nous réalisons la cartographie des jachères de notre zone d'étude par photo-interprétation.

Les vérifications terrain ont lieu au mois de mai ainsi que les relevés GPS[6] devant permettre de caler la cartographie obtenue dans un géoréférentiel connu.

L'ensemble des mesures d'échantillonnage est effectué au mois de juin.

I. B - En brousse... :

Tous les travaux réalisés en brousse (relevés GPS, vérification de la photo-interprétation sur le terrain, échantillonnage) au niveau des terroirs villageois, sont menés en collaboration avec les villageois.

A notre arrivée dans un village, nous rencontrons le chef du village et lui expliquons la raison de notre visite. C'est lui avec le conseil du village qui désigne les jachères à visiter (nous les indique-t-il toutes ?[7]) et les agriculteurs qui doivent nous y accompagner et suivre le déroulement de nos mesures.

II. DE LA PHOTO-INTERPRETATION A LA CARTOGRAPHIE DES JACHERES :

II. A - Photo-interprétation de notre zone d'étude:

Une cartographie des jachères est obtenue par photo-interprétation. Trente et un clichés au 1/50 000, répartis en trois bandes sont nécessaires à la couverture de l'ensemble de notre zone. Sur une même bande, deux photos successives se recouvrent longitudinalement sur au moins 50% de leur surface pour permettre une vision stéréoscopique.

Le photo-interprète isole sous son stéréoscope les différentes unités de végétation suivant des critères choisis le plus objectivement possible (niveau de gris, texture, relief, localisation dans le paysage...). Sont retenues comme jachères les unités de végétation pour lesquelles il est possible de distinguer les limites d'un ancien parcellaire (limites plus ou moins rectilignes et franches) et différentes des cultures actuelles. Les zones de cultures sont facilement identifiables par leur faciès de sol nu (teinte blanche à gris clair) avec dans la plupart des cas une ponctuation d'arbres (cas des parcs arborés) et par leur localisation autour des villages et des hameaux de culture (cases isolées). Les jeunes jachères de moins de trois ans, très peu couvrantes, ne peuvent pas être séparées des cultures.

II. B - Vérifications terrain et limites de la photo-interprétation :

Les vérifications terrain permettent de faire le lien entre le rendu photographique du

---

[6] GPS : Global Positionning System.

[7] Au Mali, la filière d'exploitation du bois-énergie est en lente restructuration depuis le début de la décentralisation ; elle tend vers une plus grande participation des chefferies villageoises. A l'heure actuelle, la législation héritée de la colonisation préside encore et soumet l'ensemble des exploitations en bois-énergie à une taxe. Aussi, parler de cartographie des jachères et d'évaluation de leur ressource en bois-énergie est parfois sources de méfiance et de craintes.

paysage à deux dimensions et la vision à trois dimensions que nous en avons *in situ*.

Avant un travail de photo-interprétation, il est préférable que le photo-interprète prenne connaissance sur le terrain des différents types de paysage qu'il aura à identifier sous son stéréoscope.

Durant son étude, il s'assure que les unités de végétation retenues correspondent bien aux formations végétales qu'il souhaite délimiter. Pour cela, il visite différents sites correspondant sur le cliché photographique à une unité de végétation et il observe la ou les formations végétales qui y sont présentes.

Pour être optimale, la vérification terrain se fera photos et photo-interprétations à l'appui afin de comparer le faciès des unités photo-interprétées aux formations végétales ainsi repérées. Un schéma de mise en correspondance entre la vue stéréoscopique "du dessus" et la vision terrain peut faciliter et surtout homogénéiser le travail de photo-interprétation et permettre un gain de temps et une meilleure fiabilité des résultats (communication personnelle, Pain-Orcet).

Dans le cadre de notre étude, le véhicule nécessaire pour visiter la zone d'étude n'a été disponible qu'à la fin de la photo-interprétation de l'ensemble des clichés : la photo-interprétation est donc réalisée sans reconnaissance préalable du milieu. De plus, les photos sur lesquelles nous travaillons appartiennent à un autre projet (le PGRN). Elles ont été consultées à Bamako mais n'ont pas pu être utilisées sur le terrain.

Notre vérification terrain a porté sur des "unités jachères" de la zone d'étude localisées à proximité de Bamako (où se situe le siège de la CCL) et de l'axe principal goudronné Bamako-Segou pour limiter les temps de déplacement.

L'emplacement des jachères identifiées sur les clichés photographiques est retrouvé sur le terrain par rapport à sa localisation dans le terroir villageois (distance à la route, au village...). Aux emplacements visités, trois scénarios différents sont rencontrés :

- on observe bien la présence d'une jachère ;
- la terre a été remise en culture depuis la date de prise de vue ;
- il y a des formations végétales autres que des jachères : cimetière, bas-fond, réserve en bois villageoise. Ces formations ont un faciès de jachère sur les photos aériennes (végétation diffuse à limites nettes héritées des cultures alentours, par exemple) mais ne le sont pas sur le terrain.

De plus, aux dires des exploitants, il existe d'autres jachères que nous n'avons pas repérées par photo-interprétation. Il semble que ce soit les vieilles jachères (de plus de dix ans en moyenne) qui évoluent vers un stade climacique de type savane. Les limites d'un ancien parcellaire ont souvent disparu du fait de l'exploitation différentielle de ces formations : pâturage, prélèvements en bois par émondage ou coup franche, carbonisation sur pied. Il n'est alors plus possible de les distinguer des formations naturelles savanicoles par photo-interprétation.

L'utilisation des photographies aériennes pour cartographier les jachères est donc limitée par la spécificité de celles-ci. En effet, le terme jachère fait référence à un mode d'occupation du sol et non à un type particulier de formation végétale : une approche

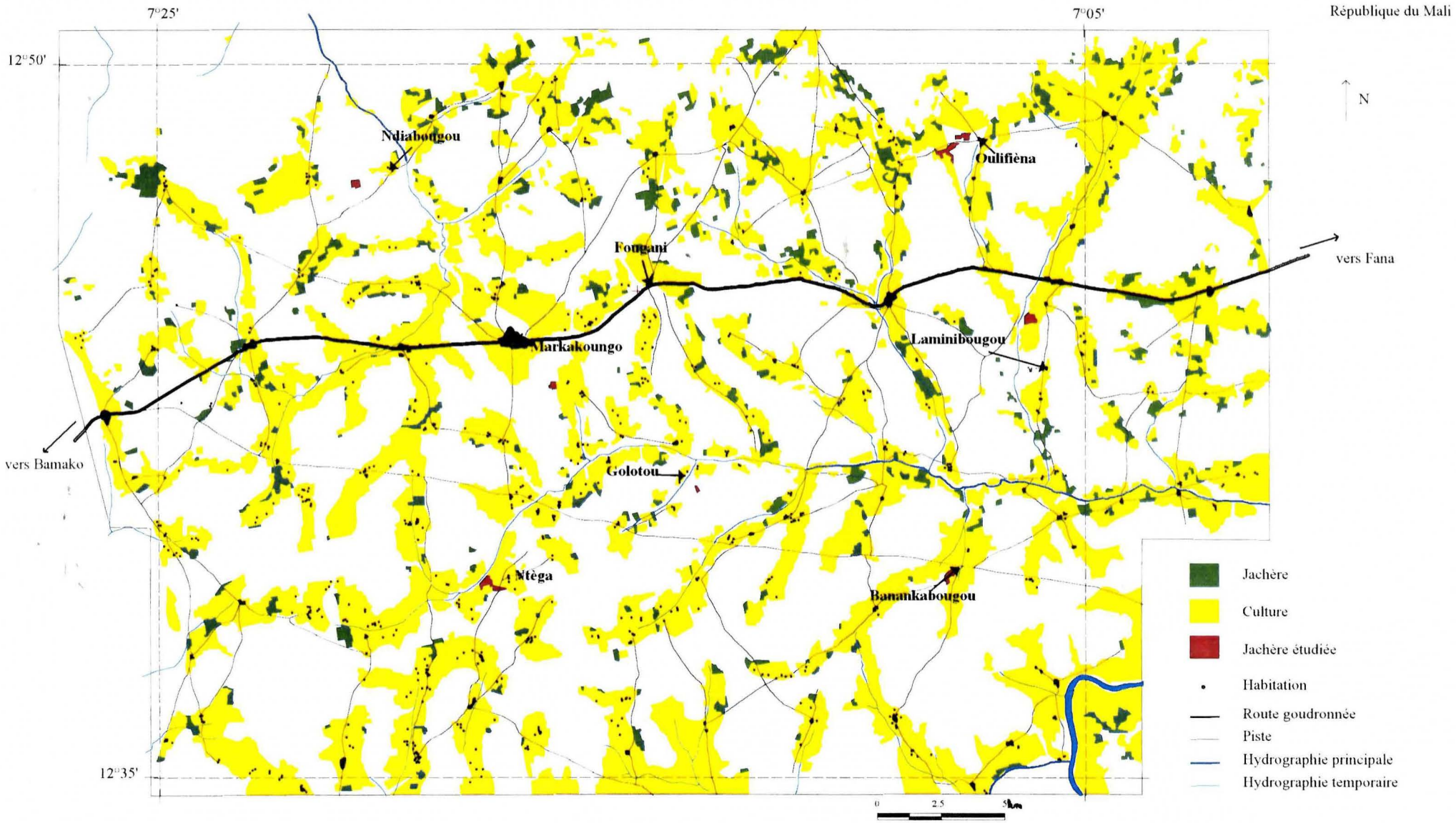


Figure 5- Cartographie des jachères de la zone d'étude.

descriptive ne peut suffire à caractériser une jachère, il faut tenir compte de la dynamique spatio-temporelle du paysage agricole dans lequel elle s'insère. Nos clichés panchromatiques noir et blanc paraissent à la fois trop anciens (trois ans) et à trop petite échelle (1/50 000) pour délimiter avec exactitude les espaces mis en jachère. Ne disposant pas de données cartographiques plus fiables, nous avons néanmoins réalisé une cartographie des jachères à l'aide de ces photographies.

II. C - Cartographie des jachères :

II. C. 1. Réalisation de la carte :

La cartographie des jachères de notre zone est obtenue par assemblage des clichés photo-interprétés. La photo-interprétation est réalisée sur support transparent qui sont ensuite assemblés pour fournir une carte sommaire de la localisation des jachères (sans géoréférencement).

II. C. 2. Intégration à un SIG et géoréférencement :

La photo-interprétation finale est digitalisée et intégrée à un Système d'Information Géographique (SIG).

Pour permettre une éventuelle superposition à d'autres sources d'informations géographiques (cartes, image satellites...), la carte doit être référencée dans un système géodésique international (WGS84, par exemple). Sur le terrain, un GPS permet de relever la position de points remarquables[8] préalablement identifiés sur la photo-interprétation (intersection de routes et de marigots, croisements...). Ces points sont alors connus dans deux systèmes de coordonnées : celui propre à la carte et celui utilisé par le GPS. Le SIG détermine les paramètres de la transformation affine permettant de passer d'un système à un autre et les applique à l'ensemble de la carte (Freycon et Fauvet, 1998).

Vingt-cinq mesures sont réalisées à l'aide d'un GPS différentiel (Trimble Geo Explorer II) dont le principe et les particularités de fonctionnement sont décrits en annexe II. La localisation des points d'amer est faite sur la carte topographique IGN; elle nous permet de nous repérer sur le terrain. Cependant l'ensemble des mesures n'est pas exploitable :

- certains des points localisés sur la carte IGN datant des années 1970 à l'intersection des routes, n'ont pu être retrouvés avec précision sur la carte issue de la photo-interprétation : les pistes carossables notamment ont un tracé très changeant suivant leur taux de fréquentation, leur localisation dans le paysage...,
- le récepteur GPS servant de borne de référence est basée à Bamako ; son fonctionnement fut perturbé pendant nos relevés sur le terrain, par de nombreuses coupures d'électricité si bien que certains points n'ont pu être corrigés et ne sont donc pas utilisables.

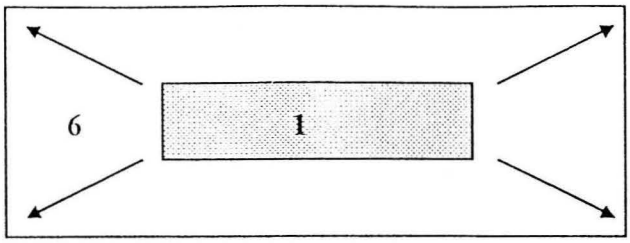
En final, nous disposons de quatorze points d'amer pour géoréférencer notre carte.

II. C. 3. Observations :

La carte des jachères obtenue (figure 5) renseigne sur leur répartition spatiale et leur superficie.

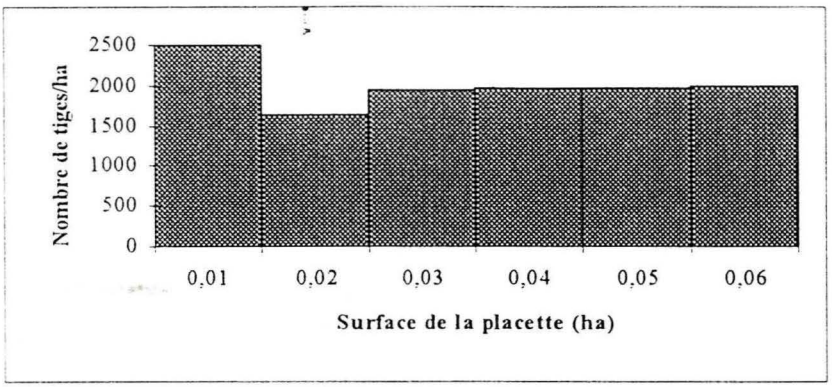
Sur une surface de 131 378 hectares que couvre notre zone d'étude, les jachères

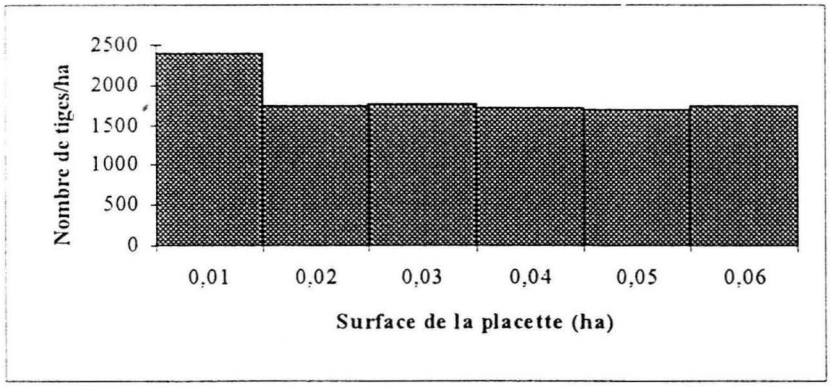
[8] ou points d'amer.

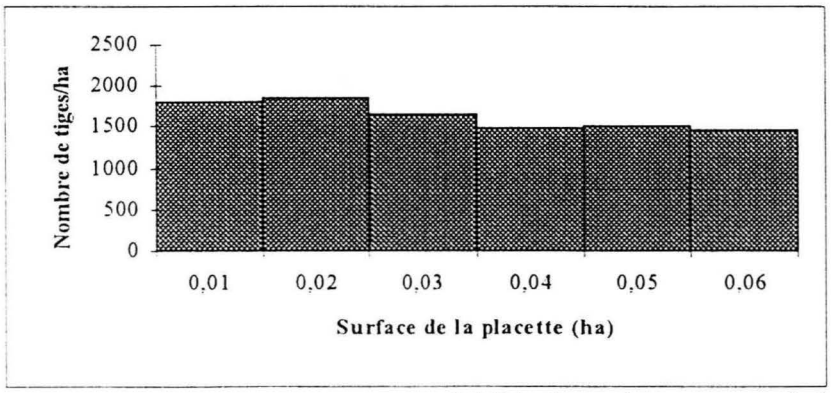


1 : 5 m sur 20 m soit 0, 01 ha
à 6 : 15 m sur 40 m soit 0, 06 ha.

(a) Dispositif d'échantillonnage.







(b) Résultats obtenus sur trois jachères d'âge différent.

Figure 6 - Détermination de la taille de l'unité de sondage pour la régénération.

occupent 4 126 hectares et les cultures : 37 739 hectares soit respectivement 3,1% et 28,7% de la superficie totale. Si on ne considère que le système culture-jachère qui couvre une surface de 41 865 hectares, les jachères constituent seulement 10% de l'ensemble ce qui est relativement faible quand on pense à leur rôle de restauration de la fertilité des sols. Cependant, dans cette zone cotonnière, les jachères tendent à perdre leur fonction première : l'utilisation d'intrants étant largement développée. Elles représentent plus une ressource foncière pour le village qui les maintient d'année en année.

Ce mode de gestion agricole concoure au vieillissement des jachères. On peut donc penser qu'il existe un certain nombre de vieilles jachères que nous n'avons pu différencier, par photo-interprétation, des formations naturelles savanicoles. Ceci nous a par ailleurs été confirmé par les agriculteurs lors de nos vérifications terrains. La superficie des jachères que nous obtenons est sous-estimée et à prendre plus à titre indicatif qu'absolu.

Les jachères forment un patchwork morcelé (68% ont une superficie inférieure à dix hectares) et éclaté dans l'ensemble de la zone. La partie nord de la zone limitée par l'axe Bamabo-Ségou représente 40% de la surface totale de l'ensemble de la zone ; elle regroupe cependant 52% de la superficie totale des jachères et contient les unités de plus grandes superficies (jusqu'à 117 hectares). Or cette région présente également un habitat agrégé en villages contrairement à la partie sud de notre zone où l'habitat est plus dispersé avec un nombre important de hameaux de culture[9]. On peut donc penser que la chefferie des terres reste forte au nord et impose un contrôle de l'occupation des terres alors qu'au sud, ce contrôle semble plus diffus du fait d'une organisation paysanne plus lâche (communication personnelle, Besse et Fauvet). Une enquête socio-économique serait nécessaire pour conclure. La répartition des jachères observée peut aussi résulter d'un développement plus important de la culture de rente de coton au sud qu'au nord, nécessitant un défrichement plus intense.

III. CARACTERISATION DES UNITES DE SONDAGE DESTINEES A L'ETUDE DE LA REGENERATION :

Nous avons vu en deuxième partie de ce rapport que la biomasse ligneuse des jachères serait estimée sur des placettes rectangulaires d'un huitième d'hectares. Par contre, il nous faut définir la taille des placettes d'étude de la régénération. Celle-ci est déterminée par une étude préliminaire.

Dans trois jachères choisies aléatoirement dans les villages de notre zone, nous avons étudié la densité de "petites" tiges pour des tailles croissantes d'unités d'échantillonnage de 0,01 à 0,06 hectares (figure 6 (a)).

L'histogramme obtenu est donné figure 6 (b). La densité varie jusqu'à une taille de placette de 0,03 hectares (dix sur trente mètres). Au-delà, la densité varie peu. Le gain de précision obtenu en étudiant la densité sur une surface plus importante ne se justifie pas en comparaison du travail supplémentaire effectué. La taille optimale de la placette d'étude de la régénération est donc de 0,03 hectares ; cette placette sera implantée au centre de l'unité d'échantillonnage d'un huitième d'hectares.

[9] Groupement de cases sous la chefferie d'un village voisin.

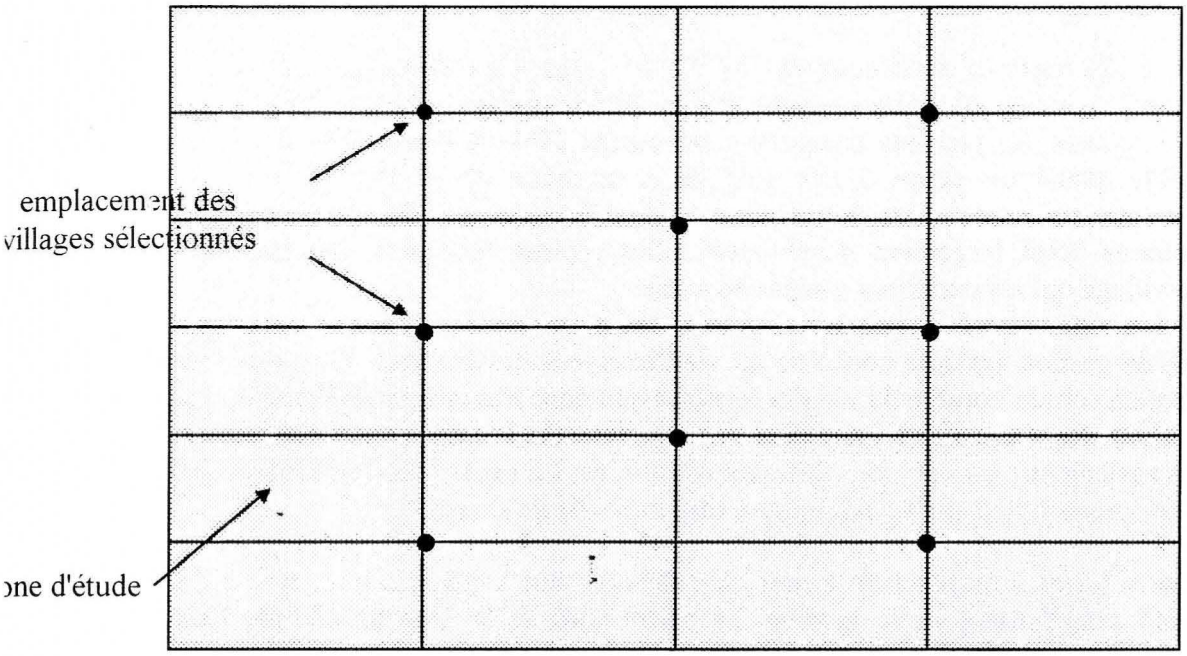
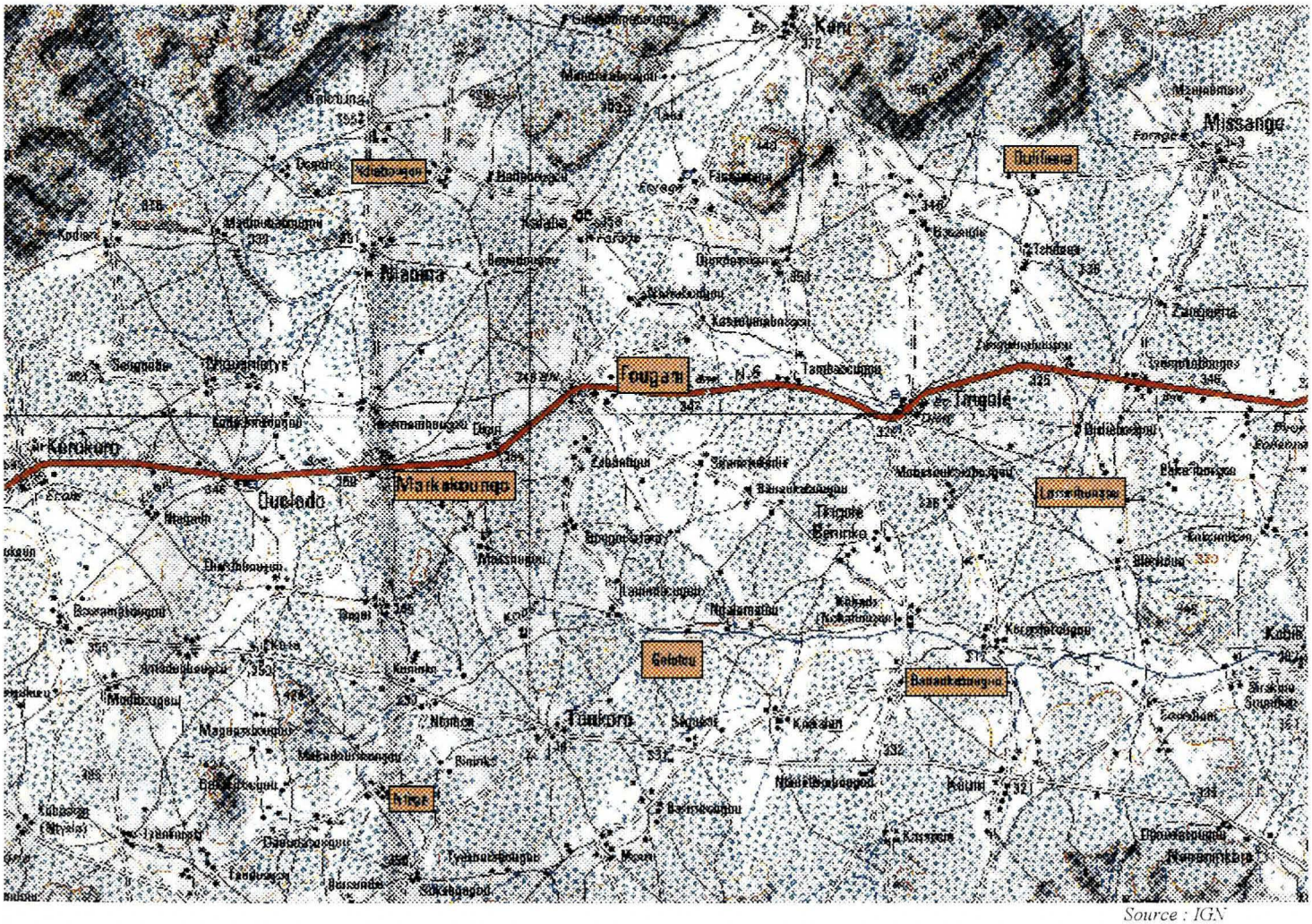


Figure 7 - Schéma d'un tirage en quinconce.



Source : IGN

Figure 8 - Localisation des huit villages dont les jachères sont échantillonnées.

IV. REALISATION D'UN PRE-SONDAGE :

La réalisation définitive d'un plan de sondage nécessite de connaître la variabilité du critère mesuré donnée par la valeur des coefficients de variation. Celle-ci permettra d'estimer le nombre minimum de placettes nécessaires pour atteindre une précision donnée (Bellefontaine *et al.*, 1997). Cette hétérogénéité de la ressource pour les variables mesurées est évaluée par pré-sondage sur un échantillon de petite taille (dit sous-échantillon).

IV. A - Choix d'un sous-échantillon :

Nous devons réaliser un pré-inventaire des jachères de notre zone d'étude. Disposant d'une cartographie des jachères, nous pourrions faire un tirage d'un sous-échantillon représentatif et y effectuer un inventaire. Cependant, nous l'avons vu, la cartographie réalisée à partir des photos de 1995 ne reflète pas la situation actuelle, certaines jachères ayant été remises en culture. Nous risquons donc de perdre un temps précieux à rechercher les jachères toujours présentes. De plus, les jachères sont intégrées à un terroir villageois ; pour les visiter, il nous faut l'assentiment du village auquel elles appartiennent : ne disposant pas de cadastre, il nous faudra retrouver préalablement le village auquel les jachères sont rattachées. Le choix d'une autre approche s'impose. Sachant que les villages ou les hameaux de culture qui leur sont rattachés ont probablement au moins une jachère, il nous a semblé plus simple, plus rapide et plus sûr de réaliser un tirage des villages de notre zone et d'y échantillonner leurs jachères (communication personnelle, Peltier et Sylla).

Le nombre de villages à sélectionner est imposé par le temps dont nous disposons pour nos mesures soit vingt et un jours. A raison d'environ deux jours par village (variable suivant les aléas climatiques inhérents au début de la saison des pluies et le nombre de jachères), nous avons retenu huit villages.

Les villages ont été tirés en quinconce (figure 7) de façon à couvrir l'ensemble de la zone. Ces villages sont : Ndiabougou, Oulifièna, Fougani, Markakoungo, Laminabougou, Golotou, Ntèga et Banankabougou (figure 8).

IV. B - Principe et méthode de l'inventaire des jachères :

Dans chaque village, les agriculteurs nous indiquent les différentes jachères de leur terroir. Ils évaluent leur âge suivant des repères chronologiques propres ("Je ne l'ai jamais vu en culture.", par exemple).

Les jachères sont échantillonnées par layonnage. Le premier layon débute à cent pas des limites de la jachère pour pallier les effets de bordure et a pour direction la longueur de la parcelle. Les autres layons sont parallèles au premier et distants les uns des autres de deux cents mètres. Deux placettes consécutives d'un même layon sont espacées de cent mètres. La figure 9 donne une vision schématique du dispositif d'échantillonnage mis en place dans chaque jachère.

L'équipe de comptage est constituée de trois personnes : deux compteurs dont l'un est aussi boussolier, et d'un agent qui note les informations sur les fiches de comptage.

Les mesures de distances se font à l'aide d'une corde de vingt-cinq mètres ou par pas comptés après étalonnage de ceux-ci. Le sens de progression est donnée par une boussole. Celle-ci permet aussi de délimiter les coins des placettes dont les extrémités sont matérialisées par un ruban de couleur.

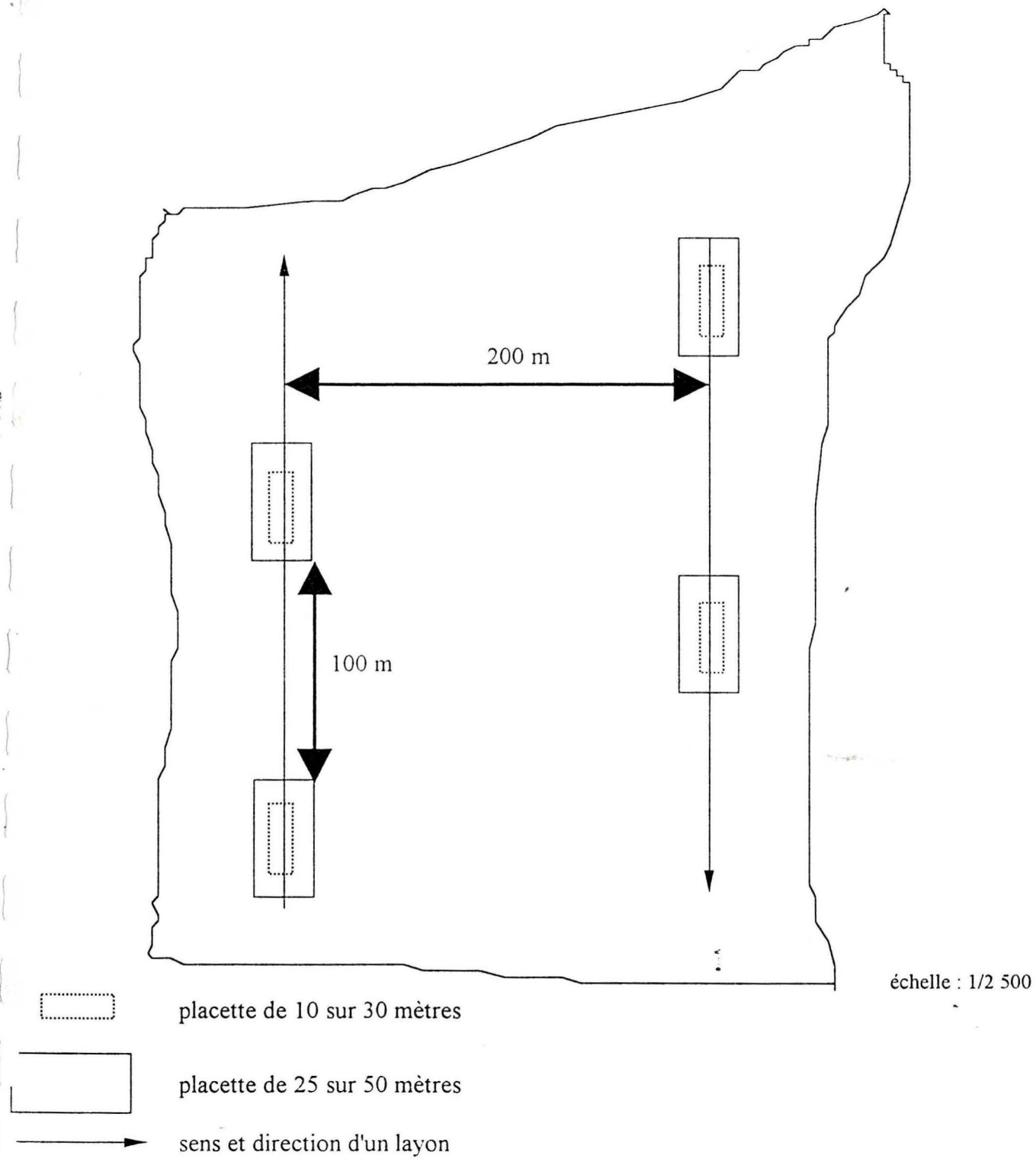


Figure 9 - Schéma d'échantillonnage d'une jachère.

Village	Nombre de jachères	Age moyen (années)	Nombre de placettes
Banankabougou	3	5	2
		30	5
		40	5
Fougani	1	< 5	4
Golotou	1	40	3
Laminibougou	3	15	4
		15	1
		20	4
Markakoungo	4	< 5	2
		> 20	7
		10	2
		20	2
Ndiabougou	1	> 20	10
Ntèga	2	10	4
		5	2
Oulifièna	5	< 5	5
		< 5	2
		< 5	2
		3	1
		10	3

Tableau III - Localisation et âge des jachères inventoriées suivant un nombre donné de placettes.

Classe d'âge	< 5 ans	5 - 10 ans	10 - 20 ans	> 20 ans
Village (nbre de jachères - nbre de placettes)	Fougani (1 - 4) Markakoungo (1 - 2) Oulifièna (4 - 10)	Banankabougou (1 - 2) Markakoungo (1 - 2) Ntèga (2 - 6) Oulifièna (1 - 3)	Laminibougou (3 - 9) Markakoungo (1 - 2)	Banankabougou (2-10) Golotou (1 - 3) Markakoungo (1 - 7) Ndiabougou (1 - 10)
Nbre total de jachères (nbre total de placettes)	6 (16)	5 (13)	4 (11)	5 (30)

Tableau IV - Répartition des jachères par classe d'âge (nbre=nombre).

Sur les placettes de vingt-cinq sur cinquante mètres, les tiges ayant une circonférence à 1,30 mètres supérieure à dix centimètres (diamètre d'environ trois centimètres) sont inventoriées par espèce (on les appellera "grosses tiges"). Leurs circonférences sont mesurées à la base des tiges et à 1,30 mètres à l'aide d'un "ruban de couturier". Les hauteurs moyennes des tiges sont évaluées "à l'oeil".

Sur les placettes de dix sur trente mètres implantées au centre des précédantes, sont recensées par espèces toutes les autres tiges de plus petites dimensions (elles seront appelées "petites tiges").

Les compteurs avancent d'une extrémité à l'autre de la parcelle dans le sens de la longueur et les informations transmises oralement par les compteurs, sont répétées par le troisième agent avant d'être écrites sur les fiches de comptage (données en annexe III).

V. RESULTATS ET DISCUSSION :

V. A - Préambule :

Le pré-inventaire réalisé a deux objectifs :

- décrire grossièrement le peuplement ligneux des jachères (densité, structure par classe de circonférence, richesse floristique),

- fournir des informations permettant la mise en place d'un inventaire à proprement parler (définir l'hétérogénéité du couvert par rapport à la variable étudiée : ici, la surface terrière) et éventuellement son optimisation (par stratification par exemple ce qui nécessite de faire une classification des jachères).

Pour cela, il faut connaître les facteurs qui déterminent l'ensemble des caractéristiques d'une jachère à un instant donné, ceux qui conditionnent leurs évolutions ainsi que leur variabilité. Ces facteurs sont de deux types :

- intrinsèques à la jachère : âge, durée des cycles cultures-jachères, espèces en présence,

- extrinsèques à la jachère : propriétés bioclimatiques et géomorphologiques de la station et importance de la pression anthropique, entre autres.

L'évaluation du poids de ces différents facteurs a un intérêt méthodologique : elle constitue un élément de base à une typologie des jachères et cible l'inventaire sur l'étude de certains d'entre eux. De plus, elle peut être un atout important pour l'aménagement et la gestion raisonnée des ressources ligneuses de ces formations.

Les données dont nous disposons limitent l'étude à deux facteurs : l'âge et la localisation des jachères (c'est-à-dire le village auquel elles appartiennent).

Vingt jachères ont été visitées sur l'ensemble des huit villages. Le tableau III donne le nombre de jachères inventoriées par village, leur âge moyen et le nombre de placettes qui y ont été implantées. A partir de ces résultats, quatre classes d'âge ont été retenues afin d'obtenir une répartition homogène de l'ensemble des jachères dans chacune d'elles (cf. Tableau IV). Une bibliographie très succincte sur l'analyse statistique des données est disponible annexe IV, y figurent aussi les résultats obtenus après traitement informatique par le logiciel Statitcf sous DOS.

Classe d'âge		Densité (nbre tiges/ha) Grosses tiges	Petites tiges
< 5 ans	m	385	14639
	s (n=6)	216	6000
	CV	56 %	41 %
5 - 10 ans	m	582	77771
	s (n=5)	200	3216
	CV	34 %	41 %
10 - 20 ans	m	374	7669
	s (n=4)	22	5301
	CV	6 %	69 %
> 20 ans	m	519	8878
	s (n=5)	109	7188
	CV	21 %	81 %

Tableau V - Densité des tiges par classe d'âge (m=moyenne, s =écart-type).

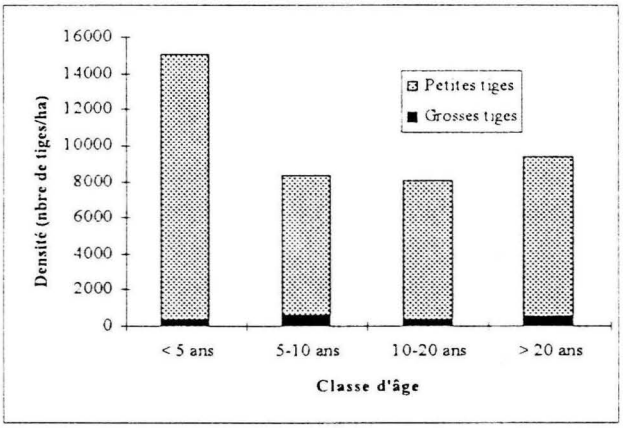


Figure 10 - Densité du peuplement ligneux

Concernant l'analyse des données dendrométriques par village, nous nous limiterons à une interprétation graphique des résultats. En effet, le nombre de jachères par village varie de un (Fougani, Golotou, Ndiabougou) à cinq (Oulifièna). En langage statistique, ceci signifie que les effectifs (nombre de jachères par village) sont inégaux par modalité (village). Il n'est alors pas possible de faire de traitement statistique simple (analyse de variance notamment) sur les résultats obtenus.

Dans la suite de ce rapport nous considérerons exclusivement les ligneux des jachères. Les arbres à parc ne seront mentionnés que dans l'analyse floristique des jachères.

V. B - Densité du peuplement ligneux :

La densité en grosses tiges et en petites tiges renseigne sur l'histoire et la dynamique du peuplement ligneux. La répartition de la densité des tiges par classe d'âges est donnée tableau V et illustrée figure 10.

a) Etude de la densité des grosses tiges :

La densité des grosses tiges varie de 374 à 582 individus par hectare. Ces résultats paraissent relativement faibles au regard de ceux observés dans l'étude de Achard *et al.* (1986) menée au Niger dans une zone bioclimatique proche de la notre et pour laquelle on obtenait une densité de 784 individus par hectare (s (écart-type) = 441 individus/ha, n (nombre de jachères) = 14). Par contre, la variabilité de la densité des grosses tiges (les coefficients de variation allant de 6 à 56%) est comparable que celle de l'étude précitée (CV = 56,25%) et semble acceptable pour les formations diffuses.

La densité des grosses tiges n'évolue pas significativement avec l'âge de la jachère (au risque de 5%). En moyenne, on dénombre 451 individus par hectare (s = 166, n = 20).

Par contre, on observe une diminution de 55% de la population des petites tiges dans les jachères d'âge supérieur à 5 ans : en moyenne, on dénombre 14 639 individus par hectare (s = 6 000 individus/ha, n = 6) pour les jachères de moins de 5 ans contre 8 136 individus par hectare (s = 5 088 individus/ha, n = 14) pour les jachères de plus de 5 ans.

b) Etude de la densité des petites tiges :

La dynamique des jachères de moins de 5 ans semble beaucoup plus importante que celle des jachères plus âgées. Elle pourrait être le fait d'individus pionniers à stratégie adaptative forte (cycle de vie court, multiplication intense : espèces euryèces) qui seraient peu à peu remplacés par des individus plus spécialisés dits stenoèces.

De plus, la population des petites tiges est beaucoup plus importante que celle des grosses tiges : de trente-huit fois pour les jachères de moins de 5 ans à dix-sept fois pour les jachères de plus de 5 ans.

L'importance de la population des petites tiges illustre le phénomène de colonisation post-culturale des ligneux. En effet, l'augmentation de taille des individus conduit à une élimination par compétition (pour les ressources hydrique et azotée, pour l'espace...).

Classe d'âge		Classe de circonférence (cm) [10 ; 18]	]18 ; 36]	> 36
< 5 ans	m	81	13	5
	s (n=6)	17	13	5
	CV	21 %	96 %	87 %
5 - 10 ans	m	80	17	3
	s (n=5)	8	6	3
	CV	10 %	38 %	73 %
10 - 20 ans	m	78	18	4
	s (n=4)	9	6	3
	CV	11 %	36 %	74 %
> 20 ans	m	71	21	8
	s (n=5)	6	4	2
	CV	8 %	2 %	26 %

Tableau VI - Pourcentage de tiges par hectare, par classe d'âge et de circonférence.

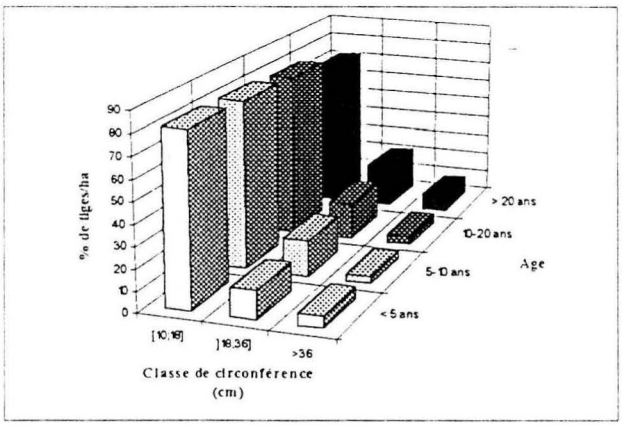


Figure 11 - Répartition des tiges par classe de circonférence.

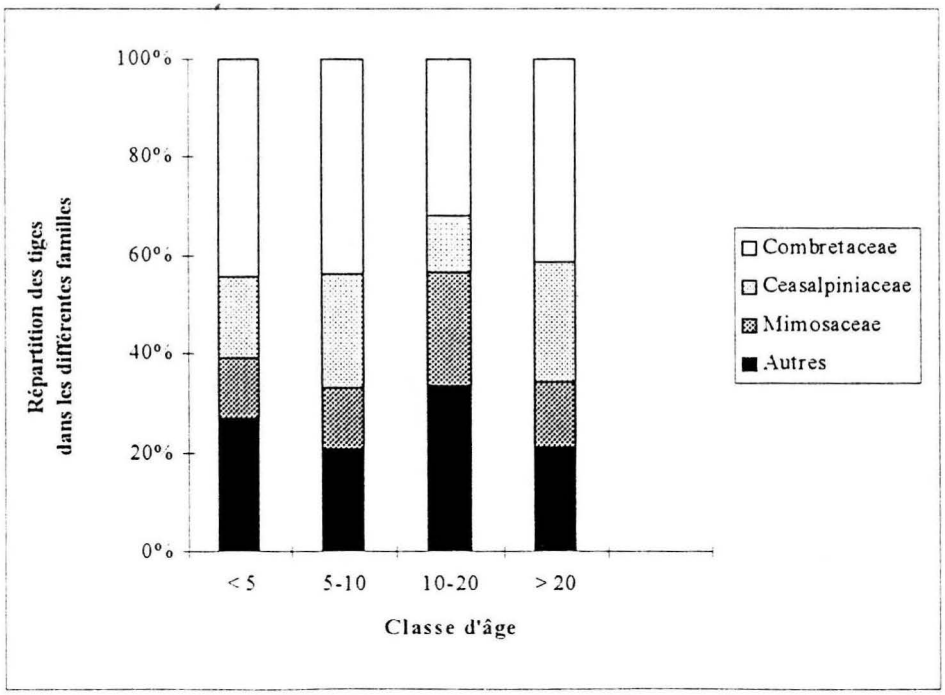


Figure 12 - Répartition des grosses tiges par familles de ligneux (hors arbres à parc).

V. C - Structure du peuplement ligneux :

La structure du peuplement ligneux est donnée par la répartition des grosses tiges des jachères par classe de circonférence à 1,30 mètres. Les classes de circonférences, retenues pour l'étude, sont celles utilisées par le PIRL (BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME., 1988) qui distingue trois catégories de tiges après abattage suivant leur circonférence ("C") à l'extrémité la plus fine des billons : le petit bois ($C_{(cm)} < 18$), le moyen bois ($18 < C_{(cm)} < 36$) et le gros bois ($C_{(cm)} > 36$).

La distribution de fréquence du nombre de tiges dans les différentes classes de circonférences est donnée figure 11 et les résultats sont recensés tableau VI.

Les grosses tiges (de circonférence inférieure à dix-huit centimètres à 1,30 mètres) sont les plus abondantes quelque soit l'âge de la jachère ; elles constituent en moyenne 77% du couvert ($s = 11\%$, $n = 20$). Or les petites tiges sont aussi les plus jeunes ; cette structure démographique peut être due à l'action du feu et des coupes répétées qui induisent la formation de rejets sur des souches vivaces (Kaire, 1996). De nombreuses traces de coupes et de carbonisation ont été, en effet, observées pendant l'inventaire.

L'âge ne semble pas être un facteur déterminant dans la structure du peuplement ligneux des jachères : en effet, pour une même classe de circonférence, on n'observe pas de différence significative (au risque de 5%) de la répartition des tiges d'une classe d'âge à une autre.

Ces résultats sont surprenants dans la mesure où une jachère, dans la région bioclimatique considérée, évolue vers une savane arborée. Au fur et à mesure de son vieillissement, on pourrait donc s'attendre à ce que les effectifs des tiges de circonférence supérieure à trente-six centimètres augmentent au détriment des tiges de dimensions plus petites. L'homogénéité des effectifs observée au sein d'une classe de circonférence quelque soit l'âge de la jachère, souligne l'existence d'une exploitation des tiges de grosses dimensions.

V. D - Richesse en espèces ligneuses des jachères :

Dans l'ensemble des vingt jachères, soixante et une espèces de ligneux appartenant à vingt familles ont été inventoriées. Trois familles : les Combrétacées, les Mimosacées et les Césalpiniacées regroupent 50% des espèces.

V. D. 1. Analyse floristique des grosses tiges :

La répartition des grosses tiges des jachères dans les différentes familles de ligneux, par classe d'âge est donnée figure 12. La famille des Combrétacées est toujours dominante mais de façon moins marquée pour la classe d'âge 10 - 20 ans où elle ne représente que 33% du couvert contre 43% en moyenne dans les trois autres classes. Les Combrétacées ont pour caractéristique de s'adapter au rythme des coupes et des feux (Kaire, 1986). Dans cette famille, les espèces les plus abondantes sont les espèces multicaules : *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis* qui traduisent une exploitation intense. L'usage de ces espèces varie ; ainsi, *Combretum glutinosum* est fortement usité comme bois énergie de même que *Combretum micranthum* que l'on retrouve essentiellement dans les stations dégradées comme les bowé (von Maydell, 1983).

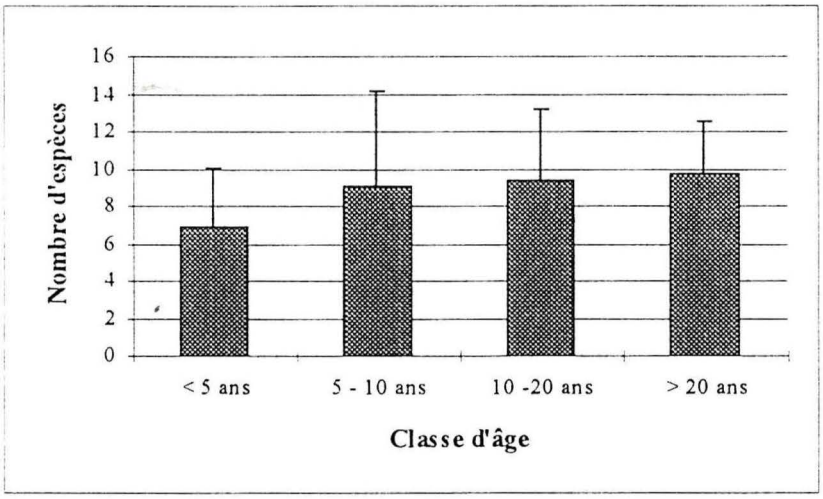


Figure 13 - Richesse en espèces ligneuses des jachères (hors arbres à parc) par classe d'âge.

Le nombre moyen d'espèces ligneuses des jachères par classe d'âge (figure 13) est faible avec un maximum de dix espèces (s = 2 espèces, n=5) pour les jachères de plus de 20 ans. Par ailleurs la richesse floristique des jachères évolue peu dans le temps : les jachères de moins de 5 ans ne contiennent en moyenne que sept espèces différentes, contre neuf pour les jachères ayant entre 5 et 20 ans et dix pour celles de plus de 20 ans. Kaire (1986) considère que la faiblesse relative du nombre d'espèces pourrait être attribuée à la pression anthropique, aux pratiques culturales, ces facteurs étant conjugués avec le pédo-climat.

V. D. 2. Cas des arbres à parc :

Trois espèces d'arbres hérités des parcs arborés sont rencontrés dans les jachères ; ce sont par ordre d'abondance : le Karité (*Vitellaria paradoxa*), le Kapokier (*Bombax costratum*) et le Néré (*Parkia biglobosa*).

Le Karité est présent dans toutes les jachères mais avec une densité variable qui ne semble liée ni à l'âge de la jachère, ni à sa localisation. En moyenne, on observe vingt-trois arbres à l'hectare (s = 24 arbres/ha, n = 20). Des densités similaires ont été trouvées en Nord Côte d'Ivoire avec des variations moyennes de 4,6 arbres/ha pour les jachères de moins de 25 ans à 27 arbres/ha pour les jachères plus âgées (avec un coefficient de variation supérieur à 100%) (Bernard, 1998). Le Karité est visiblement maintenu lors des cycles cultures-jachères. Les parcs arborés visités sur la zone d'étude sont d'ailleurs tous des parcs à Karité ; Bagnoud (1991) mesure dans la même zone bioclimatique du Mali et à l'échelle du terroir villageois, une densité de dix à quinze arbres par hectare en moyenne. Les jachères longues (de plus de 15 ans pour une durée de culture de 30 ans (Serpantié, 1986)) contribuent à l'entretien du parc en assurant le renouvellement des arbres vieillissants. Le beurre de Karité extrait des graines est utilisé localement (dans l'alimentation, en pharmacopée et pour les soins cosmétiques ; exporté, il constitue de plus une source de revenu substantiel notamment pour les femmes (Thies, 1995). Les jachères de moins de 15 ans contribuent autant à la production du Karité que les champs cultivés (Serpantié, 1986).

Le Kapokier est moins abondant (cinq pieds par hectare, s = 7,4 pieds/ha, n = 20). De nombreux pieds abattus ont été retrouvés lors de l'inventaire des jachères. Il est possible que cette espèce soit l'hôte d'un ravageur des cultures de coton (communication personnelle, Mallet). Elle tendrait donc à être éliminée : le kapok contenu dans ses fruits ayant une valeur ajoutée beaucoup plus faible que celle du coton.

Le Néré est présent de façon sporadique (dans deux jachères sur les vingt échantillonnées) et en densité beaucoup plus faible (un pied par hectare). Le fruit du Néré reste largement utilisé dans l'alimentation et la pharmacopée. La fructification de cette espèce pourrait être telle qu'elle assure la consommation des ménages même à faible densité.

V. D. 3. Etude de la régénération :

L'ensemble des espèces inventoriées lors de l'étude des grosses tiges des jachères est retrouvé en régénération ; on observe une densité moyenne de petites tiges de 9 583 pieds par hectare (s = 6415 pieds/ha, n = 20). *Guiera senegalensis* (Combretacée) constitue généralement plus du tiers des effectifs de la régénération (5 224 pieds/ha, s = 5 890 pieds/ha, n = 16) sauf à Markakoungo où d'autres espèces de Combretacées (*Combretum glutinosum* essentiellement) dominent. *Guiera senegalensis* est une espèce pionnière qui se développe sur

	Surface terrière moyenne (m^2/ha) Ecart-type (m^2/ha) ; nombre de placettes (n) Coefficient de variation (CV)			
	< 5 ans	5 - 10 ans	10 - 20 ans	> 20 ans
Banankabougou		**0,42** 0,35 ; *n* = 2 CV = 83 %		**3,12** 0,39 ; *n* = 5 CV = 12,5 % **2,74** 0,74 ; *n* = 5 CV = 27 %
Fougani	**0,72** 0,52 ; *n* = 4 CV = 72 %			
Golotou				**2,84** 2,22 ; *n* = 3 CV = 78 %
Laminibougou			**1,04** 0,32 ; *n* = 4 CV = 31 % **1,88** (*n* = 1) **0,77** 0,55 ; *n* = 4 CV = 71 %	
Markakoungo	**2,61** 0,66 ; *n* = 2 CV = 25 %	**1,82** 0,55 ; *n* = 2 CV = 30 %	**1,78** 0,85 ; *n* = 2 CV = 48 %	**2,71** 2 ; *n* = 7 CV = 74 %
Ndiabougou				**1,56** 0,99 ; *n* = 10 CV = 63,5 %
Ntèga		**2,75** 1,36 ; *n* = 4 CV = 49 % **1,59** 0,7 ; *n* = 2 CV = 44 %		
Oulifièna	**1,38** 1,61 ; *n* = 5 CV = 117 % **1,2** 1, 08 ; *n* = 2 CV = 90 % **1,3** 0,59 ; *n* = 2 CV = 45 % **0,11** (*n* = 1)	**2,22** 1,16 ; *n* = 3 CV = 52 %		
Tous villages confondus	**1,21** 0,93 ; n = 6 CV = 77 %	**1.76** 0,87 ; n = 5 CV = 49 %	**1,37** 0,47 ; n = 4 CV = 34 %	**2.59** 0,6 ; n = 5 CV = 23 %

Tableau VII - Surface terrière des jachères par village et classe d'âge
(*n* : nombre de placettes, n : nombre de jachères).

sol sableux dans des endroits secs ; zoochore[10], elle est souvent indicatrice d'un surpâturage (von Maydell, 1983) et d'une surexploitation agricole.

Le Karité est toujours présent en régénération sauf à Markakoungo et à Golotou. Sa densité en petites tiges varie de 55 pieds par hectare (s = 62 pieds/ha, n = 6) pour les jachères de moins de 5 ans à 144 pieds par hectare (s = 138 pieds/ha, n = 12) pour les jachères de plus de 5 ans. Ces résultats sont beaucoup plus faibles que ceux relevés au Nord Côte d'Ivoire à l'échelle d'un terroir villageois où on observait une densité moyenne de 759 pieds/ha (pour un coefficient de variation proche de 200%) (Bernard, 1998). Cette différence pourrait être due à des cycles cultures-jachères de durée différente : en effet, le Karité est une espèce à croissance lente qui se régénère difficilement en quatre ou cinq ans de jachère (Bagnoud, 1991). La fréquence des feux ou la taille du cheptel sont également des facteurs influençant la régénération de cette espèce.

V. E - La biomasse ligneuse des jachères :

V. E. 1. Etude de la surface terrière des jachères:

La surface terrière est la somme des sections des tiges à 1,30 mètres par hectare. Elle est calculée connaissant les circonférences des tiges à 1,30 mètres des placettes d'un huitième d'hectare. Les tiges de circonférence inférieure à dix centimètres à 1,30 mètres ne sont pas pris en compte : la surface terrière estimée est donc inférieure à la surface terrière vraie.

Les surfaces terrières moyennes des ligneux inventoriés (grosses tiges) sont calculées par jachère ; par abus de langage, on parlera de surface terrière des jachères. Les résultats obtenus sont donnés tableau VII. Les coefficients de variation renseignent sur l'hétérogénéité du couvert (Mémento du forestier, 1989) :

- les coefficients de variation intra-jachères sont en moyenne de 56% (avec un minimum 12,5% et un maximum de 117%) ce qui est faible pour une formation forestière sèche (pour les jachères, les coefficients de variation généralement rencontrés varient de 90 à 110%) et traduit une relativement homogénéité ;

- le coefficient de variation inter-jachères est en moyenne de 44,5%, ce qui traduit une bonne homogénéité des surfaces terrières de l'ensemble des jachères.

La faiblesse des surfaces terrières (moins de 1 m^2/ha) obtenues sur des jachères de Fougani, Banakabougou et Laminibougou est due à l'existence de zones fortement dégradées au sein de ces jachères : les bowé où le sol enduré par plaques devient localement impropre à la croissance et aux développements des ligneux. Les bowé sont ainsi caractérisés par une organisation spatiale de la végétation dite "nucléaire" (alternance de zones de forte densité de végétation et de sol nu) : cette hétérogénéité est soulignée par l'importance relative des coefficients de variation des surfaces terrières de ces jachères.

Que nous apprend l'étude de la surface terrière des jachères par classe d'âge ou suivant le village auquel elles appartiennent ?

[10] Une espèce zoochore est une espèce dont les graines sont disséminées par les animaux, ici le bétail transhumant.

a) Analyse par classe d'âge :

Les surfaces terrières moyennes des jachères par classe d'âge sont données figure 14.

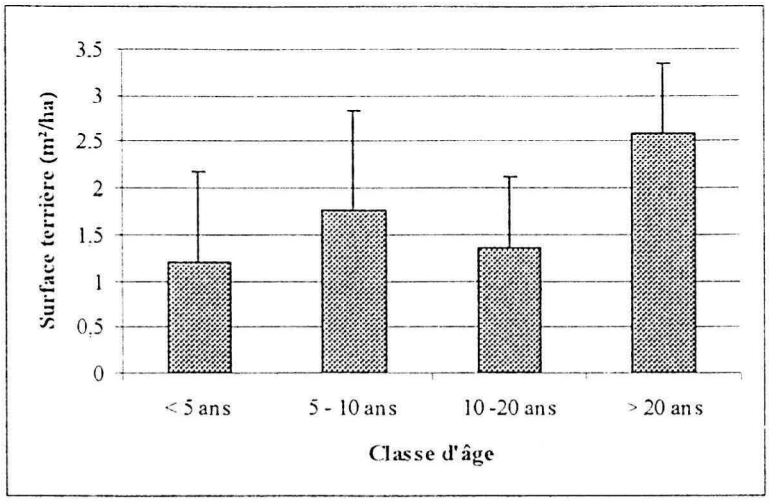


Figure 14 - Surface terrière moyenne des jachères par classe d'âge.

Au vue des résultats obtenus, il n'y a pas de différence significative, au risque de 5%, entre les surfaces terrières des jachères de classes d'âge différentes : on observe une surface terrière moyenne de 1,73 m^2/ha (s = 0,77 m^2/ha, n = 20). Cependant la probabilité P de rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes est très proche du seuil de signification choisie (P = 0,051).

Au risque de 10%, l'hypothèse n'est plus vérifiée : la surface terrière moyenne des jachères de plus de 20 ans de 2,59 m^2/ha (s = 0,6 m^2/ha, n = 5) est alors sensiblement plus élevée que celles des jachères de moins de 20 ans de 1, 44 m^2/ha (s = 0,7 m^2/ha, n = 15). La production et la surface terrière des jachères étant proportionnelle, il semblerait que la production des jachères de plus de 20 ans soit plus importante que celle des jachères plus jeunes.

Ces informations ne sont cependant pas suffisantes pour orienter une politique d'aménagement en vue de rationaliser la gestion du bois énergie : en effet, deux données importantes nous manquent : la productivité des jachères et les taux de prélèvements.

L'interprétation des résultats dépend du risque d'erreur que l'on se fixe *a priori* ; l'interprétation doit donc se faire prudemment et ce d'autant plus qu'il existe un biais important sur l'âge présumé des jachères. Dans notre zone, il semblerait que l'âge ne puisse être considéré à lui seul comme un facteur explicatif du volume de bois des jachères.

b) Analyse par village :

Les surfaces terrières moyennes des jachères par village sont représentées figure 15 toutes classes d'âge confondues en (a), sans les jachères de plus de 20 ans qui semblent avoir des surfaces terrières plus importantes en (b).

	Hauteur dominante moyenne (cm) Ecart-type (cm) ; nombre de placettes (n) Coefficient de variation (CV)			
	< 5 ans	5 - 10 ans	10 - 20 ans	> 20 ans
Banankabougou		**252** 16 ; *n* = 2 CV = 6 %		**463** 45 ; *n* = 5 CV = 10 % **407** 54 ; *n* = 5 CV = 13 %
Fougani	**250** 29 ; *n* = 4 CV = 12 %			
Golotou				**353** 131 ; *n* = 3 CV = 37 %
Laminibougou			**313** 24 ; *n* = 4 CV = 8 % **331** (*n* = 1) **276** 54 ; *n* = 4 CV = 20 %	
Markakoungo	**309** 23 ; *n* = 2 CV = 7 %	**370** 4 ; *n* = 2 CV = 1 %	**377** 44 ; *n* = 2 CV = 12 %	**393** 77 ; *n* = 7 CV = 20 %
Ndiabougou				**332** 109 ; *n* = 10 CV = 33 %
Ntèga		**406** 28 ; *n* = 4 CV = 79 % **326** 1 ; *n* = 2 CV = 0.3 %		
Oulifièna	**373** 141 ; *n* = 5 CV = 38 % **327** 63 ; *n* = 2 CV = 19 % **345** 18 ; *n* = 2 CV = 5 % **204** (*n* = 1)	**368** 52 ; *n* = 3 CV = 14 %		
Tous villages confondus	**294** 68 ; n = 6 CV = 21 %	**344** 59 ; n = 5 CV = 17 %	**324** 42 ; n = 4 CV = 13 %	**390** 51 ; n = 5 CV = 13 %

Tableau VIII - Hauteur dominante des jachères par village et classe d'âge (*n* : nombre de placettes, n : nombre de jachères).

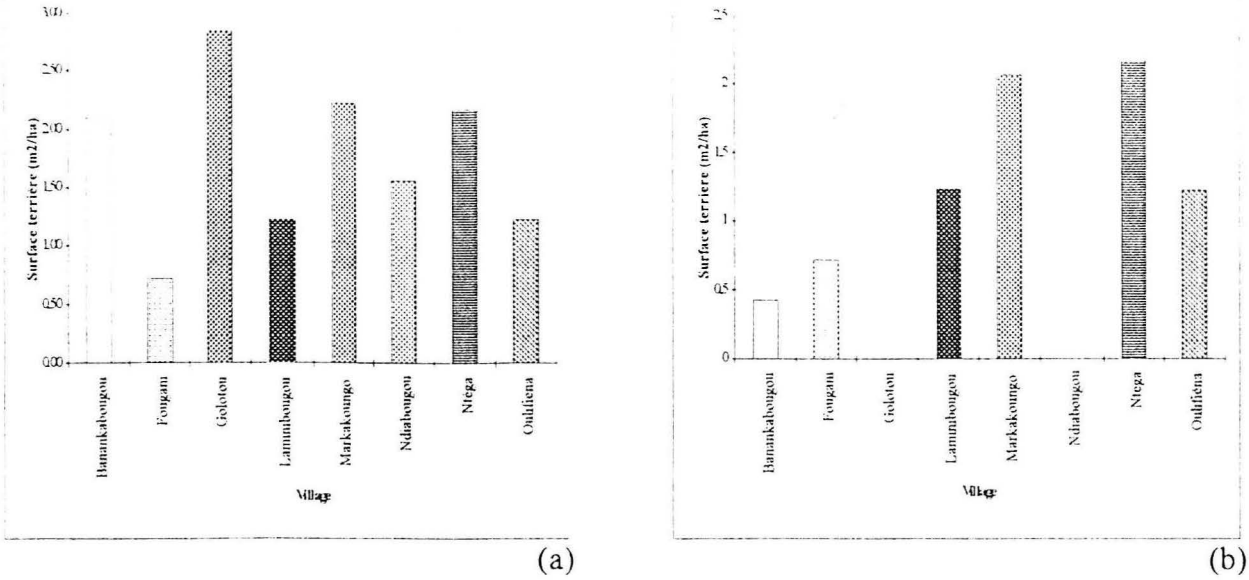


Figure 15 - Surface terrière moyenne des jachères par village toutes classes d'âge confondues (a), sans les jachères de plus de 20 ans (b).

La surface terrière moyenne des jachères des villages situés au sud de l'axe Bamako-Ségou : Ntéga, Golotou, Laminibougou et Markakoungo est sensiblement plus importante (2,12 m^2/ha) que celle des villages situés au nord (1,46 m^2/ha) (figure 15 (a)). L'organisation villageoise évoquée dans un paragraphe précédent et caractérisée par un habitat plus dispersé au sud de l'axe goudronné pourrait en être la cause. En effet, on peut penser que moins l'habitat est dense et moins la pression anthropique sur la ressource ligneuse en un point donné, est importante.

La figure 15 (b) considère l'ensemble des jachères de moins de 20 ans. Nous avons vu que d'une classe d'âge à une autre, les surfaces terrières moyennes de ces jachères ne sont pas significativement différentes. Or quand on considère les surfaces terrières moyennes des jachères par villages, on observe une variation de 0,42 m^2/ha à Banankabougou à 2,17 m^2/ha à Ntèga. Il semblerait donc que le facteur village détermine en partie la surface terrière et donc la production des jachères du terroir correspondant. Cependant, ce facteur regroupe à lui seul beaucoup d'autres facteurs dont la démographie, la position du village aux axes de communication, l'importance du cheptel, la superficie du terroir... Les jachères étant des formations fortement anthropisées, ces différents facteurs orientent sûrement de façon déterminante leur évolution. L'étude telle que nous l'avons menée ne permet pas de donner de réponses plus précises : le réalisation d'enquêtes socio-économiques seraient nécessaires pour compléter et interpréter les inventaires des ressources ligneuses.

V. E. 2. Etude de la hauteur dominante des jachères :

La hauteur dominante des jachères correspond à la hauteur moyenne des cents plus gros arbres à l'hectare soit des treize plus gros arbres sur une placette d'un huitième d'hectare.

Les hauteurs dominantes moyennes des grosses tiges sont calculées par jachère ; là encore, on parlera de hauteur dominante moyenne des jachères. Les résultats obtenus sont donnés tableau VIII. Les coefficients de variations traduisant l'hétérogénéité inter-jachère pour le facteur hauteur dominante, sont faibles (de 1 à 38%) au regard de ceux obtenus pour

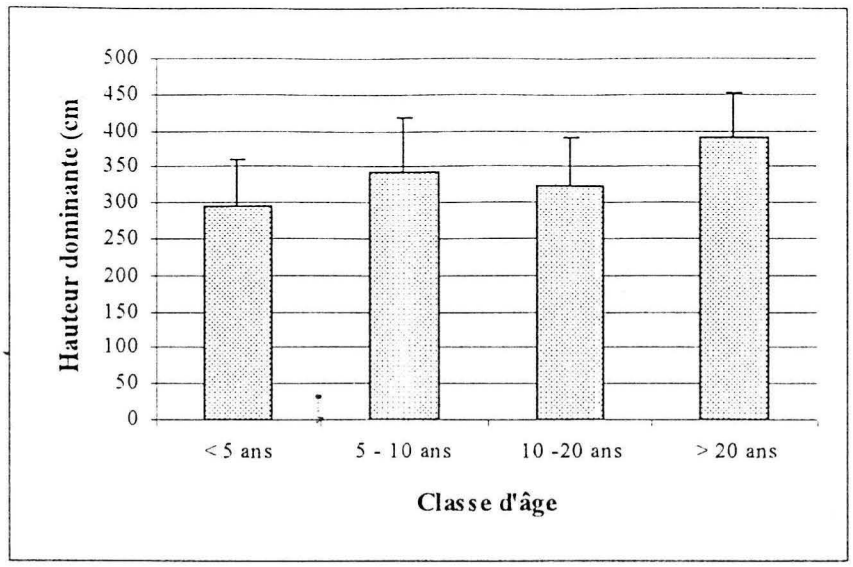


Figure 16 - Hauteur dominante moyenne des jachères par classe d'âge.

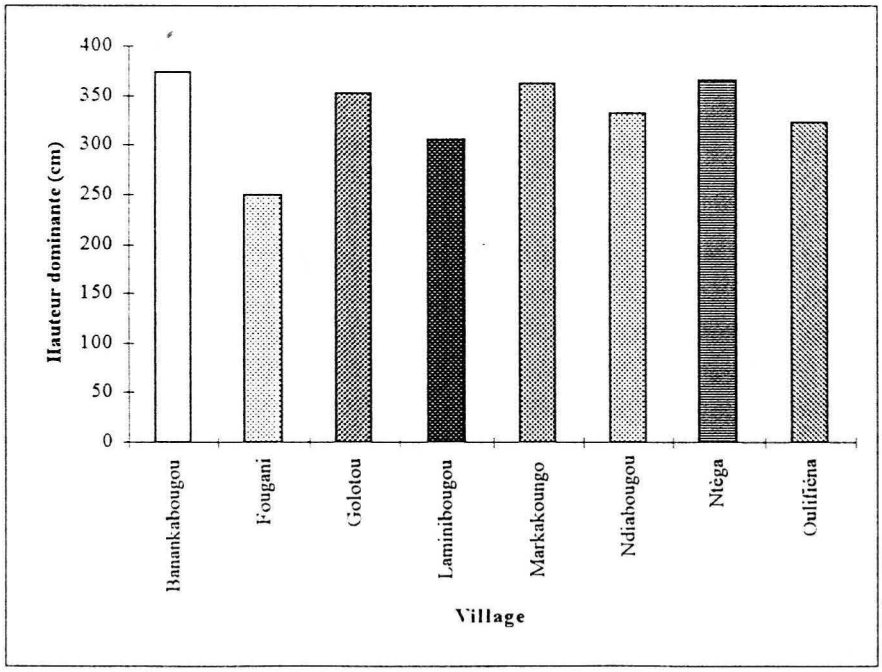


Figure 17 - Hauteur dominante moyenne des jachères par village.

la surface terrière. La méthode de mesure "à l'oeil" a probablement conduit à diminuer l'échelle de variation des hauteurs estimées par rapport à celle des hauteurs vraies.

Peut-on définir la hauteur dominante d'une jachère connaissant son âge ou sa localisation ?

a) Analyse par classe d'âge :

La figure 16 donne une représentation des hauteurs dominantes moyennes des jachères par classe d'âge.

La hauteur dominante moyenne des jachères est de 338 centimètres (s = 52 cm, n = 20) (au risque 5%, on n'observe pas de différence significative entre les différentes classes d'âge). Par contre, pour une risque d'erreur fixé à 10%, la hauteur dominante moyenne de 294 centimètres, des jachères de moins de 5 ans, est plus faible que celle de 353 centimètres des jachères de plus de 5 ans (s = 55 cm, n = 14). Au delà de cinq ans, la hauteur dominante des jachères semble se stabiliser à une valeur seuil qui caractérise la possibilité intrinsèque de production ligneuse de la station (dite capacité xylogénique) sur laquelle les jachères sont implantées (Mémento du forestier, 1989). Sachant que les conditions pédologiques et climatiques sont sensiblement les mêmes sur l'ensemble de la zone, cette potentialité de production est liée au peuplement lui-même : espèces en présence, fréquence des feux...

b) Analyse par village :

La répartition des hauteurs dominantes par village (figure 17) est beaucoup plus homogène que celle des surfaces terrières (figure 15) : nous avons vu que la méthode de mesure utilisée en était probablement la raison.

Seul le village de Golotou semble se différencier des autres ; or la seule jachère échantillonnée sur son terroir est une jachère de moins de 5 ans, âge à laquelle les jachères semblent avoir une capacité xylogénique moindre. La faible valeur de la hauteur dominante moyenne de la jachère de Golotou serait donc due à son âge plus qu'à sa localisation.

V. E. 3. Etude combinée de la surface terrière et de la hauteur dominante :

Dans les paragraphes ci-dessus, nous avons comparé les valeurs moyennes des caractéristiques dendrométriques (surface terrière et hauteur dominante) obtenues pour chaque classe d'âge. Nous avons vu qu'il n'était pas possible d'associer un couple différent de valeurs estimées : surface terrière, hauteur dominante, à chaque classe d'âge. Si tel avait été le cas, par inversion, il aurait été possible, connaissant l'âge d'une jachère (située dans des conditions bioclimatique et pédo-morphologique similaires à notre zone d'étude) d'estimer ses caractéristiques dendrométriques (et donc sa production ligneuse via un tarif de cubage).

Les variables dendrométriques considérées isolément ne peuvent pas caractériser le facteur "âge de la jachère" ; par contre, la combinaison linéaire de ces deux variables pourrait être une source d'informations supplémentaires. C'est ce que nous avons cherché à savoir en faisant une analyse factorielle discriminante. Il s'agit de définir si l'association des deux variables statistiques : "surface terrière" et "hauteur dominante" suffit à la discrimination des populations "classes d'âge".

Les résultats de l'analyse factorielle discriminante indiquent :

- que le maximum d'informations disponibles pour la discrimination des différentes classes d'âge est contenu par la variable "surface terrière",

- que l'association de cette dernière avec la variable "hauteur dominante" ne permet pas de caractériser les jachères suivant leur appartenance à une classe d'âge.

Ces résultats ne signifient cependant pas que la discrimination des jachères par classe d'âge ne peut pas se faire à l'aide des deux variables étudiées mais plutôt que les données dont nous disposons sont insuffisantes pour conclure.

VI. SYNTHESE ET DISCUSSION :

Les résultats du pré-inventaire nous ont permis de décrire les ligneux rencontrés dans les jachères de notre zone (densité, structure du peuplement, richesse floristique) nous ne reviendrons pas dans ce paragraphe sur ces résultats, le sujet de notre étude étant avant tout à visée méthodologique.

VI. A - Echelles de validité des résultats :

La surface terrière mesurée sur l'ensemble des placettes est une variable régionalisée c'est-à-dire rapportée à une unité de surface du sol (m^2/ha).

L'estimation de cette variable se fait sur des placettes de taille définie. Dans quelle mesure cette estimation peut-être extrapolée à des échelles plus importantes (jachère, terroir villageois, région) ?

Chaque jachère est échantillonnée de façon systématique par layonnage. Théoriquement, les résultats obtenus sur l'ensemble des placettes d'une même jachère donne une estimation de la surface terrière de la jachère avec un intervalle de confiance obtenu pour un seuil de probabilité choisi. La précision de l'estimation (c'est-à-dire la taille de l'intervalle de confiance) est d'autant plus forte que le nombre de placettes par jachère est important (elle est inversement proportionnelle à $\sqrt{n}$). Certaines jachères échantillonnées avaient des surfaces telles qu'il n'était possible d'y implanter qu'un nombre limité de placettes (voir une seule pour une jachère d'Oulifièna et de Laminibougou). La méthode d'échantillonnage par layonnage (taille des placettes, espacement des placettes d'un même layon et des layons entre eux) est héritée des inventaires des ressources ligneuses forestières qui s'étendent sur plusieurs centaines d'hectares. Elle ne semble pas s'adapter au mieux à la faible superficie des jachères (dix hectares en moyenne). Pour optimiser la méthode d'inventaire, il conviendrait de reprendre le protocole d'échantillonnage soit en réduisant les espacements inter-layons ou (et) inter-jachères en veillant à ce que les mesures ne soient pas corrélées entre elles, soit en diminuant la taille des placettes mais de façon à tenir compte de la structure nucléaire des formations diffuses.

A priori, pour chaque village, l'ensemble des jachères du terroir a été échantillonné. Toutefois, nous avons vu qu'il était fort probable que certaines jachères ne nous aient pas été mentionnées. Il peut donc sembler difficile, par manque d'information, de donner une estimation de la surface terrière des jachères pour un terroir villageois. Les travaux réalisés à cette échelle (D. Bazile, C. Bernard, thèses à paraître courant 1998) ont d'ailleurs une

approche méthodologique bien différente qui passe notamment sur une cartographie du cadastre villageois et par la réalisation d'enquêtes de terrain. Une telle démarche, beaucoup plus précise, nécessite aussi plus de temps et un coût important mais elle requière aussi la participation des villageois et tend sûrement à diminuer les problèmes d'incompréhension et de prudence que nous avons rencontrés.

L'extrapolation des résultats à l'échelle régional ou plus exactement à l'échelle d'une région bioclimatique (en Afrique sahélienne, les conditions climatiques et les précipitations plus particulièrement sont le facteur limitant de la croissance te du développement des végétaux) est traitée dans le paragraphe suivant.

VI. B - Du pré-inventaire à l'inventaire :

L'évaluation de la ressource ligneuse des jachères par inventaire est indirecte : la mesure ne porte pas sur le volume de bois à l'hectare mais sur la surface terrière du peuplement ligneux étudié. La surface terrière est donc le critère d'échantillonnage dont les caractéristiques statistiques (le coefficient de variation, notamment) conditionnent les paramètres du plan de sondage (taille de l'échantillon, taux de sondage).

La variabilité moyenne de la surface terrière intra-jachère est plus forte que celle inter-jachère (respectivement 56% contre 44,5%). Il nous semble donc plus approprié d'étudier le critère d'échantillonnage à l'échelle de la placette qu'à celle de la jachère.

Le coefficient de variation moyen de la surface terrière obtenu sur les 70 placettes est de 56%. La taille N de l'échantillon de l'inventaire est donnée par la formule ci-dessous (Mémento du forestier, 1989) :

$$N = t^2_{n-1,p} \frac{CV^2}{e^2} \quad (1)$$

où **e** est l'erreur admise sur l'estimation au seuil de probabilité p,

et **t** est donné par la table de Student pour un seuil de probabilité p et un degré de liberté (n-1) donnés.

Choisissons par exemple :

- une précision de 10% (e=10), marge d'erreur acceptable pour les estimations globales de volume de bois de feu,
- un seuil de probabilité de 95 % (p=95),

alors : $t_{69,95\%} = 1,96$ et par (1), N = 120,5 soit <u>121 placettes au total</u>.

La réalisation d'un inventaire de la biomasse ligneuse des jachères de notre zone nécessitera l'échantillonnage de N-n placettes supplémentaires soit 51 placettes supplémentaires.

Sachant que la superficie totale des jachères est de 4 126 hectares et que chaque placette à une superficie de 0,125 hectares, l'inventaire des 121 placettes couvrira une surface de 15,125 hectares ce qui représentera un taux de sondage de 0,37%.

Le pré-échantillonnage a porté sur huit villages, vingt jachères, soixante-dix placettes ; en moyenne, on observe 3,5 placettes par jachère et 2,5 jachère par village. Pour mener à bien l'inventaire des ressources ligneuses des jachères, il faudra échantillonner environ quinze

jachères et donc sélectionner au moins six villages. Pour que l'inventaire soit représentatif, ces villages devront être répartis sur l'ensemble de la zone d'étude : un tirage systématique permettrait une exploration maximale de la zone et un traitement statistique des résultats obtenus.

VI. C - Vers une typologie des jachères ?

Le pré-inventaire nous permet-il de dresser une première classification des jachères c'est-à-dire d'attribuer aux jachères, suivant leurs caractéristiques intrinsèques et extrinsèques, une surface terrière estimée ?

Deux facteurs influençant *a priori* la biomasse ligneuse des jachères ont été étudiés : l'âge relatif de la jachère et sa localisation.

Les résultats statistiques obtenus par pré-inventaire indiquent :

- qu'aucun de ces deux facteurs, considérés séparément, n'influence de façon significative la production ligneuse des jachères,

- que le facteur âge constitue une source d'informations plus importante à la discrimination des jachères suivant leur production que l'appartenance de la jachère à tel ou tel village.

Il convient cependant de nuancer notre interprétation :

- l'âge des différentes jachères est donné de façon approximative, une marge d'erreur d'au moins 5 ans paraît vraisemblable,

- le facteur "localisation" regroupe un ensemble de facteurs relatifs au terroir et à sa gestion sans pour autant en rendre compte c'est-à-dire sans qu'il soit possible de rassembler chacun de ces facteurs, que l'on pourrait qualifier d'anthropiques, en un seul facteur "localisation".

Quels sont les solutions envisageables pour optimiser les inventaires de la ressource ligneuse des jachères ?

Pour déterminer plus précisément l'âge de la jachère échantillonnée, Kaire (1986) préconise le comptage des cernes sur des espèces où elles sont bien visibles comme *Combretum glutinosum* ou à défaut, *Piliostigma thonningii*. Ceci nécessite de trouver des tiges qui ont poussé les premières années de la jachère, ce qui n'est pas toujours évident dans les zones à forte pression anthropique où le rajeunissement du peuplement est permanent. Une autre solution consiste à augmenter la taille des classe d'âge des jachères (moins de 5 ans, de 5 à 20 ans et plus de 20 ans, par exemple) sachant que la précision sur l'âge des jeunes jachères est certainement meilleure que pour les jachères plus âgées.

Mieux définir le facteur "localisation" c'est-à-dire tenir compte de la pression anthropique, impose de connaître un certain nombre d'informations relatives au terroir et à son organisation (recensement, taille du cheptel, surface du terroir cultivé par rapport à la surface totale du terroir villageois, cultures vivrière et de rente réalisées...). Ces informations peuvent être issues de différentes sources : publique, pour le recensement par exemple, ou privée : notamment auprès de la CMDT au Mali qui dispose de moyens suffisants pour réaliser des études à grandes échelles. Elles peuvent aussi être obtenues grâce à une pré-enquête réalisée sur un nombre limité de villages, représentatifs de l'ensemble des villages de

la zone à étudier.

Une méthode d'évaluation de la ressource ligneuse des jachères si elle veut être précise, ne doit pas se limiter à une adaptation des méthodes d'inventaires forestiers aux caractéristiques spatio-temporelles des formations diffuses ; elle doit être complétée par une approche socio-économique rendant compte du contexte dans lequel les ligneux des jachères évoluent.

Conclusion.

CONCLUSION :

Notre étude visait à évaluer la faisabilité d'un inventaire de la ressource ligneuse des jachères à l'échelle régionale ; c'est une contribution à la mise au point d'une méthode d'évaluation de cette ressource. Notre travail a consisté à mettre en place un pré-inventaire testé sur les jachères d'une zone d'une centaine de milliers d'hectares, située au nord-est de Bamako au Mali, dans la région cotonnière gérée par la CMDT. Ce pré-inventaire a pour but de fournir un certain nombre d'informations pour développer un inventaire plus complet.

Sur les photographies aériennes, les jachères se présentent comme un patchwork de petites unités d'une dizaine d'hectares en moyenne disséminées sur l'ensemble des terroirs villageois. Sur le terrain, les formations végétales des jachères apparaissent comme fortement hétérogènes dans leur densité, leur cortège floristique, la nature de la strate ligneuse dominante (arbustive ou arborée). Ces formations sont soumises à une évolution constante et rapide sous l'action de l'homme (exploitation du bois et des produits de cueillette, pâturage des troupeaux transhumants) et des feux.

L'établissement d'un inventaire ou d'un pré-inventaire de la ressource ligneuse des jachères nécessite de localiser les unités à étudier afin de réaliser un plan de sondage puis d'interpréter et d'extrapoler les résultats statistiquement obtenus. A l'échelle régionale, la télédétection (aérienne ou satellitaire) est l'outil classiquement utilisé pour l'étude des formations ligneuses naturelles. La photographie aérienne panchromatique noir et blanc au 1/50 000 disponible pour cette étude semble cependant peu adaptée à la cartographie de la ressource ligneuse diffuse des jachères. D'une part, la structure spatiale (répartition et taille) des unités de végétation figure mal à cette échelle. D'autre part, la dynamique d'évolution des formations végétales demande une périodicité de l'information suffisante pour assurer l'obtention (prise de vue) et le traitement (photo-interprétation) de celle-ci en une ou deux années. Il serait nécessaire de tester des outils fournissant des données cartographiques ayant une échelle plus fine (photographies au 1/10 000, par exemple) et une bonne répétitivité (image satellite haute résolution).

Les caractéristiques de l'inventaire des formations ligneuses par layonnage (taille des unités d'échantillonnage, distances inter-layons et inter-placettes) utilisées dans notre étude sont celles usitées pour les inventaires des ressources ligneuses en zone sèche. Un tel choix est notamment motivé par un souci d'homogénéisation des méthodes en vue d'une comparaison des résultats. Ces caractéristiques de layonnage ne cadrent pas avec la faible superficie des jachères. Il conviendrait de diminuer les écartements inter-layons et inter-placettes ou diminuer la taille des unités d'échantillonnage.

Le pré-inventaire réalisé ici utilise une méthode d'échantillonnage simple. Une optimisation de la méthode d'inventaire pourrait être obtenue en réalisant un échantillonnage stratifié. La stratification s'appuie sur une classification des unités à échantillonner. Cette typologie s'établit connaissant les facteurs influençant les caractéristiques mesurées (ici, la surface terrière) et leur poids respectif. Nous avons étudié deux facteurs jouant sur la biomasse ligneuse des jachères : l'âge de la jachère et son appartenance à tel ou tel village. Il semblerait qu'aucun de ces deux facteurs n'influence de façon significative la production ligneuse des jachères.

Ces résultats témoignent :

- de l'intensité de l'exploitation des ligneux de la zone étudiée qui impose au peuplement végétal un rajeunissement permanent,

- de la nécessité de mener une étude approfondie des facteurs anthropiques qui ne peuvent être résumés à un seul facteur "localisation".

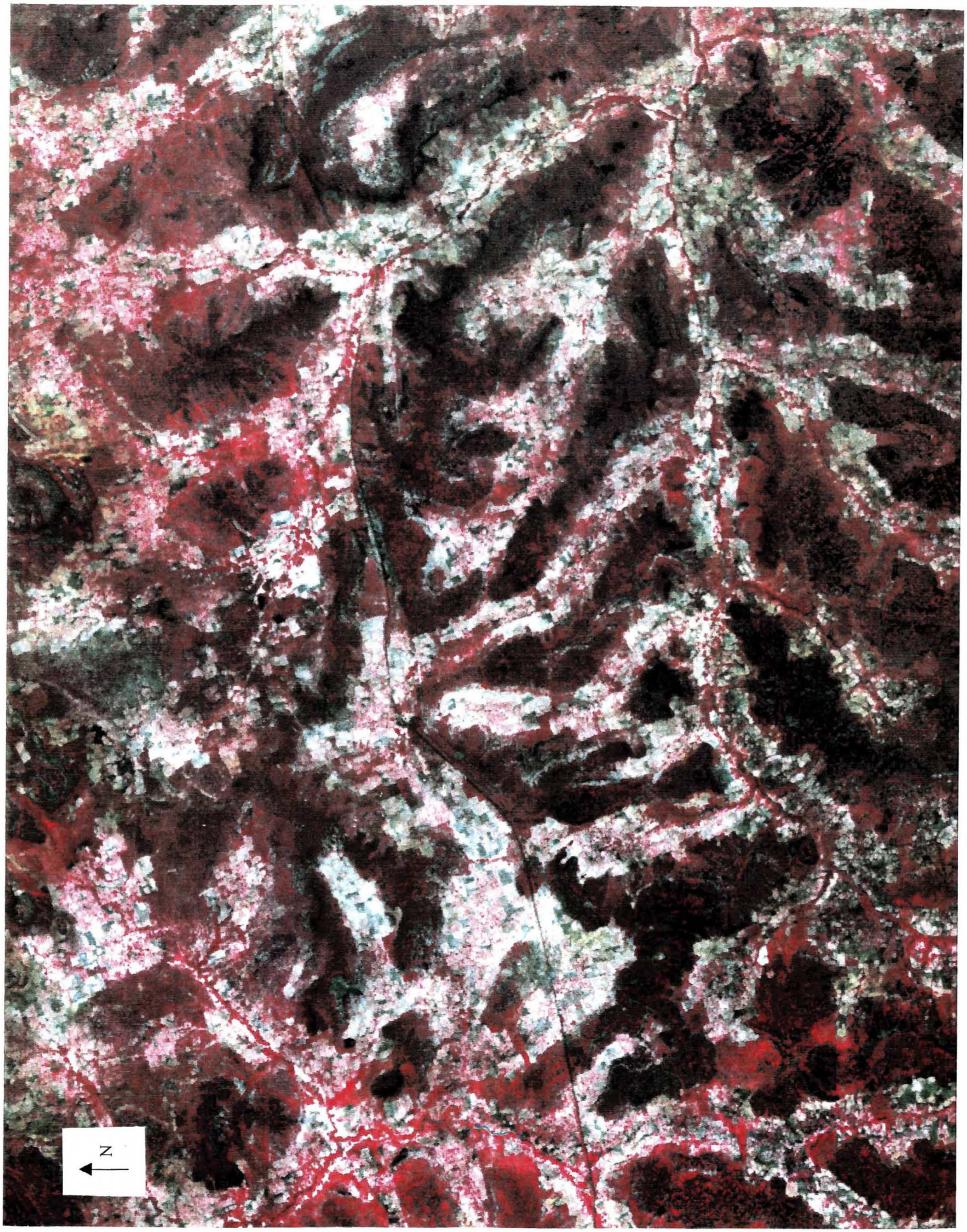
La réalisation d'une typologie des jachères ne peut donc se limiter à une description morphologique du couvert, elle doit intégrer une étude évolutive du peuplement c'est-à-dire son histoire au sein d'un terroir villageois.

Le terme jachère ne décrit pas un type de formation végétale mais un mode d'occupation du sol. De ce fait, l'état de la ressource ligneuse et son évolution sont fortement liés aux activités humaines du terroir villageois dont dépendent les jachères. Une autre approche méthodologique pourrait consister à réaliser un échantillonnage à deux degrés dans lequel les villages et leur terroir villageois constitueraient le premier degré de l'échantillonnage et les jachères du terroir villageois le second degré.

Notre étude, en tant que travail préliminaire à l'élaboration d'une méthode de sondage proprement dite a tenté d'adapter les méthodes déjà disponibles pour l'échantillonnage des ressources ligneuses forestières, à la ressource ligneuse diffuse. Nous avons observé que les particularités de ces techniques de sondage (outils cartographiques, caractéristiques de layonnage) ne permettent pas une étude optimale de la ressource ligneuse "hors forêt". Nous avons également noté que l'évolution des caractéristiques dendrométriques des ligneux des jachères ne dépend pas que des caractéristiques intrinsèques de celles-ci mais relève pour beaucoup du finage villageois auquel elles appartiennent et de son histoire. Aussi donc, évaluer la ressource ligneuse diffuse ne peut se faire de façon précise par une approche purement forestière mais doit intégrer une dimension socio-économique forte. Les enquêtes épidémiologiques qui tendent à faire le lien entre l'évolution d'un facteur (pathologie) et les variables physiques et humaines du milieu environnant pourraient initier des pistes de recherche dans ce sens.

Annexe I.

Annexe I : Composition colorée Landsat (TM4, TM3, TM2) de notre zone d'étude datant de mai 1994, échelle 1/200 000.



Annexe II.

ANNEXE II :

Le système NAVSTAR (NAVigation System by Timing And Rancing) GPS (Global Positionning System) ou système GPS permet de déterminer la position de tout point de la terre.

Pour cela, il est nécessaire de connaître les distances séparant le récepteur GPS d'au moins trois satellites (triangulation). Ces distances **x** sont définies en mesurant le temps **Dt** mis par un signal, émis par un satellite et caractéristique de celui-ci, pour parvenir au récepteur GPS, en supposant que l'onde se propage à la vitesse de la lumière (v=300 000 km/s) soit x=v.Dt.

La précision de la mesure dépend **d'une part** :

- du type de récepteur GPS utilisé qui traite partiellement ou entièrement l'information des signaux radio émis par les satellites,

- du nombre de récepteurs utilisés : GPS en mode absolu (un seul récepteur GPS) ou en mode différentiel (deux récepteurs GPS),

d'autre part, des conditions dans lesquelles sont effectuées les mesures :

- des conditions imposées sur le terrain : présence ou non d'obstacles (constructions, couvert végétal plus ou moins dense...),

- des conditions évoluant en fonction du temps (nombre de satellites en contact avec le récepteur GPS, géométrie de la constellation des satellites appréciée par le PDOP (Position Dilution Of Precision)),

- des conditions induites par la stratégie d'échantillonnage : nombre de répétitions de la mesure et temps de latence entre chaque répétition.

Pour limiter au maximum les erreurs de mesure, il convient de se placer dans de bonnes conditions : nombre de satellites supérieur ou égal à trois, PDOP inférieur ou égal à deux et satellites au moins à quinze degrés au dessus de l'horizon (pour atténuer les effets parasites induits par réfraction et réflexion). Chaque mesure doit être répétée au moins trois fois. Dans ces conditions le précision obtenue varie de 0,5 m à 5 m pour un GPS différentiel et de 30 m à 100 m pour un GPS absolu.

Cette note de synthèse a été élaborée à partir du document "Les GPS - Principes de fonctionnements et conseils d'utilisation." réalisé par Freycon (1996).

Annexe III.

Village :		**Equipe :**	**Date de la mesure :**
Jachére n°	**Lavon n°**	**Placeau n°**	
Type de végétation :			
Type de sol en surface :			
Age moyen de la jachére :			

Tiges de circonférence supérieure à 10cm à 1,30m et arbres hérités :

Essences	N° de souche	N° de brin	Hauteur (cm)	Circonf. base (cm)	Circonf. 1,30 m (cm)	Profondeur du houppier	Couronne (cm)	
							Est-Ouest	Nord-Sud

Régénération :

Essences	Nombre de brins

Annexe IV.

ANNEXE IV :

Les résultats obtenus sur la surface terrière et la hauteur dominante des jachères par classe d'âge ont été interprétés statistiquement par analyses de variance à plan d'échantillonnage homogéne (nombre identique de jachères par classe d'âge) et par analyse factorielle discriminante.

Ces traitements statistiques ont été réalisés grâce à un logiciel informatique Statitcf mais leur fondement ne sera pas détaillé ici. Les résultats des analyses statistiques sont donnés ci-après.

De plus amples informations peuvent être obtenues en consultant les ouvrages cités dans les références bibliographiques qui suivent :

- pour l'analyse de variance :

Gouet (J. P.), Philippeau (G.) – 1992 – *Comment interpréter les résultats d'une analyse de variance ?* ITCF, Paris (France), 47p.

- pour l'analyse factorielle discriminante :

Tomassone (R.) – 1988 – *Analyse factorielle discriminante, comment interpréter les résultats ?* ITCF, Paris (France), 56p.

***** A N A L Y S E D E V A R I A N C E *****

TITRE : surface terriere/cl.age

NOMBRE D' OBSERVATIONS : 20 NOMBRE DE VARIABLES : 3
1.clage / 2.REPET / 3.surft /

DISPOSITIF DE L'ESSAI : RANDOMISATION TOTALE
==========

FACTEUR 1 = 4 classe d'ages
1 = < 5 ans (<5) 2 = 5 - 10 ans (-10) 3 = 10 - 20 ans (-20) 4 = > 20 ans (>20)

5 REPETITIONS

1 VARIABLE(S) A ANALYSER
==========
1re VARIABLE : (surft) surface terriere

LISTE DES OBSERVATIONS ANALYSEES
---
* = donnée estimée

OBS. No	IDENT. No	PARC. No	F.1	------ VARIABLES ----- surft
1	11	0	<5	0.72
2	12	0	<5	2.61
3	13	0	<5	1.38
4	14	0	<5	1.25
5	15	0	<5	0.11
6	21	0	-10	0.42
7	22	0	-10	1.82
8	23	0	-10	2.75
9	24	0	-10	1.59
10	25	0	-10	2.22
11	31	0	-20	1.04
12	32	0	-20	1.88
13	33	0	-20	0.77
14	34	0	-20	1.78
15	35	0	-20	1.37*
16	41	0	>20	3.12
17	42	0	>20	2.74
18	43	0	>20	2.84
19	44	0	>20	2.71
20	45	0	>20	1.56

ANALYSE DE LA 1re VARIABLE : surface terriere (surft)
==========

HISTOGRAMME DES RESIDUS VARIABLE surft : surface terriere
==========

```
10 I      13
 9 I      14
 8 I      22
 7 I      25
 6 I      32
 5 I   11 34
 4 I   24 41
 3 I 15 31 42
 2 I 21 33 43 12
 1 I 45 35 44 23
   I----------------
```

EFFECTIFS 3 5 10 2

BORNES -1.34 0.03 1.40
-0.66 0.71

MINIMUM : -1.34 MAXIMUM : 1.40 INTERVALLE : 0.68

INDICES DE NORMALITE (coefficients de K.PEARSON)

SYMETRIE (valeur idéale théorique = 0) : BETA 1 = 0.03 PROBA = 0.7208
APLATISSEMENT (valeur idéale théorique = 3) : BETA 2 = 2.85 PROBA = 0.8806

RESIDUS SUSPECTS (méthode de GRUBBS)

NEANT

TABLEAU DES ECARTS-TYPES DES RESIDUS
==========

ECARTS-TYPES FACTEUR 1 = classe d'ages

F 1 : 1 (<5) 2 (-10) 3 (-20) 4 (>20)
0.93 0.87 0.47 0.60

KHI2 = 2.01 PROBA = 0.5736

ANALYSE DE VARIANCE
==========

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14.52	18	0.81				
VAR.FACTEUR 1	5.72	3	1.91	3.25	0.0510		
VAR.RESIDUELLE 1	8.80	15	0.59			0.77	44.2%

TABLEAU DES MOYENNES
==========

MOYENNE GENERALE = 1.73

MOYENNES FACTEUR 1 = classe d'ages

F 1 : 1 (<5) 2 (-10) 3 (-20) 4 (>20)
1.21 1.76 1.37 2.59

PUISSANCE DE L'ESSAI
==========

FACTEUR 1 : classe d'ages

	RISQUE de 1ere ESPECE		
ECARTS	5%	10%	20%
en % V.Absolue	PUISSANCE A PRIORI		
5.00% 0.09	5%	10%	20%
10.00% 0.17	6%	11%	21%
	PUISSANCE A POSTERIORI		
Moyennes observées	66%	77%	88%

***** A N A L Y S E D E V A R I A N C E *****

TITRE : hteur dominante/cl.age

NOMBRE D' OBSERVATIONS : 20 NOMBRE DE VARIABLES : 3
1.clage / 2.REPET / 3.hteur /

DISPOSITIF DE L'ESSAI : RANDOMISATION TOTALE
==========

FACTEUR 1 = 4 classe d'age
1 = < 5 ans (<5) 2 = 5 - 10 ans (-10) 3 = 10 - 20 ans (-20) 4 = > 20 ans (>20)

5 REPETITIONS

1 VARIABLE(S) A ANALYSER
==========
1re VARIABLE : (hteur) hteur dominante

LISTE DES OBSERVATIONS ANALYSEES
---
* = donnée estimée

OBS. No	IDENT. No	PARC. No	F.1	------ VARIABLES ----- hteur
1	11	0	<5	250.00
2	12	0	<5	309.00
3	13	0	<5	373.00
4	14	0	<5	336.00
5	15	0	<5	204.00
6	21	0	-10	252.00
7	22	0	-10	370.00
8	23	0	-10	406.00
9	24	0	-10	326.00
10	25	0	-10	368.00
11	31	0	-20	313.00
12	32	0	-20	331.00
13	33	0	-20	276.00
14	34	0	-20	377.00
15	35	0	-20	324.25*
16	41	0	>20	463.00
17	42	0	>20	407.00
18	43	0	>20	353.00
19	44	0	>20	393.00
20	45	0	>20	332.00

ANALYSE DE LA 1re VARIABLE : hteur dominante (hteur)
==========

HISTOGRAMME DES RESIDUS VARIABLE hteur : hteur dominante
==========

```
7 I      12
6 I      22
5 I    11 25 13
4 I    24 32 14
3 I 15 31 35 23
2 I 21 33 42 34
1 I 45 43 44 41
  I---------------
```

EFFECTIFS 3 5 7 5

BORNES -92.40 -6.90 78.60
-49.65 35.85

MINIMUM : -92.40 MAXIMUM : 78.60 INTERVALLE : 42.75

INDICES DE NORMALITE (coefficients de K.PEARSON)

SYMETRIE (valeur idéale théorique = 0) : BETA 1 = 0.07 PROBA = 0.6142
APLATISSEMENT (valeur idéale théorique = 3) : BETA 2 = 2.23 PROBA = 0.4402

RESIDUS SUSPECTS (méthode de GRUBBS)

NEANT

TABLEAU DES ECARTS-TYPES DES RESIDUS
==========

ECARTS-TYPES FACTEUR 1 = classe d'age

F 1 : 1 (<5) 2 (-10) 3 (-20) 4 (>20)
67.57 58.91 36.34 50.89

KHI2 = 1.39 PROBA = 0.7116

ANALYSE DE VARIANCE
==========

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	71757.54	18	3986.53				
VAR.FACTEUR 1	23967.19	3	7989.06	2.51	0.0976		
VAR.RESIDUELLE 1	47790.35	15	3186.02			56.44	16.7%

TABLEAU DES MOYENNES
==========

MOYENNE GENERALE = 338.16

MOYENNES FACTEUR 1 = classe d'age

F 1 : 1 (<5) 2 (-10) 3 (-20) 4 (>20)
294.40 344.40 324.25 389.60

PUISSANCE DE L'ESSAI
==========

FACTEUR 1 : classe d'age

		RISQUE de 1ere ESPECE		
ECARTS		5%	10%	20%
en %	V.Absolue	PUISSANCE A PRIORI		
5.00%	16.91	6%	12%	23%
10.00%	33.82	9%	17%	30%
		PUISSANCE A POSTERIORI		
		Moyennes observées	58%	70% 83%

***** ANALYSE FACTORIELLE DISCRIMINANTE *****

TITRE DE L'ANALYSE : Analyse discriminante surf terriere/hteur dominante

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 20 NOMBRE DE VARIABLES : 3

***** NO DES VARIABLES ET NOMS *****

1.hteur / 2.surft / 3.clfge /

NOMBRE DE VARIABLES QUANTITATIVES : 2
NOMBRE DE GROUPES : 4

GROUPE No 1 (1) 5 OBSERVATION(S)
GROUPE No 2 (2) 5 OBSERVATION(S)
GROUPE No 3 (3) 5 OBSERVATION(S)
GROUPE No 4 (4) 5 OBSERVATION(S)

NOMBRE D ' AXES DEMANDES : 2

STATISTIQUES ELEMENTAIRES

POPULATION TOTALE
EFFECTIF TOTAL : 20

VARIABLES	MOYENNES DES SERIES	ECARTS-TYPES
hteur	338.163	59.899
surft	1.751	0.848

CORRELATIONS TOTALES

	hteur	surft
hteur	1.000	
surft	0.850	1.000

ETUDE PAR GROUPE

GROUPE	EFFECTIF	VARIABLES	MOYENNES DES SERIES	ECARTS-TYPES
1 (1)	5	hteur	294.400	60.440
		surft	1.214	0.830
2 (2)	5	hteur	344.400	52.694
		surft	1.760	0.777
3 (3)	5	hteur	324.250	32.505
		surft	1.434	0.444
4 (4)	5	hteur	389.600	45.517
		surft	2.594	0.537

ETUDE PAR VARIABLE

VARIABLES	VARIANCES RESIDUELLES	ECARTS-TYPES RESIDUELS	F (3/ 16)	PROBA
hteur	2986.887	54.652	2.67	8.15%
surft	0.555	0.745	3.30	4.70%

Bibliographie.

BIBLIOGRAPHIE :

ACHARD (F.) *et al.* – 1996 – *Ressources ligneuses des jachères du sud-ouest du Niger.* Projet 7 ACP RPR 269 : *La jachère, lieu de production.* CORAF, UE, FLORET (C.), Dakar (Sénégal), pp 43-48.

AUCLAIR (D.) et MAERTEN (E.) - 1986 - *Une méthode d'évaluation de la biomasse des arbres de haie.* Ann. Sci. For., **43** (1), pp 56-66.

BAGNOUD (N.) - 1991 - *Inventaire des systèmes agroforestiers traditionnels.* Direction régionale des Eaux et Forêts, Sikasso (Mali), 46 p.

BAZILE (D.) - 1997 - *La filière bois-énergie au Mali - Analyse bibliographique critique.* CORAF, Union Européenne, ORSTOM, Bamako (Mali), 73 p.

BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME- 1988 - *Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali - Rapport de synthèse, première phase : les formations végétales.* Bamako (Mali) - Nogent/Marne (France).

BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME- 1988 - *Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali - Rapport technique, première phase : inventaire des formations végétales.* Bamako (Mali) - Nogent/Marne (France), 115p.

BDPA SCET-AGRI/CTFT/SYSAME- 1991 - *Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali - Phase B, synthèse technique.* Bamako (Mali) - Nogent/Marne (France).

BELEM (M.) *et al.* - 1996 - *Les ligneux à usages multiples dans les jachères et les champs du plateau central du Burkina Faso.* Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée, vol.XXXVIII (1), Paris (France), pp 251-272.

BELLEFONTAINE (R.) *et al.* - 1997 - *Aménagement des forets naturelles des zones tropicales sèches.* Cahier FAO 32, FAO, Rome (Italie), pp 85-124.

BELLEFONTAINE (R.) - 1998 - *Aménagement forestier et conservation de la diversité génétique : exemple basé sur la régénération des brousses tigrées.* CIRAD - Forêt, Montpellier (France), 9 p.

BERNARD (C.) - à paraître - *Structure, dynamique et fonctionnement des parcs agroforestiers traditionnels. Cas de Dolekaha- Nord Côte d'Ivoire, cas de Holom - Nord Cameroun.* Thèse de géographie de l'Université Paris I.

BERTRAND (A.) *et al.* - 1991 - *Schéma directeur d'approvisionnement en bois de Niamey.* Groupe SEED-CTFT, Projet Energie II - Volet Offre, Niamey (Niger), 128 p.

BONETTI (C.) – 1998 – *Caractérisation et typologie des espaces non cultivés. Jachères et friches pastorales sur le terroir de Dolekada. Département de Korhogo-Nord Côte d'Ivoire.* CIRAD – Forêt, Montpellier (France), 125p.

CAMBREZY (L.) - 1991 - *Systèmes agraires et analyse spatiale : validité de l'information et SIG : un rendez-vous à ne pas manquer.* Atelier international, Montpellier du 2 au 5 décembre

1991, ORSTOM éditions (France), pp 207 - 217.

Centre Technique Forestier Tropical - 1989- *Memento du forestier - Techniques rurales en Afrique*. Ministère de la Coopération, La documentation française, Paris (France), 1265 p.

CISSOKO (M.) - 1991 - *Place de la jachère ans le système de culture d'un terroir villageois de la zone soudanienne au Mali*. Atelier international, Montpellier du 2 au 5 décembre 1991, ORSTOM éditions (France), pp 127 - 132.

CLEMENT (J.) - 1982- *Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales*. Centre Technique Forestier Tropical, 68 p.

DEFOURNY (P.) - 1992 - *Contribution aux méthodes d'évaluation et de suivi par télédétection satellitaire de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne*. Thèse de l'Université de Louvain (Belgique), 254 p.

DEHEUVELS (O.) - 1997 - *Organisations paysannes et décentralisation au Mali - Etude de villages du secteur d'action du Groupe de Développement des Paysans de Ségou*. Mémoire de stage de l'INA-PG (2éme année), AFVP, INA-PG, Paris (France), 49p.

DIATTA (M.) *et al.* - 1998 - *Typologie de la végétation ligneuse en zone soudanienne*. Bois et Forêts des tropiques, n°257 (3), CIRAD - Forêt, Montpellier (France), pp 23 - 36.

DIOULASSO (B.) - 1996 - *Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest - Projet 7 ACP RPR 269 : La jachère, lieu de production*. CORAF, UE, FLORET (C.), Dakar (Sénégal), pp 1-18, 43-48, 55-57.

DUBY (C.) - 1997 - *Echantillonnage et données de comptage*. Documents de travail de la Délégation Biométrie et Mathématiques appliquées n°3-97, CIRAD, Montpellier (France), pp 11-39.

DUPLAT (P.) et PERROTTE (G.) - 1981 - *Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers*. Office National des Forêts, section technique, Paris (France), 432 p.

FLORET (C.) *et al.* - 1993 - *La jachère en Afrique Tropicale*. Dossier Mab 16, UNESCO, Paris (France), 86p.

FREYCON (V.) - 1991 - *Rapport de mission d'appui au projet de plantation ligneuse irriguée - Projet N'Gaoule*. CIRAD/CTFT, Nogent/Marne (France), 21p.

FREYCON (V.) - 1996 - *Les GPS : principes de fonctionnement et conseils d'utilisation*. CIRAD - Forêt, Montpellier (France), 26 p.

FREYCON (V.) et FAUVET (N.) - 1998 - *Les GPS : de l'acquisition des relevés à leur intégration dans un SIG*. CIRAD - Forêt, Montpellier (France), 53 p.

GODARD (V.) - 1991 - *Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol - Recherche méthodologique appliquée au Sahel sud-mauritanien*. Thèse, Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, Montpellier (France) pp 87-343.

GOUET (J-P.) - 1978 - *L'élaboration d'un protocole d'enquête : proposition d'un plan type détaillé et quelques commentaires.* ITCF, Paris (France), 98 p.

GOUNOT (M.) - 1969 - *Méthodes d'étude quantitative de la végétation.* Masson et Cie, Paris (France), 303p.

ICHAOU (A.) - 1993 - *Synthèse bibliographique des inventaires des ressources ligneuses réalisées dans les terroirs agricoles de la zone SDAN.* Rapport de stage, Projet Energie II - Volet Offre, Niamey (Niger), 72 p.

ICHAOU (A.) - 1995 - *Etude de la productivité des formations forestières de brousse tigrée et de brousse diffuse : conséquence pour la gestion et la régénération de ces formations.* Mémoire de fin de cycle, ORSTOM, Niamey (Niger), 160 p.

JENSEN (A. M.) - 1995 - *Examen des politiques, stratégies et programme du secteur des énergies traditionnelles - Evaluation des données sur les ressources ligneuses Burkina Faso, Gambie, Mali, Niger et Sénégal.* Banque Mondiale, AFTPS, Danagro (Danemark), 110p.

KAIRE (M.) – 1996 – *La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme en zone soudanienne et soudano-sahélienne du Sénégal.* Projet 7 ACP RPR 269 : *La jachère, lieu de production.* CORAF, UE, FLORET (C.), Dakar (Sénégal), pp1-17.

KOUYATE (A. M.) - 1995 - *Contribution à l'étude de méthodes d'estimation rapide du volume dans les formations savanicoles - Cas du terroir villageois de Siani au Mali.* Mémoire de DEA, Université d'Antanarivo, Madagascar, 46p.

LAKE (L-A.) *et al.* - 1997- *Evolution des paysages sahéliens depuis les années 50 : exemple des environs de Keur Momar Saer (Sénégal).* Sécheresse 8(4), pp 257-264.

LOUPPE (D.) - 1989 - *Production en biomasse d'un recru d'un an de Guiera Senegalensis sur les sols sableux dégradés du centre Nord du bassin arachidier sénégalais.* DRPF/ISRA, CIRAD/CTFT, Sénégal, 6p.

LOUPPE (D.) - 1993 - *Productivité des formations forestières sous climat soudano-guinéen - Approche bibliographique.* IDEFOR, Côte d'Ivoire, 23p.

NASI (R.) - 1994 - *La végétation du centre régional d'endémissme soudanien au Mali - Etude de la forêt des Monts Mandingues et essai de synthèse.* Thèse de l'Université de Paris XI, Orsay (France), pp 1 - 54.

NOUVELLET (Y.) *et al.* - 1996 - *Comment mesurer l'accroissement d'une forêt en zone soudanienne ou sahélienne ?* 2éme Forum National de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques du 9 au 13 avril 1996 sur le thème : La Recherche scientifique face aux problèmes d'environnement, 16p.

PAIN-ORCET (M.) *et al.* - 1989 - *Télédétection spatiale et inventaires forestiers.* Notification ATP CNES n°87/CNES/1267, CTFT/CIRAD, Nogent/Marne (France), 75p.

PAIN-ORCET (M.) - 1998 - *Rapport de mission : Appui au service cartographie -*

informatique de la Cellule Combustible Ligneux. DNEF, CIRAD - Forêt, Bamako (Mali) - Montpellier (France), 16p.

PELTIER (R.) - 1998 - *Rapport de mission en aménagement forestier - Aide mémoire.* Cellule Combustible Ligneux, Bamako (Mali), 22p.

PIOT (J.) - 1983 - *Méthodes d'inventaires et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens.* CNRST/HV IRBET, CIRAD/CTFT, Ouagadougou (Burkina Faso), 19p.

PONCET (Y.) *et al.* - 1995 - *SIG et gestion locale des ressources forestières : le bois de feu au Mali.* Sécheresse 3(6), John Libbey Eurotext, pp289-293.

RAISON (J-P.) - 1988 - *Les «parcs» en Afrique : état des connaissances et perspectives de recherches. Encyclopédie des techniques agricoles en Afrique Tropicale*, EHSS, Paris (France).

SERPENTIE (G.) – 1996 – *Rôles des jachères dans la production arborée non ligneuse en savane soudanienne. Cas de la Haute Volta dans l'Ouest du Burkina Faso.* Projet 7 ACP RPR 269 : *La jachère, lieu de production.* CORAF, UE, FLORET (C.), Dakar (Sénégal), pp 55-57.

SERPENTIE (G.) *et al.* – 1996 – *Pratique et enjeux de la culture du Karité dans l'Ouest du Burkina Faso.* Projet 7 ACP RPR 269 : *La jachère, lieu de production.* CORAF, UE, FLORET (C.), Dakar (Sénégal), pp 59-72.

SICOT (M.) et GROUZIS (M.) - 1981 - *Etude méthodologique et application à l'estimation de la production fréquentielle du bassin versant de la mare d'Oursi Haute Volta.* ORSTOM, Ouagadougou (Burkina Faso), 33 p.

STEWART (J.) - 1990 - *International trial of central american dry zone hardwood species.* Oxford Forestry Institute, Oxford (Etats-Unis), 55p.

SYLLA (M.) - 1987 - *Etude des méthodes d'inventaire en forêts tropicales sèches : cas de la Faya au Mali.* Thèse présentée à l'Université de Nancy I, Nancy (France), 210 p.

SYLLA (M.) - 1997 - *Rapport de mission : Evaluation rapide de la productivité et de la production des formations végétales : bassins de Bamako et de Ségou.* Stratégie énergie domestique. Cellule Combustible Ligneux, Bamako (Mali), 28p.

THIES (E.) - 1995 - *Principaux Ligneux (Agro-) Forestiers de la Guinée, zone de transition.* Office Allemand de la Coopération Technique (GTZ), Eschborn (Allemagne), 541p.

VON MAYDELL (H.-J.) - 1983 - *Arbres et arbustes du Sahel - Leurs caractéristiques et leurs utilisations.* Office Allemand de la Coopération Technique (GTZ), Eschborn (Allemagne), 531p.

WIRTH (T.) *et al.* - 1998- *Typologie qualitative et quantitative des formations ligneuses sur la base des critères paysans.* Document ARFS n°96/2, Sikasso (Mali), 26 p.

RESUME :

La filière bois-énergie est une composante majeure de l'économie des pays d'Afrique de l'Ouest : au Mali, elle permet de couvrir 91% des besoins énergétiques nationaux. Le bois est issu des formations naturelles et des formations dites "hors forêt" ou diffuses des espaces agro-sylvo-pastoraux. La diminution progressive des espaces forestiers au profit de zones dégradées (désertification) ou d'espaces cultivés tend à augmenter la contribution des formations diffuses (et particulièrement des jachères). Par contre, la demande est en constante augmentation (croissance démographique forte, urbanisation intense). Pour mettre en place une gestion durable et raisonnée de la ressource ligneuse, le Mali s'est doté d'une politique énergétique : la Stratégie Energie Domestique. Celle-ci doit disposer d'informations sur l'état actuel de la ressource ligneuse à l'échelle régionale. Les méthodes d'estimation de la biomasse ligneuse des formations forestières sont connues. Mais sont-elles applicables aux formations diffuses ? Et si non, comment les adapter aux caractéristiques spatio-temporelles de celles-ci ?

Les formations diffuses sont fortement anthropisées : elles sont disséminées dans le finage villageois et soumises à une évolution rapide. La répartition même des ligneux au sein de ces formations est nucléaire alternant sol nu et îlots de végétation dense. L'estimation de la ressource ligneuse diffuse requière donc des méthodes qui lui sont propres.

Notre étude est menée sur la ressource ligneuse des jachères d'une région de cent mille hectares dans le domaine bioclimatique soudanien nord, au Mali. Il s'agit d'un pré-sondage effectué sur les jachères de huit villages répartis sur l'ensemble de la zone. Au vu des résultats obtenus, trois conclusions s'imposent :

- la télédétection aérienne et satellitaire n'est pas un outil facilement utilisable pour cartographier les jachères,
- les caractéristiques de sondage par layonnage des ligneux des formations naturelles doivent être redéfinies pour s'adapter aux faibles superficies des jachères (dix hectares en moyenne),
- une typologie des jachères ne peut se limiter à une description des caractéristiques du couvert végétal : l'âge notamment n'est pas un facteur explicatif complet de la biomasse ligneuse des jachères.

La mise au point d'une méthode d'évaluation de la ressource ligneuse ne semble donc pas se limiter à une simple adaptation des méthodes de sondage utilisées pour les formations forestières. Elle doit intégrer une composante socio-économique forte.

ABSTRACT :

Fuelwood is a major component of the economy of West African countries. In Mali, it fulfills 91% of the national energetic needs. Wood comes from natural vegetation formations as well as from off-forest or diffuse formations of agro-silvo-pastoral areas. The gradual diminution of forest areas towards degraded zones (desertification) or cultivated lands tends to increase the contribution of off-forest vegetation formations (and particularly fallows). On the other hand, demand is up (high demographic growth, intense urbanization). In order to carry a sustainable management of woody resources in Mali, an energy policy has been set up with the Domestic Energy Strategy. Information concerning the present state of woody resources are needed at a regional scale. If methods for estimating woody biomass of forested stands are known, are they applicable to diffuse formations ? If not, how can they be adapted to meet the spatio-temporal characteristics of these formations ?

Such diffuse formations are under heavy human influence : they are scattered in rural areas and are subject to rapid changes. Even the tree distribution inside these formations is highly heterogeneous, with alternating patches of bare soil and dense vegetation. The estimation of woody biomass of diffuse formations therefore requires specifically adapted methods.

The present study is carried out on the woody resources of fallows of a region of one hundred thousand hectares of the Northern Sudanese bioclimatic domain in Mali. It consists in a pre-sampling on the fallows of eight villages distributed over the entire zone. Following the results obtained, three conclusions can be made :

- aerial and satellite remote sensing tools cannot be readily used for fallows mapping,
- sampling characteristics used in the inventory of forest formations need to be redefined to be applicable to the low surface area of fallows (average of ten hectares),
- a typology of fallows cannot be restricted to the description of the characteristics of the vegetation cover : age for example cannot explain alone the woody biomass of fallows.

Therefore, it appears that a method to evaluate the woody biomass of fallows cannot be a mere adaptation of methods used in forest inventories and should clearly take into account the main socio-economic aspects.