

Nicolas PICARD<sup>1</sup>, Moussa BALLO<sup>2</sup>,  
Fadiala DEMBÉLÉ<sup>3</sup>, Denis GAUTIER<sup>4</sup>,  
Maguette KAÏRÉ<sup>5</sup>, Moussa KAREMBÉ<sup>6</sup>,  
Ali MAHAMANE<sup>7</sup>, Raphaël MANLAY<sup>8</sup>,  
Daouda NGOM<sup>9</sup>, Mama NTOUPKA<sup>10</sup>,  
Saïdou OUATTARA<sup>2</sup>, Patrice SAVADOGO<sup>11</sup>,  
Louis SAWADOGO<sup>11</sup>, Josiane SEGHIÉRI<sup>12</sup>,  
Daniel TIVEAU<sup>13</sup>

<sup>1</sup> Cirad, UR dynamique forestière  
34398 Montpellier Cedex 5  
France

<sup>2</sup> Ier, programme ressources forestières  
Crra Sotuba  
BP 258, Bamako  
Mali

<sup>3</sup> Ipr/Ipra, Katibougou  
BP 06, Koulikoro  
Mali

<sup>4</sup> Cirad, UR ressources forestières  
BP 1813, Bamako  
Mali

<sup>5</sup> Isra, Cnrf  
BP 2312, Dakar  
Sénégal

<sup>6</sup> Fast, université de Bamako  
BP E 3206, Bamako  
Mali

<sup>7</sup> Université Abdou Moumouni  
faculté des sciences  
BP 10662, Niamey  
Niger

<sup>8</sup> Engref  
648 rue Jean-François Breton  
BP 44494, 34093 Montpellier Cedex 5  
France

<sup>9</sup> Ucad, laboratoire d'écologie  
BP 36017, Dakar Building  
Sénégal

<sup>10</sup> Irad Forêt  
BP 222, Maroua  
Cameroun

<sup>11</sup> Inera, Dpf, Crea Saria  
BP 10, Koudougou  
Burkina Faso

<sup>12</sup> Ird  
BP 2528, Bamako  
Mali

<sup>13</sup> Cifor  
06 BP 9478, Ouagadougou 06  
Burkina Faso

## Évaluation de la productivité et de la biomasse des savanes sèches africaines : l'apport du collectif Savafor



Présentation par le bureau d'études Agefore aux participants de l'école-chercheurs Savafor d'un inventaire forestier réalisé près de Siby (Mali).  
Photo Daniel Tiveau.

**Dans un effort de synthèse pour capitaliser les résultats de la recherche sur la productivité des savanes à l'échelle régionale, une école-chercheurs, baptisée Savafor, s'est rassemblée à Bamako au Mali, du 19 au 27 octobre 2005. Elle a réuni plus de 20 participants de la sous-région autour de communications orales, de débats (entre chercheurs et avec les acteurs du développement), de travaux communs sur des jeux de données et de sorties sur le terrain. Cette école-chercheurs avait deux objectifs :**

- Faire le point sur les méthodes pour estimer la biomasse et la productivité des formations savaniques, en confrontant les expériences respectives de chercheurs de différents pays de l'Afrique de l'Ouest et centrale.
- Favoriser une synergie, à l'échelle régionale, entre les chercheurs travaillant sur le sujet.

Le présent article vise à rendre compte des principales conclusions obtenues lors de cette école-chercheurs.

## Introduction

Le bois énergie et le charbon de bois couvrent une bonne partie des besoins en énergie domestique dans les pays du Sahel : 92 % au Burkina, 86 % au Mali, 80 % au Niger, 47 % au Sénégal, 96 % au Tchad, selon une étude de la FAO (1986). Les formations arborées (principalement des savanes) sont, de fait, soumises à de fortes pressions d'exploitation, notamment aux abords des villes. Aujourd'hui, les commerçants vont s'approvisionner jusqu'à 200 km des grandes villes sahéliennes. Pour gérer durablement la ressource en bois énergie, il est nécessaire d'équilibrer l'exploitation et le renouvellement du stock. Cela nécessite de connaître la productivité des savanes, c'est-à-dire le taux de croissance du stock de bois.

Des synthèses des connaissances sur la productivité des savanes ont été réalisées par CLÉMENT (1982) et la FAO (1984). Depuis vingt ans, de nouveaux dispositifs expérimentaux ont été mis en place, de nouvelles méthodes ont été testées, de nouvelles données sont venues compléter les premiers travaux. Loin de fournir une réponse définitive, ces travaux ont révélé la complexité de la tâche et la diversité des réponses que l'on peut apporter à la question suivante : quelle est la productivité des savanes ?

## Productivité des savanes : des connaissances en évolution

Un peuplement forestier peut être schématisé comme un stock d'une ressource (bois de feu, bois d'œuvre, produits forestiers non ligneux), qui évolue dans le temps sous l'effet de flux entrants (croissance, recrutement de nouveaux arbres) et de flux sortants (mortalité, exploitation). La production est définie, *stricto sensu*, comme la somme des flux entrants depuis l'origine du peuplement, tandis que la productivité est la production ramenée à une unité de temps (PARDÉ, BOUCHON, 1988). On distingue habituellement la productivité moyenne, qui est la production au temps  $t$  divisée par cette durée  $t$ , et la productivité instantanée qui est la dérivée par rapport au temps de la production. Deux constats découlent de cette définition : la productivité est une grandeur *dynamique*, qui évolue au cours du temps en fonction de l'état du peuplement ; il y a autant de productivités qu'il y a de ressources. Cette seconde remarque prend tout son sens pour des savanes qui assurent des fonctions multiples : fourniture de bois de feu ou de bois d'œuvre, mais aussi de fourrage (herbacé ou aérien) pour le bétail, de plantes médicinales, etc.

Les synthèses initiales de CLÉMENT (1982) et de la FAO (1984) ont été complétées par tout un ensemble d'études : POUPON (1979), GOUDET (1985), BONKOUNGOU, DE FRAMOND (1988), PELTIER, EYOG MATIG (1989), SAWADOGO *et al.* (2002), NOUVELLET

(1992, 1993), CIRAD (1993), ICHAOU (1995), DEMBÉLÉ (1996), NTOUPKA (1999), NYGÅRD (2000), SAWADOGO (1996), etc. La formule de synthèse de CLÉMENT (1982), qui prédit la productivité en fonction de la pluviométrie annuelle, a longtemps été considérée comme la référence pour les aménagements. Toutefois, elle a montré ses limites face aux nouvelles données, comme le montre la figure 1. Cette figure révèle en effet la très grande variabilité des estimations de la productivité, qui peut varier d'un facteur six pour une même pluviométrie. Un examen plus attentif des données de productivité permet de dégager les enseignements suivants :

- L'estimation de la productivité dépend de la composante prise en compte : tout ou partie de l'arbre (différences entre petit bois et gros bois, entre parties aériennes et souterraines, etc.) ; sélection ou non des individus (selon une taille minimale d'inventaire, par exemple).



Savane arborée à Sokouna (Mali).  
Photo Daniel Tiveau.



Exploitation du bois de feu et carbonisation à Korokoro (Mali).  
Photo Baptiste Hautdidier.

- Elle dépend aussi du protocole de mesure : est-ce que l'on mesure une masse, un volume ou une surface terrière ? À quelle hauteur s'effectuent les mesures ? Estime-t-on un âge moyen ou un âge maximal du peuplement ?
- Elle dépend enfin de la façon dont la productivité est définie : considère-t-on la productivité moyenne ou la productivité courante ? Approche-t-on la production par le stock sur pied (ce qui revient à négliger les pertes par mortalité et exploitation) ?

Des variations dans ces choix peuvent entraîner des estimations différentes de la productivité. Aussi devrait-on parler de productivités au pluriel plutôt que de *la* productivité.

De manière plus fondamentale, la formule de Clément donne un chiffre de productivité de manière absolue, sans référence à l'état du peuplement. Elle traduit un gradient climatique macroscopique (transition de la zone soudano-guinéenne à la zone sahélienne) et n'est donc pas en mesure de rendre compte de variations locales dues à des états de peuplement variables. En ce sens, elle exprime plus une potentialité (c'est-à-dire la productivité potentielle d'un peuplement dans un état de référence) qu'une productivité.

La formule de Clément tend du reste à être remplacée par la formule de SYLLA (1997), qui prédit la productivité en fonction de la pluviométrie et du taux de recouvrement. La formule de Sylla est plus à même de rendre compte de variations locales de la productivité dans la mesure où elle intègre une variable descriptive de l'état du peuplement (son taux de recouvrement). Cependant, elle ne tient pas compte de la nature des espèces qui composent le peuplement, ni de la structure du peuplement. Par exemple, dans la perspective de production de bois énergie, un peuplement d'*Anogeissus leiocarpus* ne peut pas être considéré comme ayant la même productivité qu'un peuplement de *Sterculia setigera* sous prétexte qu'ils subissent la même pluviométrie et présentent le même taux de recouvrement. De même, un peuplement composé d'une multitude de petites tiges n'aura pas la même productivité qu'un peuplement composé de quelques grands individus, quand bien même le taux de recouvrement serait identique dans les deux cas.

## L'approche diachronique

La productivité étant une grandeur dynamique, les méthodes les plus immédiates pour l'estimer reposent sur un suivi dans le temps soit du peuplement dans sa globalité, soit des arbres individuellement. Le suivi individuel requiert un protocole de mesure précis, avec éventuellement une instrumentation des tiges (par exemple à l'aide de dendromètres) ; il s'est avéré en pratique impossible dans les savanes d'Afrique de l'Ouest (POUPON, 1979 ; DIARISSO *et al.*, 2005).

Le suivi longitudinal de peuplement a été la base de nombreux dispositifs expérimentaux en Afrique de l'Ouest et centrale ; pour ne citer que ceux qui ont été mentionnés lors de cette école-chercheurs : Tiogo, Laba et Gonsé au Burkina Faso (BELLEFONTAINE *et al.*, 1997 ; SAWADOGO, 1996 ; SAWADOGO *et al.*, 2002) ; Laf au Nord-Cameroun (ΝΤΟΥΚΑ, 1999) ; Missira au Mali (DEMBÉLÉ, 1996). Ces dispositifs offrent aujourd'hui un recul dans le temps important et la richesse de leurs données n'a probablement pas encore été totalement exploitée. Ils ont en leur temps apporté des réponses à des questions telles que l'influence du feu, du pâturage et de la coupe sur la production des peuplements, mais ne sont pas forcément optimaux pour les questions que l'on se pose aujourd'hui. En particulier, la productivité qu'ils reflètent se réfère à un mode de gestion du peuplement qui n'est pas forcément celui réellement en vigueur dans les forêts villageoises (coupe rase *versus* coupe sélective des essences et des tailles les plus adaptées à la carbonisation, par exemple).

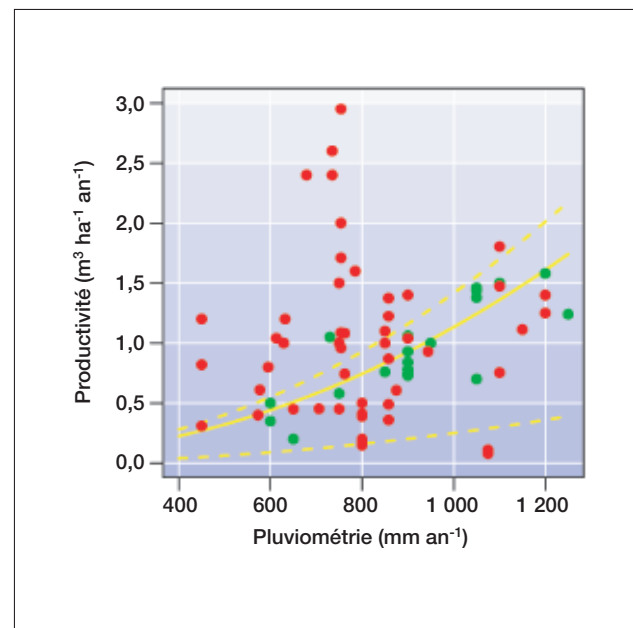


Figure 1.

Formule de CLÉMENT (1982) (courbes en trait plein ou pointillé) et estimation de la productivité : en vert, valeurs dont disposait J. Clément pour son étude ; en rouge, les valeurs acquises depuis.



Élaboration de relations allométriques pour *Faidherbia albida* dans le Nord-Cameroun.  
Photo Raphaël Manlay.

## L'approche synchronique

La productivité peut également être estimée par des mesures à un seul moment dans le temps. L'analyse de cernes, par exemple, permet de reconstruire une chronologie des accroissements diamétriques depuis le moment présent jusqu'à la naissance de l'arbre. Cette approche, bien qu'utilisée pour certaines essences des savanes d'Afrique de l'Ouest (POUPON, 1979 ; ICHAOU, 2000), suscite encore aujourd'hui bien des controverses, la périodicité des cernes n'étant pas encore clairement établie (MARIAUX, 1967 ; MARTIN, MOSS, 1997 ; STAHLÉ *et al.*, 1999).

De manière plus subtile, l'hypothèse d'ergodicité, qui consiste à dire que la distribution dans le temps en un endroit donné est égale à la distribution spatiale à un instant donné, permet de reconstituer des dynamiques de peuplement, et donc d'évaluer la productivité, en inventoriant à un instant donné des peuplements dans des états d'évolution variables. Ce raisonnement a fourni de nombreuses estimations de la productivité. Il s'avère du reste plus facile à mettre en œuvre pour des formations ayant un événement fondateur, comme les jachères par exemple (COULIBALY, 1998 ; KAÏRE, DIONE, 2000). Dans ce cas, il suffit d'inventorier dans un paysage des peuplements d'âge variable pour reconstituer la trajectoire du stock en fonction du temps.

## Vers le concept de dynamique forestière ?

Dans une perspective d'aménagement (JACKSON *et al.*, 1983 ; CATINOT, 1994), la productivité permet de déterminer la durée de rotation optimale dans un mode de gestion en coupe rase périodique (PARDÉ, BOUCHON, 1988). Le raisonnement repose cependant implicitement sur l'hypothèse suivante : *la ressource est l'intégralité du matériel végétal qui pousse et l'exploitation la remet à zéro* (hypothèse d'exclusivité de la ressource). Cette hypothèse est bien vérifiée pour les plantations et la plupart des forêts tempérées, ce qui a fait le succès de la notion de productivité. L'hypothèse d'une ressource qui est l'intégralité du bois présent correspond concrètement à un peuplement monospécifique équiennne. Cela n'est pas le cas des savanes : les essences y sont multiples et ne subissent pas de traitements homogènes. Certaines essences (schématiquement celles présentant le bois le plus dense) sont préférées pour faire du bois de feu, d'autres sont utilisées pour d'autres fonctions. De plus, l'exploitation pratiquée ne correspond pas à une coupe rase mais s'apparente plutôt à une coupe sélective ou jardinage. Enfin, le bois mort, habituellement considéré comme un flux sortant qui fait diminuer le stock sur pied, fait partie intégrante de la ressource dans le cas du bois de feu. Cette dernière considération n'est en soi pas trop contraignante car on a la liberté de redéfinir le stock de la ressource comme la somme du bois vivant et du bois mort. Il suffit alors de redéfinir un flux sortant comme la dégradation du bois mort en matière organique retournant dans le sol.

## Conclusions et perspectives

La conséquence de la non-vérification de l'hypothèse d'exclusivité de la ressource dans le cas des savanes est que le raisonnement précédemment utilisé pour déterminer le mode de gestion optimal ne donne plus cet optimum. Une exploitation pratiquée sur un cortège d'essences (les essences exploitables) va profiter aux autres essences du peuplement, ce qui va entraîner un glissement de la composition spécifique du peuplement forestier. L'optimum calculé sans tenir compte de ce phénomène va entraîner un décalage entre la production attendue au terme de la rotation (juste avant l'exploitation) et celle effectivement obtenue.

Une productivité calculée sur l'ensemble du peuplement (essences exploitables plus essences non exploitables) n'est pas non plus de beaucoup de secours, dans la mesure où elle ne distingue pas la ressource effective du reste. Un quota d'exploitation défini à partir de cette productivité serait surestimé. En fin de compte, le concept de productivité tel qu'il est défini classiquement ne permet pas de raisonner l'exploitation de peuplements plurispécifiques inéquiennes comme les savanes d'Afrique de l'Ouest.

Le problème se pose de la même manière dans toutes les forêts naturelles hétérogènes soumises à une exploitation sélective. Une évolution du concept de productivité vers le concept de *dynamique forestière* est alors nécessaire pour évaluer la possibilité. Cela est couramment fait dans les forêts tropicales humides. La dynamique forestière suppose une description de tous les flux entrants et sortants : croissance, recrutement, mortalité et exploitation. Cela correspond à une description beaucoup plus fine du peuplement : connaissant les flux entrants et sortants, on peut calculer la productivité, mais l'inverse n'est pas vrai ; à une productivité donnée peuvent correspondre plusieurs valeurs des flux. En d'autres termes, la productivité est une caractéristique du peuplement qui résulte d'une agrégation de la description de sa dynamique.

La connaissance de la dynamique forestière peut être synthétisée sous la forme de modèles de dynamique forestière. Ces modèles constituent un outil souple pour raisonner la gestion du peuplement : ils permettent de tester divers scénarios sylvicoles et d'optimiser un mode de gestion forestière. Cependant, leur construction est souvent coûteuse, car elle nécessite l'estimation de paramètres démographiques, qui résulte le plus souvent d'un suivi à long terme de parcelles permanentes.

Devant la diversité des méthodes d'estimation de la productivité et la variabilité des chiffres qui en résulte, la première recommandation faite par l'école-chercheurs est d'essayer d'harmoniser les protocoles de mesure sur le terrain. La hauteur de mesure des circonférences résume bien à elle seule ce type d'enjeu, la hauteur de 1,30 m, héritée des protocoles dendrométriques pour les forêts tempérées, n'étant visiblement pas adaptée aux arbres multicaules et aux formes arbustives que l'on trouve fréquemment dans les savanes. Toutefois, un protocole de mesure ne peut être adapté qu'à une question et la productivité recouvre plusieurs questions. Il convient donc de ne pas « mettre tous ses œufs dans le même panier » : approches synchroniques et approches diachroniques doivent être menées en parallèle, jusqu'à arriver à des estimations convergentes de la productivité.

À court terme, des avancées sont attendues de la confrontation des expérimentations menées indépendamment les unes des autres dans les différents pays de la sous-région. À moyen terme, des projets à l'échelle régionale pourraient être montés pour progresser sur cette problématique. Afin d'aider à atteindre ces deux objectifs, l'école-chercheurs Savafor s'est conclue par la constitution d'un réseau scientifique régional du même nom, associant les différents chercheurs de la sous-région travaillant sur la productivité des formations savaniques.

## Références bibliographiques

- BELLEFONTAINE R., GASTON A., PETRUCCI Y., 1997. Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. Rome, Italie, Fao, cahier Fao Conservation n° 32, 316 p.
- BONKOUNGOU E. G., DE FRAMOND H., 1988. Dynamique du peuplement et évolution de la productivité d'une parcelle de formation naturelle en forêt de Gonsé, Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 218 : 63-70.
- CATINOT R., 1994. Aménager les savanes boisées africaines. Un tel objectif semble désormais à notre portée. Bois et Forêts des Tropiques, 241 (3) : 53-70.
- CIRAD, 1993. Renforcement des activités de recherches menées dans les pays africains dans le domaine de la connaissance de la productivité et de la croissance des formations naturelles mixtes, forestières et graminéennes, dans le but de leur aménagement au Sénégal. Rapport final de projet. Nogent-sur-Marne, France, Cirad-Forêt, Dakar, Sénégal, Isra-Drpf, 86 p.
- CLEMENT J., 1982. Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales. Bois et Forêts des Tropiques, 198 (4) : 35-58.
- COULIBALY S. M., 1998. Détermination de la productivité des jachères dans la zone de Ouellessebouyou. Mémoire de fin de cycle, Institut polytechnique rural de formation et de recherche appliquée (Ipr/Ipra), Katibougou, Mali, 67 p.

- DEMBELE F., 1996. Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-nord. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (cercle de Kolokani), Mali. Thèse de doctorat, université d'Aix-Marseille 3, France.
- DIARISSO D., YOSSO H., SYLLA M. L., BALLO M., KAREMBE M., PICARD N., BIRNBAUM P., OUATTARA S., 2005. Rapport d'état d'avancement du projet RFO6 : mise au point d'une méthode fiable d'estimation de la productivité des formations arborées et arbustives au Mali. Rapport technique. Bamako, Mali, Institut d'économie rurale, 164 p.
- FAO, 1984. Études sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux. 1. Formations forestières sèches. Rome, Italie, Fao, série Étude Fao : Forêts n° 51/1, 88 p.
- FAO, 1986. Session d'étude sur la planification des produits d'auto-assistance en matière de bois de feu. Note de lecture. Rome, Italie, Fao, 144 p.
- GOUDET J.-P., 1985. L'arbre et les formations ligneuses en Afrique tropicale sèche. Rapport pour la consultation d'experts sur le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification, Saltillo, Mexique, 24-28 juin 1985. Nogent-sur-Mame, France, Cirad-Ctft, 22 p.
- ICHAOU A., 1995. Étude de la productivité des formations forestières de brousse tigrée et de brousse diffuse : conséquences pour la gestion et la régénération de ces formations. Mémoire de fin de cycle ingénieur, Institut polytechnique rural de Katibougou, Mali, 161 p.
- ICHAOU A., 2000. Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'ouest nigérien. Thèse de doctorat, université Paul Sabatier-Toulouse 3, France.
- JACKSON J. K., TAYLOR G. F., CONDE-WANE C., 1983. Gestion des ressources forestières naturelles dans la région du Sahel. Rapport technique D (83) 232, Ocde/Cilss, 114 p.
- KAÏRE M., DIONE F., 2000. Ressources ligneuses des jachères en zones soudanienne et soudano-sahélienne du Sénégal. In : La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives. Actes du séminaire international, 13-16 avril 1999, Dakar (Sénégal). Floret C., Pontanier R. (éd.). Paris, France, John Libbey Eurotext, vol. 1, p. 460-474.
- MARIAUX A., 1967. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité. Bois et Forêts des Tropiques, 113 : 3-14 ; 114 : 23-37.
- MARTIN D., MOSS J., 1997. Age determination of *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne from northern Kenya. African Journal of Ecology, 35 (3) : 266-277.
- NOUVELLET Y., 1992. Évolution d'un taillis de formation naturelle en zone soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat en botanique tropicale, université Pierre et Marie Curie-Paris 6, France.
- NOUVELLET Y., 1993. Évolution d'un taillis de formation naturelle soudano-sahélienne au Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 237 : 45-59.
- NTOUPKA M., 1999. Impacts des perturbations anthropiques (pâturage, feu et coupe de bois) sur la dynamique de la savane arborée en zone soudano-sahélienne nord du Cameroun. Thèse de doctorat, université Paul Valéry-Montpellier 3, France.
- NYGÅRD R., 2000. Productivity of woody vegetation in savanna woodlands in Burkina Faso. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Série Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria n° 144, Umeå, Suède.
- PARDE J., BOUCHON J., 1988. Dendrométrie. Nancy, France, Engref, 2<sup>e</sup> édition, 328 p.
- PELTIER R., EYOG MATIG O., 1989. Un essai sylvo-pastoral au nord-Cameroun. Mise en place d'un dispositif d'étude de la régénération et de la gestion d'une savane arborée dégradée en zone soudano-sahélienne à Laf-Badjava, premiers résultats. Bois et Forêts des Tropiques, 221 : 3-23.
- POUPON H., 1979. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Thèse de doctorat, université d'Orsay-Paris 11, France.
- SAWADOGO L., 1996. Évaluation des potentialités pastorales d'une forêt classée soudanienne du Burkina Faso (cas de la forêt de Tiogo). Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- SAWADOGO L., NYGÅRD R., PALLO F., 2002. Effects of livestock and prescribed fire on coppice growth after selective cutting of Sudanian savannah in Burkina Faso. Annals of Forest Science, 59 (2) : 185-196.
- STAHLE D. W., MUSHOVE P. T., CLEVELAND M. K., ROIG F., HAYNES G. A., 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. Forest Ecology and Management, 124 (2-3) : 217-229.
- SYLLA M. L., 1997. Évaluation rapide de la productivité et de la production des formations végétales : bassins de Bamako et de Ségou. Rapport de mission. Bamako, Mali, République du Mali, ministère du Développement rural et de l'Environnement, Direction nationale de l'aménagement et de l'équipement rural, 27 p.