



HAL
open science

Analyses exploratoires dendrochronologique et dendro-isotopique des ripisylves de la rivière Milo (Guinée)

Soumaïla Condé, Thierry Otto, Issam Moussa, Luc Lambs, Dov Corenblit

► **To cite this version:**

Soumaïla Condé, Thierry Otto, Issam Moussa, Luc Lambs, Dov Corenblit. Analyses exploratoires dendrochronologique et dendro-isotopique des ripisylves de la rivière Milo (Guinée). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2020, 15, pp.211-231. 10.4000/physio-geo.11681 . hal-02997246

HAL Id: hal-02997246

<https://hal.science/hal-02997246v1>

Submitted on 10 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Physio-Géo

Géographie physique et environnement

Volume 15 | 2020

Varia 2020

Analyses exploratoires dendrochronologique et dendro-isotopique des ripisylves de la rivière Milo (Guinée)

Exploratory dendrochronological and dendroisotopic analyzes of riparian forests along the Milo river (Guinea)

Soumaïla Condé, Thierry Otto, Issam Moussa, Luc Lambs et Dov Corenblit



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/11681>

ISBN : 978-2-8218-0427-2

ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 211-231

Référence électronique

Soumaïla Condé, Thierry Otto, Issam Moussa, Luc Lambs et Dov Corenblit, « Analyses exploratoires dendrochronologique et dendro-isotopique des ripisylves de la rivière Milo (Guinée) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 15 | 2020, mis en ligne le 06 octobre 2020, consulté le 07 octobre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/11681>



Les contenus de *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

ANALYSES EXPLORATOIRES DENDROCHRONOLOGIQUE ET DENDRO-ISOTOPIQUE DES RIPISYLVES DE LA RIVIÈRE MILO (GUINÉE)

Soumaïla CONDÉ ⁽¹⁾, Thierry OTTO ⁽²⁾, Issam MOUSSA ⁽²⁾,
Luc LAMBS ^{(2)*} et Dov CORENBLIT ^{(3)*}

(1) : Université Julius Nyerere Kankan, BP 209, KANKAN, GUINÉE CONAKRY.
Courriel : condedandela@gmail.com

(2) : Laboratoire écologie fonctionnelle et environnement, UMR 5245 CNRS-UPS-INPT, 31062 TOULOUSE
cedex 9. Courriels : thierry.otto@univ-tlse3.fr ; issam.moussa@ensat.fr ; luc.lambs@univ-tlse3.fr

(3) : Université Clermont-Auvergne, CNRS, GEOLAB, 63 000 CLERMONT-FERRAND.
Courriel : dov.corenblit@uca.fr

* : auteur correspondant.

RÉSUMÉ : La rivière Milo, en Guinée, est l'un des affluents du haut-Niger. Son bassin connaît un climat de type semi-aride à saisons contrastées dans un contexte biogéographique de savane. La mousson d'Afrique de l'Ouest apporte ses pluies entre juin et septembre ; d'octobre à mai, une longue période sèche affecte le niveau des rivières et la végétation. Depuis les années 1970, la pluviométrie et le débit de la rivière Milo subissent une baisse d'environ 20 %. La végétation arborée, qui se concentre principalement le long du cours d'eau, est susceptible d'être touchée par cette évolution du climat et de la ressource en eau. Peu de données sont disponibles concernant l'âge, la vitesse de croissance et l'origine de l'eau utilisée par les arbres riverains du Milo. Ces données sont pourtant indispensables pour estimer l'impact des changements environnementaux sur le fonctionnement et la pérennité de la ripisylve. Une étude dendrochronologique et dendro-isotopique exploratoire a été réalisée sur des arbres riverains du Milo afin de tester ces techniques dans l'acquisition de telles données. Une difficulté liée à l'utilisation de la dendrochronologie en milieu tropical vient du fait que peu d'espèces ligneuses forment des cernes annuels. Sur treize espèces d'arbres étudiées, près de la moitié ont des limites de cernes peu distinctes, mais trois espèces ont des limites de cernes bien visibles. Il s'agit de *Pericopsis laxiflora*, *Tamarindus indica* et *Tectona grandis*. Cette étude montre qu'il est possible d'estimer l'âge (15 à 102 ans) et la vitesse de croissance radiale (0,26 à 1,39 cm/an) pour les espèces présentant des cernes discernables. Toutefois la mauvaise définition anatomique des limites de cernes sur la plupart des autres espèces, notamment vers le cœur, compromet la réalisation d'une étude dendroclimatique robuste en contexte semi-aride africain. Un essai d'analyse dendro-isotopique ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) réalisé sur un individu de *Pericopsis laxiflora*, de *Tamarindus indica* et de *Tectona grandis* montre comment l'arbre riverain peut réguler sa consommation hydrique en fonction des conditions hydriques locales et faire appel à l'eau de la nappe alluviale pendant la période sèche.

MOTS-CLÉS : dendrochronologie, bois tropicaux, cerne d'arbre, croissance radiale, dendroisotopie, ripisylve, rivière Milo, Guinée.

ABSTRACT : Exploratory dendrochronological and dendroisotopic analyzes of riparian forests along the Milo river (Guinea)

The Milo River in Guinea is one of the tributaries of Upper Niger. Its basin has a semi-arid climate with alternating dry and wet seasons in a biogeographic context of savannah. The West African monsoon brings rain between June and September with a long dry period affecting river levels and vegetation. The rainfall and flow of the Milo River have declined of about 20 % since the 1970s. Trees that concentrate mainly along river margins are likely to be affected by this change in climate and water resource. Little data is available on the age, growth rate and origin of water used by riparian trees in Guinea. These data are nevertheless essential for measuring the impact of environmental changes on the functioning and sustainability of riparian forests. A dendrochronological and dendro-

isotopic study was carried out on trees bordering the Milo River in order to test the effectiveness of these techniques for obtaining such data. A difficulty with the use of dendrochronology in tropical environments is that few species form annual rings. Of thirteen tree species studied half form more or less distinct ring boundaries but three species showed clearly visible ring boundaries. These species are *Pericopsis laxiflora*, *Tamarindus indica* and *Tectona grandis*. This study shows that it is possible to estimate the age (15 to 102 years) and radial growth rates (0.26 to 1.39 cm/year) for species with discernible rings. However, the poor anatomical definition of ring boundaries on most of the other species, especially towards the pith, highlights all the difficulty of conducting a long-term, robust, dendroclimatic study in the semi-arid African context. A dendroisotopic test analysis ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) on a single tree of *Pericopsis laxiflora*, *Tamarindus indica* and *Tectona grandis* shows that this riparian species is able to regulate its water acquisition during hydrological variations. This is marked by a physical trace in the rings related to the use of the more perennial alluvial water during the dry period.

KEY-WORDS : dendrochronology, tropical woods, tree ring, radial growth, dendroisotopy, riparian forest, Milo river, Guinea.

I - INTRODUCTION

1) Des ripisylves africaines menacées

Les hydrosystèmes fluviaux comptent parmi les écosystèmes les plus dynamiques à la surface de la Terre en termes de structure et de fonctionnement (R.J. NAIMAN *et al.*, 1993 ; R.J. NAIMAN et H. DÉCAMPS, 1997). Ils représentent des systèmes d'interface à forts enjeux (ressources, biodiversité, fonctions et services écologiques) où la matière et l'énergie se concentrent, transitent, se stockent, se transforment (S.V. GREGORY *et al.*, 1991) et engendrent une forte hétérogénéité de la mosaïque d'habitats (R.J. NAIMAN *et al.*, 2005). Les ripisylves (forêts alluviales) inféodées aux hydrosystèmes fluviaux sont très sensibles aux perturbations et changements environnementaux. Elles ont montré une très forte réactivité aux modifications environnementales d'origines naturelle (changements bioclimatiques) et anthropique (régulation des débits, chenalisation, pratiques agro-pastorales et dynamique d'expansion urbaine). Elles ont d'ores et déjà été très fortement impactées de par le monde par le changement climatique et les activités humaines, et ont été déclarées comme figurant parmi les écosystèmes les plus menacés de la planète (MEA, 2005).

En Afrique, la situation de dégradation des hydrosystèmes fluviaux et de leurs ripisylves est préoccupante. Or les ripisylves africaines occupent plus que jamais un positionnement stratégique pour la préservation de la biodiversité dans le monde. Dans le contexte du changement climatique et des bouleversements environnementaux en cours, le devenir de ces ripisylves est devenu très incertain, en particulier en contexte semi-aride, où les arbres peuvent souffrir du déficit de précipitations et d'eau sur les marges des cours d'eau. Cette situation entraîne un besoin urgent de connaissances relatives au potentiel de croissance et de résistance des arbres riverains au stress hydrique, afin de pouvoir mettre en œuvre des mesures de préservation des ripisylves africaines.

2) La dendrochronologie pour le suivi de la croissance des arbres tropicaux ?

Les arbres enregistrent dans leur tissu ligneux les variations des facteurs climatiques et environnementaux auxquels ils sont exposés. Cet enregistrement peut être décrypté par la dendrochronologie, qui analyse les variations temporelles des séries de largeurs des cernes. Avec l'aide de la dendro-isotopie, qui analyse les variations de la teneur en isotopes stables de

la cellulose, elle peut quantifier la réponse des arbres aux changements d'origines climatique, géomorphologique ou anthropique (L. LAMBS et M. BERTHELOT, 2002 ; L. LAMBS *et al.*, 2006). Les quatre prérequis pour pouvoir effectuer une analyse dendrochronologique sont : 1/ que cet arbre ait poussé dans une région soumise à un rythme saisonnier ayant entraîné la formation d'un cerne annuel ; 2/ que les cernes soient distincts et que leur largeur soit dépendante de facteurs extérieurs limitants ; 3/ que ces facteurs exercent un effet limitant, variable en intensité d'une année à l'autre ; et 4/ que l'action de ces facteurs limitants s'exerce de façon similaire sur les arbres possédant les mêmes exigences écologiques et répartis sur des territoires suffisamment vastes (A.V. MUNAUT, 1979).

a. La notion de cerne

Le cerne est un anneau de croissance annuelle visible sur la section transversale d'un tronc, d'une branche ou d'une racine. La limite d'un cerne se traduit par des caractères anatomiques particuliers et reflète un arrêt de croissance de l'arbre.

b. Difficultés liées à la lecture des cernes en milieu tropical

Sous les tropiques, où les variations de températures sont généralement faibles, la croissance radiale peut se dérouler pendant toute l'année. Ainsi les forestiers ont-ils conservé pendant longtemps l'idée qu'aucun cerne annuel ne pouvait être décelé dans le bois des essences tropicales à cause de l'absence de saisons bien différenciées (P. DÉTIENNE *et al.*, 1998). Seules des études sur le teck en Indonésie ont donné assez tôt des résultats probants (C.H. COSTER, 1927). Le succès du développement des chronologies des cernes de teck en Asie a encouragé l'étude d'autres essences tropicales à bois dur, en particulier pour d'autres membres de la famille des *Verbenaceae* comme les *Vitex*, ou à bois plus légers tel *Pterocarpus* de la famille des *Fabaceae* (C. KY-DEMBELE *et al.*, 2016). Du fait du changement climatique global, la dendrochronologie suscite aujourd'hui un intérêt (D.W. STAHL *et al.*, 1999). Mais le problème majeur de la dendrochronologie en contexte tropical demeure la présence de cernes indistincts, doubles, ou non continus (A. GEBRISTOS *et al.*, 2014). La formation des cernes a, en général, été peu étudiée en milieu tropical (F. SCHWEINGRUBER, 1992) et les espèces tropicales formant des cernes lisibles demeurent encore méconnues. A. MARIAUX (1981) et G. JACOBY (1989) s'accordent à dire que des cernes peuvent être distingués en présence d'une saisonnalité marquée, mais ajoutent que d'autres facteurs sont susceptibles de perturber la répartition et le nombre de cernes visibles (voir aussi P.B. TOMLINSON et K.A. LONGMAN, 1981 ; R.A. SEITZ et M. KANNINEN, 1989 ; R. VILLALBA et J.A. BONINSEGNA, 1989 ; M. WORBES, 2002 ; D.M.A. ROZENDAAL et P.A. ZUIDERMA, 2010).

c. La dendrochronologie en Afrique

Quelques études sur la croissance radiale ont été entreprises en Afrique tropicale (A. MARIAUX, 1967, 1969 ; P. DÉTIENNE et A. MARIAUX, 1977 ; P. DÉTIENNE et C. BARBIER, 1988 ; C. MBOW *et al.*, 2013). Des études pionnières sur les arbres du Sahel, en zone sèche, ont aussi été entreprises par A. MARIAUX (1975) et C. MBOW *et al.* (2013). Ces études montrent de fortes variations de lisibilité des cernes d'une espèce à l'autre, et pour une même espèce en fonction des microclimats. Hormis la difficulté à trouver des espèces qui forment des cernes annuels, A. GEBRISTOS *et al.* (2014) pointent trois obstacles pour les études dendrochronologiques en Afrique : 1/ le manque de stations de référence pour la mesure des variables climatiques et hydrologiques ; 2/ les variations à moyen et long termes du cycle hydrologique des cours d'eau dues au changement climatique ; et 3/ le manque de connaissances sur

la croissance et la dynamique de population des différentes espèces d'arbres, la capacité de ces espèces à supporter les extrêmes climatiques demeurant aussi inconnue.

Le Nord-Est de la Guinée n'a encore jamais fait l'objet d'études dendrochronologiques. Au cours des dernières décennies, la rivière Milo a subi une modification de débit due aux fluctuations de la mousson ouest-africaine. L'activité anthropique locale (déboisement, brûlis, activité minière, absence de traitement des eaux usées) affecte aussi la végétation riveraine, ainsi que la disponibilité de l'eau et sa qualité. Pour mesurer l'impact de ces facteurs sur le fonctionnement de la ripisylve (croissance des arbres, origine de l'eau, régulation de la consommation en eau durant les périodes sèches), une étude dendrochronologique et dendro-isotopique exploratoire a été entreprise. Le but de l'étude est d'estimer, pour la première fois, l'efficacité de ces deux techniques pour estimer et comprendre la dynamique de croissance et d'utilisation de l'eau d'espèces arborées riveraines dans un contexte semi-aride africain. Cela représente un enjeu majeur dans le contexte actuel des bouleversements environnementaux dans les zones riveraines africaines et permettra de tester un outil pour mieux anticiper la réponse des ripisylves aux changements climatiques et mesurer les effets anthropiques sur leur dynamique.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

1) Contexte géographique et sites d'étude

La rivière Milo est l'un des affluents du Haut Niger en Guinée (Fig. 1). Longue de 480 km, elle se situe en Guinée, entre les latitudes 12°38' et 7°07'N et les longitudes 15°04' et 7°38'W. Son bassin versant couvre une superficie de 13 500 km², avec une altitude comprise entre 350 et 500 m. Le Milo prend sa source dans le Sud de la Guinée, dans la région de Nzérékoré. Le cours d'eau est constitué, dans sa partie amont, par la jonction de petits cours d'eau drainant un vaste plateau situé entre 800 et 1 050 m d'altitude au nord-est de Macenta. La rivière coule vers le nord, à travers la région de Kankan, avant de rejoindre le fleuve Niger à Niandakoro. À Kankan, le débit moyen du Milo est de l'ordre de 170 m³/s.

La plaine du Milo se caractérise par un sol d'alluvions quaternaires composé de limons fins et d'argile, encadré par des terrasses à sols ferrugineux tropicaux et, plus haut, des plateaux provenant de la dislocation d'une cuirasse latéritique ancienne avec surface gravillonnaire (F. FOREST, 2007). La végétation riveraine se concentre le long des berges du Milo et de ses affluents, ainsi que dans les anciens méandres de la rivière (Fig. 2). Les arbres étudiés se situent dans le chenal du Milo et de ses affluents, ainsi que sur les berges et les terrasses où la végétation devient progressivement de type savanicole. Les nombreux puits dans ces zones révèlent la présence d'une nappe alluviale peu profonde. En dehors du chenal, un peu plus en hauteur sur les berges, on peut trouver des ensembles morcelés de forêt sèche et, encore plus haut sur les terrasses, une savane arborée. Le long de certains affluents un peu encaissés subsistent quelques forêts sacrées, probablement alimentées par une nappe perchée.

La région de Kankan est soumise à un climat de savane à hiver sec (Aw selon la classification de KÖPPEN-GEIGER – M.C. PEEL *et al.*, 2007). Le climat local est caractérisé par deux saisons, l'une sèche, de six à sept mois (novembre à avril) ne recevant que 2 % des précipitations annuelles, et l'autre humide (mai à octobre), caractérisée par des précipitations importantes. La pluviométrie annuelle moyenne est de 1 480 ± 240 mm (1951-2016), avec un

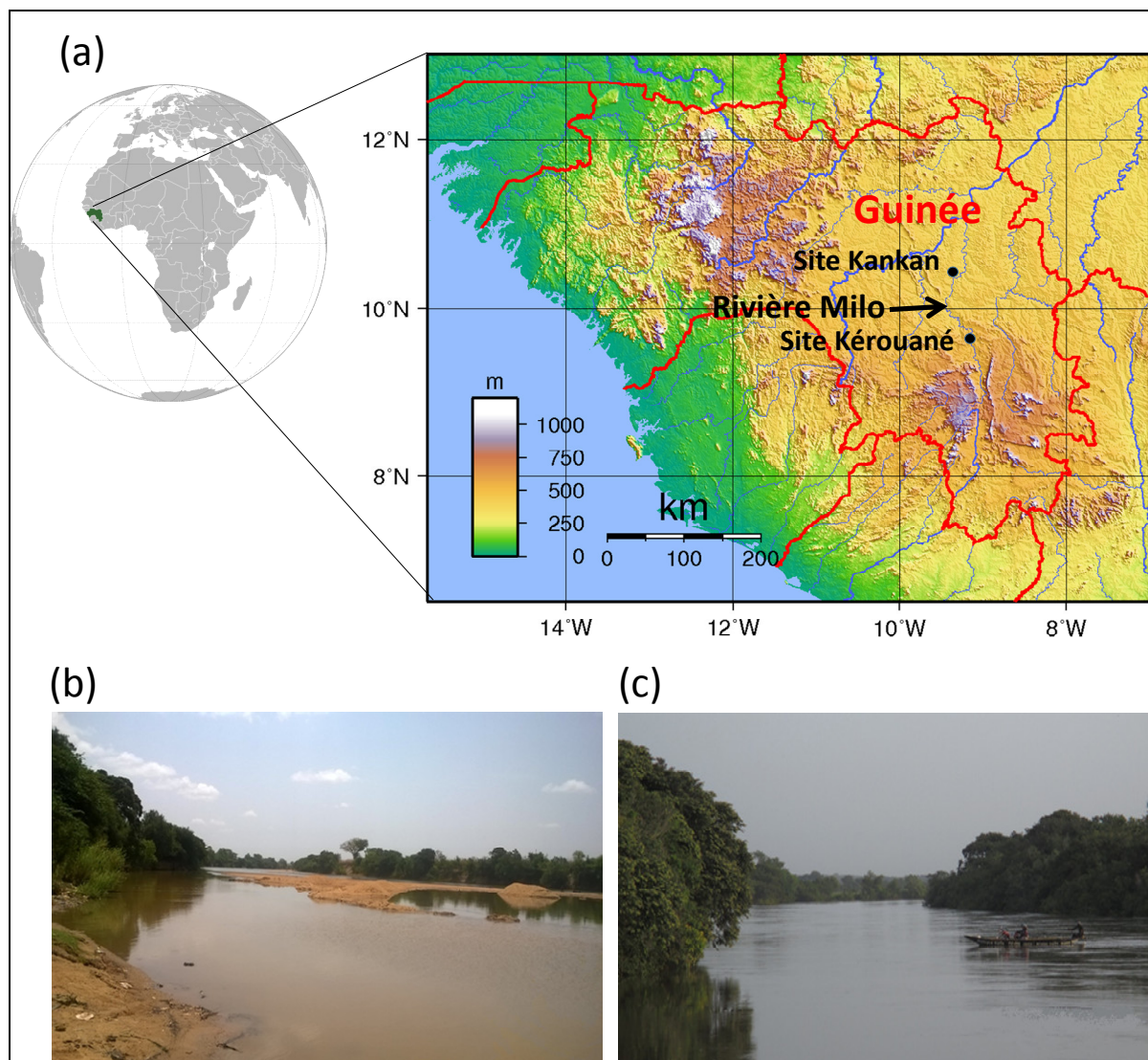


Figure 1 - Carte de localisation (a) de la rivière Milo, haut affluent du Niger en Guinée.
[clichés : Soumaïla CONDÉ]

Les deux sites d'étude (à proximité de Kankan et de Kérouané) sont reportés sur la carte. Les photographies montrent le lit mineur de la rivière Milo à proximité de Kankan : lors de la saison sèche (b) et lors de la saison humide (c).

taux d'évapotranspiration pouvant atteindre 1600 mm. La moyenne des températures mensuelles est de $26,5 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$ (1980-2009), avec de faibles variations saisonnières (de 5 à 8°C).

Ce travail exploratoire a débuté par le recueil et la synthèse de l'ensemble des données climatiques disponibles, notamment pour la station météorologique de l'aéroport de Kankan (pluviométrie 1951-2016 ; températures 1980-2009) et les données hydrologiques du Milo à Kankan (débits enregistrés de 1947 à 2016, avec quelques données manquantes). Cela nous a permis de tracer le diagramme ombrothermique de la région de Kankan, d'analyser la relation entre la pluviométrie et le débit du Milo et de déterminer les variations locales de la mousson africaine au cours des dernières décennies.

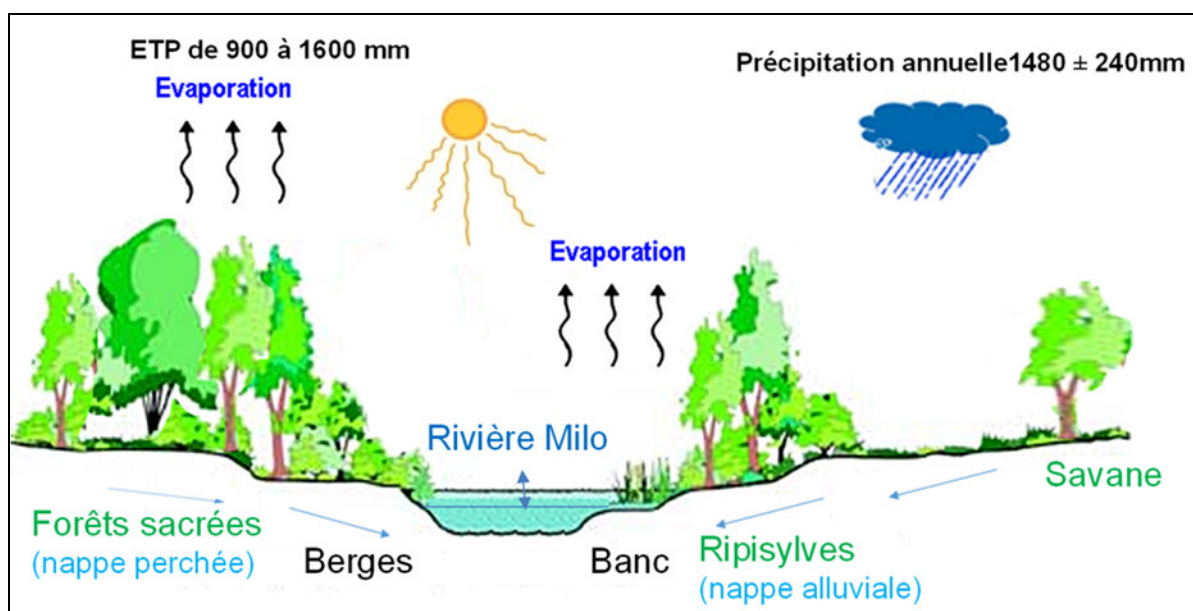


Figure 2 - Coupe transversale schématique de la plaine du Milo avec sa végétation et ses conditions hydriques.

Deux sites d'échantillonnage ont été choisis le long du Milo (Fig. 1). Le premier est situé au nord, à proximité de la ville de Kankan ($10^{\circ}21'49,36''N$; $9^{\circ}17'38,98''W$; altitude 369 m), dans un milieu fortement anthropisé ; le deuxième se trouve plus au sud, en amont de la rivière, à environ 100 km de Kankan dans une zone plus naturelle, dans la région de Kérouané, près du village de Fankono ($9^{\circ}32'11,42''N$; $9^{\circ}07'04,94''W$; altitude 487 m).

2) Liste des espèces étudiées

Treize espèces ligneuses ont été analysées sur l'ensemble des deux sites. La détermination des espèces s'appuie sur la flore de Guinée, sa clé de détermination et les appellations vernaculaires (S. LISOWSKI, 2009). Le tableau I livre la liste de ces espèces avec leur localisation et leur origine. La plupart de ces espèces appartiennent à la famille des *Fabaceae* (six espèces) et à celle des *Verbenaceae* (trois espèces). Parmi les espèces étudiées, neuf sont endémiques de l'Afrique de l'Ouest et quatre sont des espèces pantropicales que l'on retrouve sur les terrasses ou dans la savane (Tab. I).

3) Analyse dendrochronologique

a. Technique d'échantillonnage

L'analyse de la dynamique de formation du bois chez les arbres forestiers des zones tropicales a débuté dans les années 1920 (A. MARIAUX, 1967). Plusieurs méthodes ont été utilisées pour analyser la croissance annuelle radiale des arbres des forêts tropicales (P. DÉTIENNE et A. MARIAUX, 1975 ; P. DÉTIENNE et C. BARBIER, 1988 ; J.L. DENIVEAU, 1991 ; P. DÉTIENNE *et al.*, 1998 ; B.A. BATIONO *et al.*, 2001). Dans notre étude, nous avons recueilli des carottes et des sections transversales. Nous avons prélevé deux carottes par arbre (hauteur de tronc : 1,30 m) à la tarière de PRESSLER et des sections transversales de tronc à l'aide d'une scie. Au total, 87 arbres ont été échantillonnés : 76 ont été carottés et 11 ont fait l'objet de

Tableau I - Liste des treize espèces étudiées le long du cours du Milo, avec leur hauteur maximale, leur localisation et leur origine.

Espèce	Famille	Hauteur	Localisation	Origine
<i>Albizia zygia</i>	<i>Fabaceae</i>	30 m	Ripisylve	Afrique O
<i>Anthocleista nobilis</i>	<i>Loganiaceae</i>	18 m	Ripisylve	Afrique O
<i>Daniellia oliveri</i>	<i>Caesalpinaceae</i>	20-25 m	Ripisylve-savane	Afrique O
<i>Gmelina arborea</i>	<i>Verbenaceae</i>	15-20 m	Terrasse	Asie
<i>Mangifera indica</i>	<i>Anacardiaceae</i>	40 m	Terrasse	Asie (Inde)
<i>Parinari congensis</i>	<i>Chrysobalanaceae</i>	30 m	Ripisylve	Afrique O
<i>Pericopsis elata</i>	<i>Fabaceae</i>	40-50 m	Ripisylve	Afrique O
<i>Pericopsis laxiflora</i>	<i>Fabaceae</i>	10 m	Savane	Afrique O
<i>Pterocarpus angolensis</i>	<i>Fabaceae</i>	18 m	Ripisylve	Afrique O
<i>Pterocarpus santalinoides</i>	<i>Fabaceae</i>	15 m	Savane	Afrique O
<i>Tamarindus indica</i>	<i>Fabaceae</i>	20-25 m	Savane	Afrique E
<i>Tectona grandis</i>	<i>Verbenaceae</i>	25 m	Terrasse	Asie
<i>Vitex doniana</i>	<i>Verbenaceae</i>	12 m	Ripisylve-savane	Afrique O

Afrique O : Afrique de l'Ouest. Afrique E : Afrique de l'Est.

sections transversales. Le prélèvement d'une section transversale entraîne la mort de l'arbre, mais permet de vérifier le caractère continu des cernes que les carottes ne permettent pas de visualiser.

La lecture et l'interprétation des cernes ont été faites à la lumière des observations de A. MARIAUX (1967), pour qui les bois tropicaux présentent souvent une structure assimilable à un cerne "annuel" lors de l'examen à l'œil nu, mais qui ne résiste pas toujours à l'examen microscopique. Cela pose le problème de la définition du cerne en milieu tropical, ainsi que de son exploitation analytique sous ces latitudes. Il en résulte que la datation des arbres tropicaux par les techniques dendrochronologiques classiques est extrêmement délicate.

b. Traitement des échantillons et lecture des cernes

Le traitement des échantillons a été effectué au Laboratoire écologie fonctionnelle et environnement (UMR 5245 CNRS-Université Paul Sabatier, Toulouse, France). Après séchage à l'air libre, les échantillons ont été conditionnés dans une étuve ventilée à 30°C pendant une dizaine de jours pour un séchage complet. Nous avons ensuite procédé au ponçage en utilisant successivement une ponceuse à bande et une ponceuse orbitale équipées de papier émeri à grains de plus en plus fins (x60 à x1200). Cette opération a permis d'obtenir un plan transversal parfaitement lisse permettant la lecture macroscopique des cernes. La poussière du bois qui obturait les pores a été chassée à l'air comprimé pour faciliter la lecture.

La largeur des cernes a été mesurée à l'aide d'une loupe binoculaire montée sur le banc de mesures Lintab® piloté par le logiciel TSAP® (Rinntech®, Heidelberg, Allemagne). Ce dispositif permet de mesurer les largeurs de cerne avec une précision allant jusqu'à 0,01 mm. Les mesures ont été réalisées depuis l'écorce vers la moelle de chaque carotte et section (Fig. 3-a et 3-b).

Une fois les séries de largeurs de cernes mesurées, elles ont été interdatées afin d'attribuer à chaque cerne l'année de sa formation (H.C. FRITTS, 1976) et déterminer l'âge des arbres. Les valeurs ont ensuite été homogénéisées et moyennées pour chaque arbre (moyennes individuelles). Les moyennes individuelles ont ensuite été comparées aux moyennes représentatives des arbres voisins.

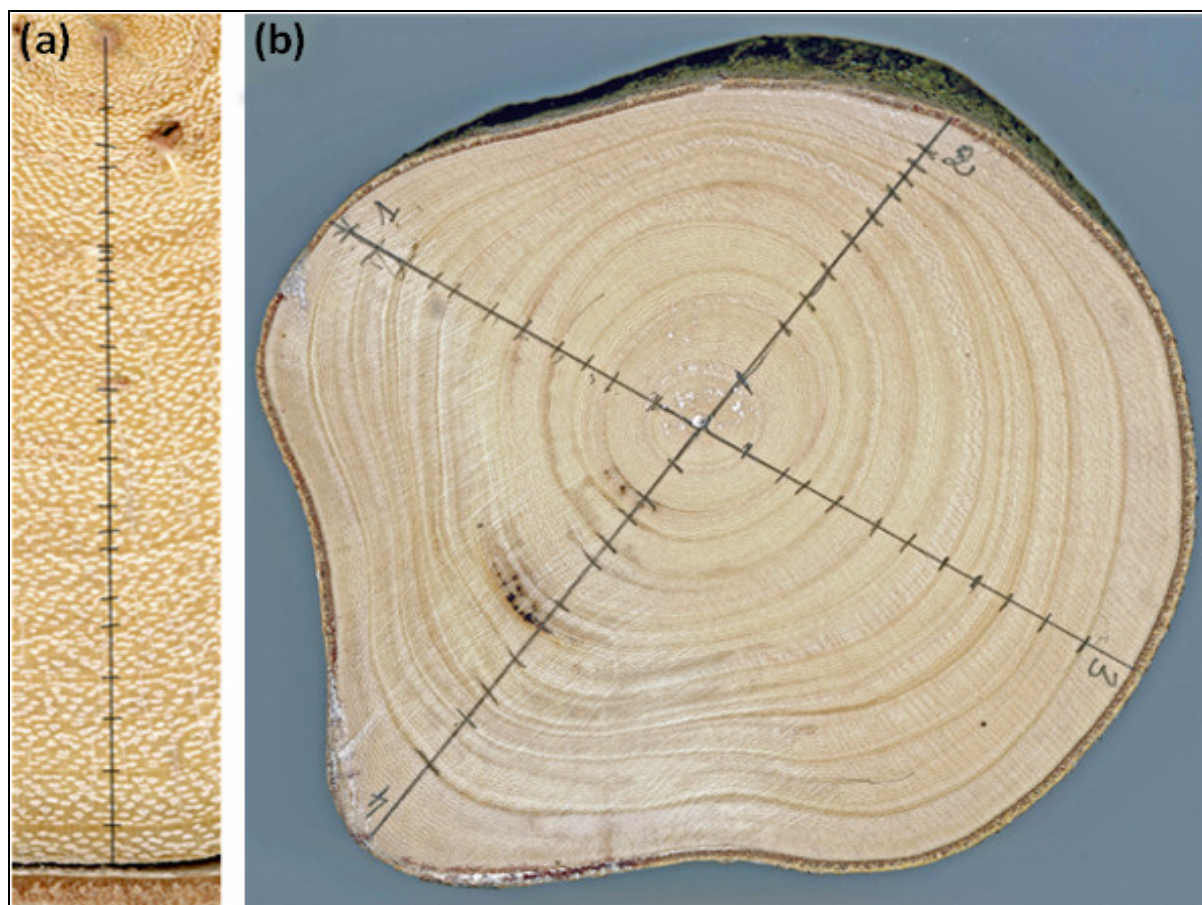


Figure 3 - Détail de sections transversales d'arbre analysées. [clichés : Soumaïla CONDÉ]

a : détail d'une section de *Tamarindus indica* avec notification des lignes de parenchyme terminal (rayon de 3,8 cm). b : section de *Pericopsis laxiflora* avec le tracé des 4 rayons pour l'interdatation des cernes (diamètre de 9,5 cm).

c. Analyse dendro-isotopique

Des échantillons de bois ont été prélevés sur chaque cerne des arbres à cernes bien distincts. La cellulose des échantillons a été extraite et les teneurs en ^{13}C et ^{18}O de la cellulose ont été mesurées. La teneur en $\delta^{13}\text{C}$ renseigne sur le rendement photosynthétique de l'arbre et sur sa régulation hydrique ; la teneur en $\delta^{18}\text{O}$ renseigne sur l'origine de l'eau utilisée par l'arbre.

L'analyse dendro-isotopique exploratoire a été réalisée sur trois sections : un *Tectona grandis* (7 ans), un *Tamarindus indica* (21 ans) et un *Pericopsis laxiflora* (26 ans). Sur chaque section, un parallélogramme rectangle, d'une largeur de 5 mm, a été re-scié le long d'un rayon. Chaque cerne a ensuite été délimité et découpé. Les échantillons ont été stockés dans des tubes Eppendorf de 2,5 ml. Pour la section de teck dont les cernes sont plus larges que pour les deux autres espèces, le bois initial a été séparé du bois final avant d'extraire la cellulose. Le mode opératoire adopté pour l'extraction de la cellulose est fondé sur les méthodes développées par T. WIELOCH *et al.* (2011) et par T. YOKOYAMA *et al.* (2002). Le protocole élimine d'abord les acides gras et les résines par un traitement à l'acétone. Ensuite, les échantillons sont traités avec une solution acidifiée d'hypochlorite de sodium pour éliminer la lignine du bois, puis rincés avec une solution basique de soude pour purifier l' α -cellulose. Enfin, les échantillons sont séchés dans une étuve à une température de 60°C pendant deux

jours puis conditionnés dans une capsule en étain pour le $\delta^{13}\text{C}$ ou en argent pour le $\delta^{18}\text{O}$.

Le carbone de la cellulose, issu de l'assimilation du CO_2 atmosphérique par l'arbre, peut être analysé *via* l'analyseur élémentaire par combustion à 1150°C avec apport d'oxygène. Cette méthode libère du CO_2 , qui est introduit dans le spectromètre IRMS pour mesurer le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ par comparaison avec un échantillon de CO_2 de référence. Les valeurs isotopiques du carbone sont obtenues par rapport à la référence PDB (Pee Dee Belemnite) et sont exprimées en ‰ par la relation [1] :

$$[1] \quad \delta^{13}\text{C} = \left(\left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{échantillon}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}}} - 1 \right) \right) \times 1000$$

La précision de la mesure isotopique du carbone est de 0,2 ‰.

Les caractéristiques isotopiques de l'oxygène de la cellulose, provenant de l'eau absorbée par l'arbre, sont obtenues par pyrolyse, c'est-à-dire par chauffage à 1450°C en absence d'oxygène de l'air, et avec ajout de carbone pur. Le gaz CO formé est introduit dans le spectromètre IRMS pour mesurer le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ par comparaison à un échantillon de CO de référence. Les valeurs isotopiques de l'oxygène sont données par rapport à la référence V-SMOW (*Vienna-Standard Mean Ocean Water*) et sont exprimées en ‰ par la relation [2] :

$$[2] \quad \delta^{18}\text{O} = \left(\left(\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{échantillon}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{V-SMOW}}} - 1 \right) \right) \times 1000$$

La précision de la mesure isotopique de l'oxygène est de 0,3 ‰.

III - RÉSULTATS

1) Contextes climatique et hydrologique

Sous climat de savane, les variations saisonnières sont fortes. La période la plus chaude et la plus sèche va de novembre à avril, avec des températures qui peuvent parfois dépasser 38°C , et une moyenne mensuelle voisine de 30°C (Fig. 4).

La mousson d'Afrique de l'Ouest dure de mai à octobre. Elle s'accompagne d'un rafraîchissement qui peut faire baisser la température jusqu'à 20°C . Le débit annuel moyen du Milo est de $169 \pm 45 \text{ m}^3/\text{s}$; il suit les variations pluviométriques mensuelles. Au cours de l'année, les arbres font donc face à une période chaude et sèche et à un étiage sévère qui dure entre six et huit mois.

Afin de visualiser les variations du débit et des précipitations sur le long terme, nous avons reconstitué une chronique annuelle de ces deux variables depuis 1950, et calculé une moyenne mobile sur trois ans pour chacune d'elles (Fig. 5). Outre une tendance générale à la baisse de la pluviométrie et du débit du Milo au cours des 65 dernières années, se distinguent une période humide au cours des années 1951-1971, une période de sécheresse de 1983 à 1993 et une période d'humidité moyenne entre 1994 et 2011. Un regain de la sécheresse est observé depuis 2011. Une forte corrélation a été dégagée entre le débit cumulé annuel du Milo et la pluviométrie annuelle sur la période 1951-2016 (corrélation de PEARSON : 0,72 ; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,52$).

Durant la période sèche, qui voit se conjuguer l'absence de précipitations et la baisse du niveau du Milo, se pose la question de l'alimentation hydrique des arbres. Si le sol argilo-limoneux a une certaine capacité à conserver de l'eau durant la période sèche, la présence d'arbres riverains suggère l'existence d'une nappe alluviale pérenne. Cette hypothèse a été testée à l'aide des analyses isotopiques.

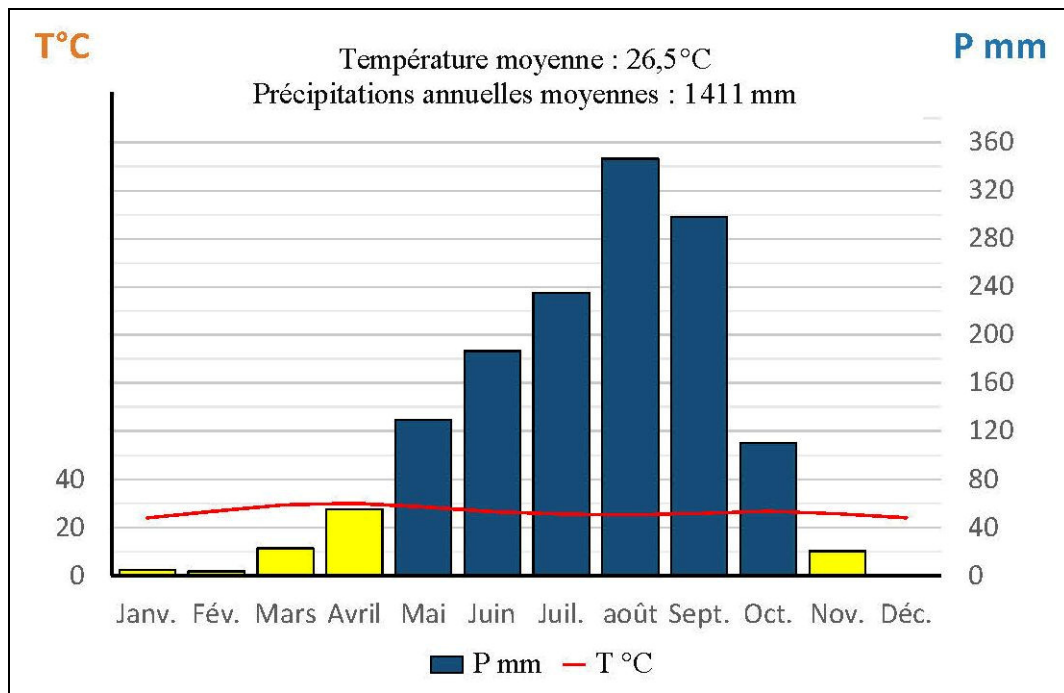


Figure 4 - Diagramme ombrothermique de Kankan établi à partir des moyennes mensuelles de température et de pluviométrie (Kankan : 1980-2009).

Les colonnes jaunes expriment les mois secs.

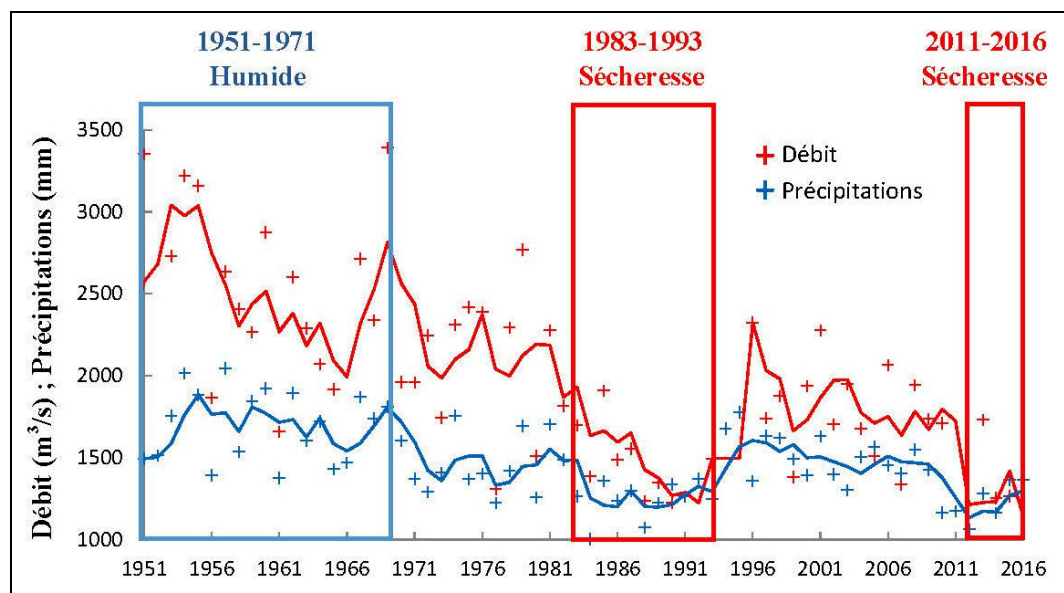


Figure 5 - Variation interannuelle de la pluviométrie et du débit du Milo (1951-2016) à Kankan sur la période 1951-2016.

2) Caractéristiques anatomiques de la structure du bois des espèces étudiées

L'alternance d'une saison humide et d'une saison sèche devrait entraîner la formation de cernes distincts sur les espèces étudiées. Néanmoins, la limite d'un cerne n'est pas due seulement à une période de repos, mais aussi à une particularité du plan ligneux propre au genre

botanique. La plupart des espèces appartenant à la famille des *Fabaceae* (*Albizia*, *Pericopsis*, *Pterocarpus* et *Tamarindus*) forment une fine ligne de parenchyme terminal (voir Fig. 3-a et 3-b) qui permet de délimiter plus ou moins bien le cerne. Nos observations montrent aussi qu'une même espèce peut présenter des variations anatomiques en fonction de la distance à la rivière et/ou des conditions hydriques stationnelles : les fines lignes de parenchyme peuvent être masquées par le diamètre des pores ou la couleur foncée du bois.

L'observation à la loupe binoculaire des échantillons a permis de caractériser et de décrire les structures anatomiques. Nous avons utilisé les critères de description proposés par A. WHEELER *et al.* (2007) et la classification de F. SCHWEINGRUBER (1992) (Tab. II). Sur les treize espèces étudiées, seules trois (*Pericopsis laxiflora*, *Tamarindus indica* et *Tectona grandis*) présentent des cernes bien lisibles (Tab. II). Deux autres espèces présentent des cernes discernables (*Gmelina arborea* et *Daniellia oliveri*) (Fig. 6). Les autres espèces présentent des limites de cernes peu ou non visibles.

Tableau II - Caractéristiques anatomiques des espèces sélectionnées sur les sites d'étude.

Espèce	Couleur aubier	Couleur duramen	Limite de cerne	Classe
<i>Albizia zygia</i>	Jaune clair	Jaune foncé	Peu distincte	3-4
<i>Anthocleista nobilis</i>	Clair	Clair	Peu distincte	5
<i>Daniellia oliveri</i>	Blanchâtre	Rouge-brun	Distincte	2
<i>Gmelina arborea</i>	Blanchâtre	Brun pâle	Distincte	1 et 2
<i>Mangifera indica</i>	Brun foncé	Brun foncé	Peu distincte	3-4
<i>Parinari congensis</i>	Brun clair	Brun foncé	Peu distincte	3-4
<i>Pericopsis elata</i>	Jaune pâle	Marron	Distincte	3
<i>Pericopsis laxiflora</i>	Jaune clair	Marron	Distincte	2
<i>Pterocarpus angolensis</i>	Jaune clair	Brun clair	Peu distincte	2-3
<i>Pterocarpus santalinoides</i>	Crème	Marron	Peu distincte	5
<i>Tamarindus indica</i>	Clair	Clair	Assez distincte	1 et 2
<i>Tectona grandis</i>	Jaune clair	Brun-jaune	Distincte	1
<i>Vitex doniana</i>	Jaune pâle	Jaune pâle	Indistincte	3-5

La classe, selon la classification de F. SCHWEINGRUBER (1992), est présentée dans la dernière colonne.

Classe 1 : limite des anneaux de croissance bien visible sur tout le pourtour du tronc, même lorsqu'ils deviennent étroits et resserrés.

Classe 2 : limite des zones de croissance visible pratiquement sur tout le pourtour du tronc, même lorsqu'elles sont plus étroites et/ou lorsqu'elles présentent quelques variations interannuelles. Elles restent parfaitement distinctes des limites d'anneaux de croissance de classe 1.

Classe 2-3 : limite des zones de croissance visible sur une partie du tronc, mais difficile à suivre sur la circonférence.

Classe 3 : la zone de croissance est plus ou moins distincte ; une partie seulement peut être suivie autour du tronc. L'âge du tronc ne peut être que grossièrement estimé.

Classe 3-4 : la zone de croissance est presque inexistante ; dans quelques cas, des bandes mal délimitées font le tour du tronc. L'âge de l'arbre ne peut plus être estimé.

Classe 4 : les variations sont visibles sur le tronc, mais ces bandes en font rarement le tour. Il devient impossible d'estimer l'âge de l'arbre.

Classe 5 : zones de croissance invisibles ; l'âge de l'arbre ne peut pas être estimé.



Figure 6 - Photographies des sections poncées des espèces de classe inférieure ou égale à 2 selon la classification de F. SCHWEINGRUBER (1992). [clichés : Soumaïla CONDÉ]

Sur la section de *Tectona grandis* (Fig. 7-a), on distingue bien la présence de vaisseaux larges (rectangles verts) durant la période de mousson. Le bois final, aux vaisseaux plus groupés, est formé en saison sèche (rectangles rouges). Les triangles bleus indiquent les limites de cernes annuels, bien visibles sur cette espèce. *Pericopsis laxiflora* et *Tamarindus indica* (Fig. 7-b et 7-c) présentent des cernes assez bien dénombrables pour être exploités en dendrochronologie.

3) Variabilité de la croissance radiale

La croissance radiale annuelle des arbres localisés sur les sites de Kankan et de Kérouané est reportée dans le tableau III. La croissance varie de 0,36 à 1,19 cm/an, avec des variations marquées entre espèces et entre sites. Globalement, les arbres du site de Kankan ($n = 56$), malgré un milieu plus anthropisé, poussent plus vite ($0,85 \pm 0,23$ cm/an) et sont aussi plus jeunes (26 ± 11 ans). Les arbres échantillonnés sur le site de Kérouané ($n = 20$) poussent un peu plus lentement ($0,65 \pm 0,26$ cm/an) et sont plus vieux (39 ± 25 ans).

Les résultats relatifs à la croissance des trois espèces dont les cernes sont les plus lisibles (sections transversales) sont reportés dans le tableau IV.

4) Analyses dendro-isotopiques

L'eau de pluie de mousson livre un signal appauvri en $\delta^{18}\text{O}$. À l'inverse, en saison sèche, la signature isotopique de l'eau alluviale prélevée dans les puits le long de la rivière Milo montre un signal moins appauvri de plusieurs unités $\delta^{18}\text{O}$ par rapport à l'eau de pluie de mousson. Cette différence permet donc de bien repérer les eaux de nappe. Les résultats dendro-isotopiques pour $\delta^{18}\text{O}$ -cellulose sont donnés dans le tableau V.

Les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ -cellulose de *Tectona grandis* ($-26,9 \pm 0,2$ ‰) et *Pericopsis laxifolia* ($-28,3 \pm 0,5$ ‰) sont assez proches et correspondent à des arbres poussant en

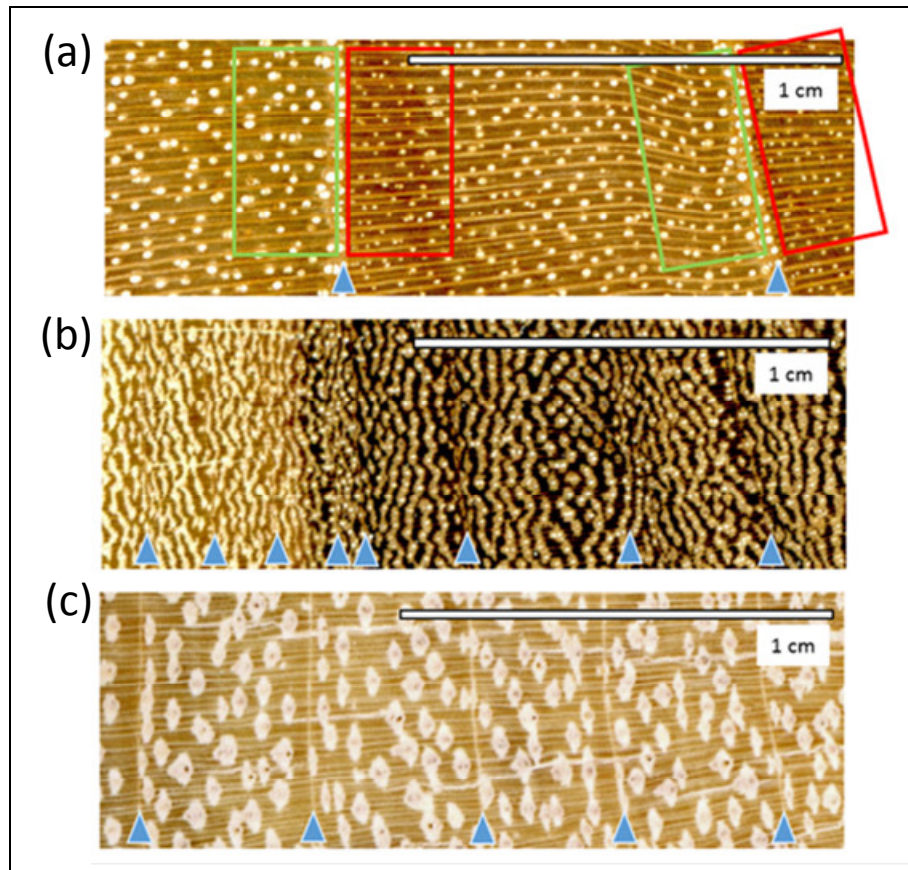


Figure 7 - Détail de l'anatomie des trois sections transversales utilisées pour la dendroisotopie, avec les limites de cernes marquées par un triangle bleu.

[clichés : Soumaïla CONDÉ]

a : *Tectona grandis*, avec le bois initial dans un cadre vert et le bois final dans un cadre rouge.

b : *Pericopsis laxiflora*. c : *Tamarindus indica*.

Tableau III - Comparaison intersites du nombre (n), de la croissance moyenne (CM), de l'âge moyen, de l'âge minimal, de l'âge maximal, du diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et de la distance à la rivière des espèces d'arbres carottés par station.

Site	Espèce	Date	n	CM (cm/an)	Âge moyen	Âge minimal	Âge maximal	DHP (cm)	Distance (m)
Kankan	<i>Tectona grandis</i>	2015	6	0,75±0,31	26,0±14,2	15	53	21,5±6,4	242
Kankan	<i>Tectona grandis</i>	2016	8	0,54±0,08	49,5±5,0	40	53	31,0±6,3	452
Kankan	<i>Tectona grandis</i>	2016	7	1,13±0,52	20,9±4,6	15	26	28,2±14,2	287
Kankan	<i>Mangifera indica</i>	2015	10	0,84±0,15	24,9±5,6	16	31	26,5±7,9	104
Kankan	<i>Vitex doniana</i>	2015	6	0,75±0,14	19,8±5,5	10	25	15,8±9,4	47
Kankan	<i>Pterocarpus sant.</i>	2015	9	0,76±0,22	23,9±8,4	15	35	17,6±5,9	8
Kankan	<i>Gmelina arborea</i>	2015	10	1,19±0,22	16,9±5,4	14	28	24,4±7,5	192
Kérouané	<i>Tectona grandis</i>	2015	2	0,57±0,04	34,5±9,2	28	41	28,9±0,1	200
Kérouané	<i>Mangifera indica</i>	2015	2	0,84±0,01	31,5±2,1	30	33	42,2±3,4	160
Kérouané	<i>Vitex doniana</i>	2015	4	0,65±0,18	25,8±6,7	19	32	20,7±4,5	28
Kérouané	<i>Vitex doniana</i>	2015	4	0,61±0,16	19,3±5,9	12	25	11,7±4,8	10
Kérouané	<i>Pterocarpus santalinoides</i>	2015	2	1,11±0,01	17,0±0,0	17	17	21,6±5,7	200
Kérouané	<i>Gmelina arborea</i>	2016	3	0,36±0,09	84,7±15,0	77	102	40,4±8,6	252
Kérouané	<i>Daniellia oliveri</i>	2016	3	0,38±0,26	60,0±4,2	55	62	14,3±7,0	204

Les âges sont exprimés en années. L'écart-type est indiqué pour la CM, l'âge moyen et le DHP.

Tableau IV - Croissance radiale suivant les quatre rayons (R1 à R4) tracés sur les sections transversales de trois espèces d'arbres.

Espèce	Âge	Diamètre (cm)	Croissance radiale (cm/an)				Moyenne
			R1	R2	R3	R4	
<i>Pericopsis laxiflora</i>	21	12	0,32	0,27	0,33	0,29	0,30 ± 0,03
<i>Tamarindus indica</i>	11	6,5	0,34	0,30	0,28	0,33	0,31 ± 0,03
<i>Tectona grandis</i>	7	18	1,14	1,12	1,17	1,16	1,13 ± 0,02

Tableau V - Valeurs moyennes et écart-types des mesures dendro-isotopiques pour les trois espèces étudiées. (n) représente le nombre de cernes mesurés.

Espèce	Nombre de cernes	$\delta^{13}\text{C}$ moyenne	$\delta^{18}\text{O}$ moyenne
<i>Pericopsis laxiflora</i>	21	-28,3 ± 0,5	-32,4 ± 0,4
<i>Tamarindus indica</i>	11	-30,2 ± 0,7	-31,9 ± 1,2
<i>Tectona grandis</i>	7	-26,9 ± 0,2	-32,3 ± 0,6

Nombre de cernes : nombre de cernes mesurés.

milieu plus ouvert comme la savane. Au contraire, la valeur moyenne de *Tamarindus indica* (-30,2 ± 0,7 ‰) est nettement plus appauvrie et correspond à un milieu forestier plus fermé. Au cours des années plus humides, une baisse des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (valeurs plus appauvries en ^{13}C) est observée pour *Pericopsis laxiflora*, comme en témoigne la corrélation trouvée entre ces deux variables (Fig. 8).

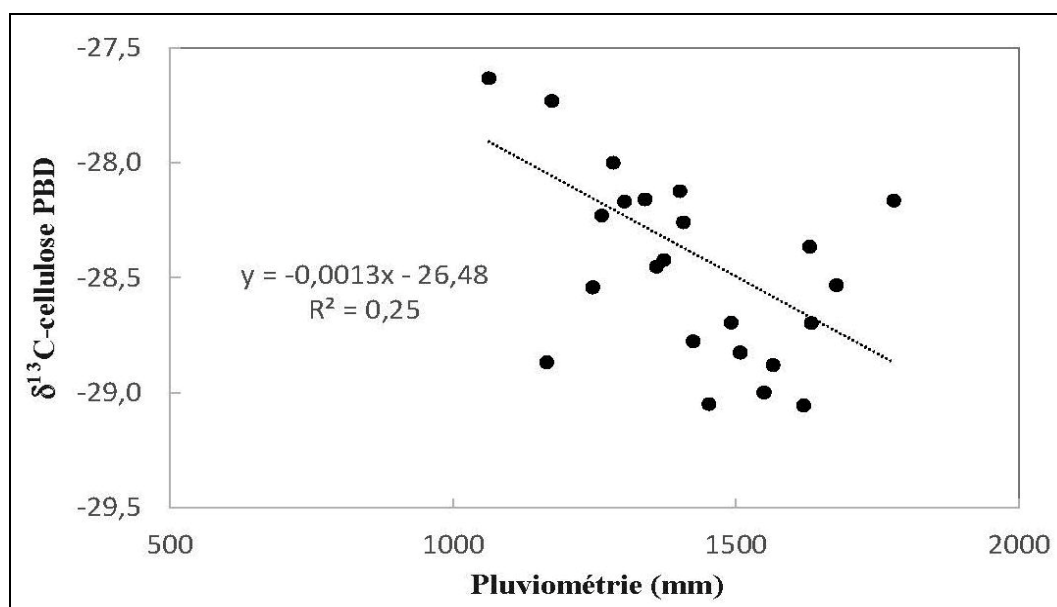


Figure 8 - Relation entre la pluviométrie (mm/an) et le $\delta^{13}\text{C}$ pour *Pericopsis laxiflora*.

Les valeurs moyennes de $\delta^{18}\text{O}$ -cellulose sont plus proches et plus synchrones pour les trois espèces (Fig. 9). Les valeurs minimales de $\delta^{18}\text{O}$ sont trouvées pendant, ou juste après, les

années les plus sèches (2012, 2003, 2000, 1996 et 1993, signalées sur la figure 9 par une flèche descendante) ou lorsque la mousson arrive très tardivement (septembre) comme en 2009 (flèche vers le haut).

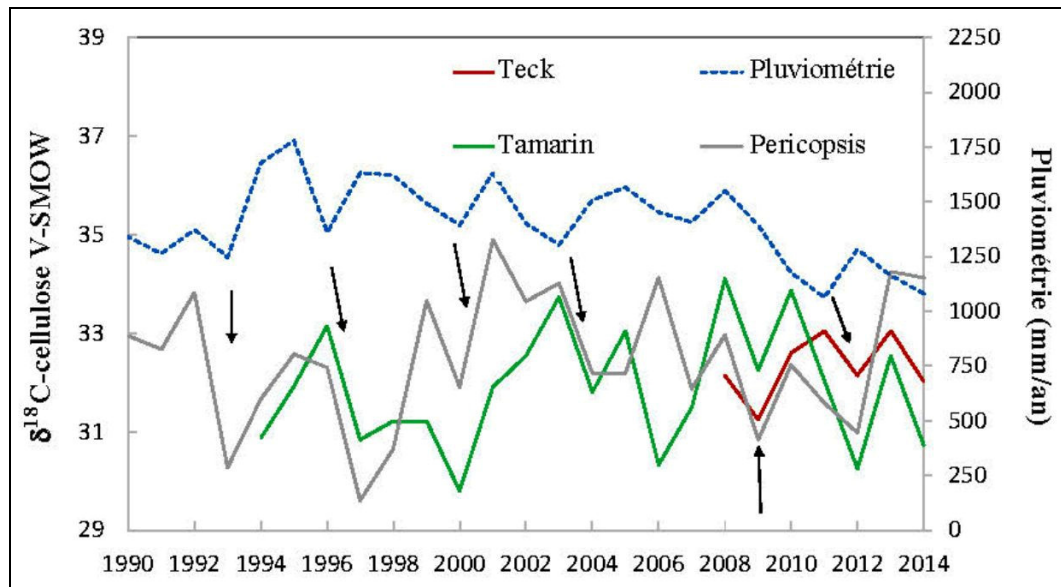


Figure 9 - Valeurs annuelles du $\delta^{18}\text{O}$ de la cellulose des trois espèces et influence des années les plus sèches marquées par une flèche (2012, 2003, 2000, 1996 et 1993).

Teck : *Tectona grandis*. Tamarin : *Tamarindus indica*. Pericopsis : *Pericopsis laxiflora*.

Pour *Tectona grandis*, qui présente des cernes plus larges, nous avons pu distinguer le bois initial, formé en début de croissance lors de l'arrivée de la mousson, du bois final, formé à la fin de la saison humide (voir Fig. 7-a). Les résultats isotopiques relatifs à $\delta^{18}\text{O}$ -cellulose sont reportés dans la figure 10.

Des variations importantes sont notées d'une année à l'autre, allant jusqu'à 3,8 unités pour le bois initial et jusqu'à 5 unités pour le bois final. Les premières années de croissance (2008-2010) sont plus humides, avec des moussons qui arrivent tôt. Le signal est appauvri en ^{18}O , avec des valeurs plus faibles pour le bois initial. À l'inverse, pour le bois final, notamment pour les années 2009 et 2010, les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ -cellulose sont plus élevées, caractéristiques d'eau de nappe, suite à un déficit hydrique survenu en fin de saison de croissance. En 2012, on observe une inversion des valeurs isotopiques entre bois initial et bois final, une faible mousson en début de saison ne résorbant pas le déficit hydrique de la saison sèche. Ensuite, un deuxième pic de mousson tardif arrive en septembre, qui a pour effet de saturer le sol en eau plus appauvrie en ^{18}O (valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ -cellulose plus faibles). Pour le $\delta^{13}\text{C}$ -cellulose, on observe une tendance similaire, mais moins marquée et avec des différences de valeurs plus faibles : 1,4 unité pour le bois initial et 0,7 unité pour le bois final.

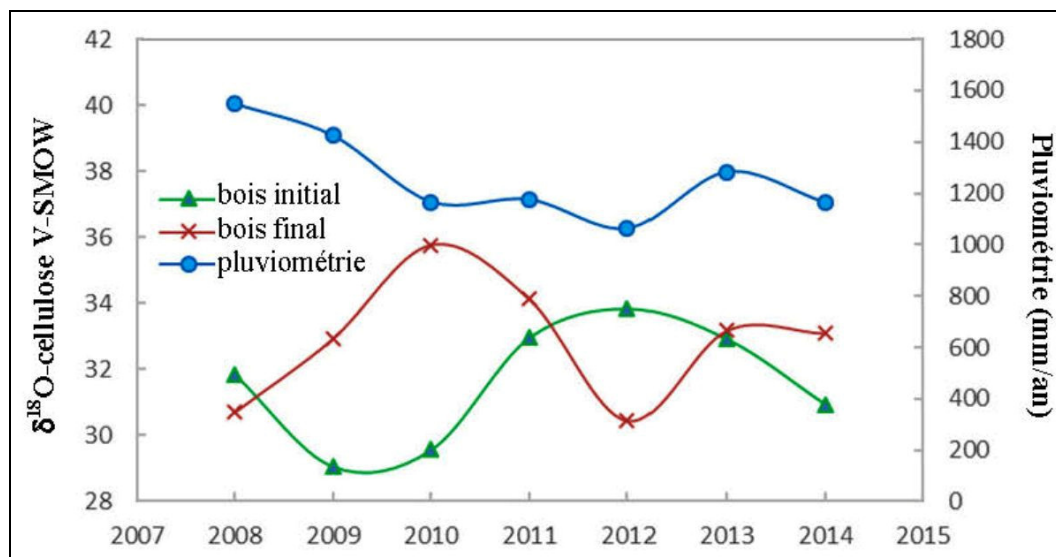


Figure 10 - Teneurs en $\delta^{18}\text{O}$ de la cellulose du bois initial (début de croissance lors de l'arrivée de la mousson) et du bois final (fin de mousson) de la section transversale de *Tectona grandis* mesurées sur la période 2008-2014, et pluviométrie annuelle.

IV - DISCUSSION

1) Croissance radiale

Nos résultats montrent que la lisibilité des cernes des arbres tropicaux africains en contexte semi-aride varie d'une essence à l'autre. Les espèces à feuilles caduques apparaissent comme étant plus sensibles aux variations saisonnières de pluviométrie que celles à feuilles sempervirentes (X. MORIN *et al.*, 2007). Nous avons trouvé des limites de cernes bien distinctes pour *Tectona grandis*, *Pericopsis laxiflora* et *Tamarindus indica*. Ces résultats corroborent d'autres observations effectuées en milieu tropical africain, notamment les travaux de A. MARIAUX (1967, 1969, 1970), P. DÉTIENNE et A. MARIAUX (1977) et P. DÉTIENNE *et al.* (1998) en Côte d'Ivoire (voir aussi P. DENIVEAU, 1991 ; L. DURRIEU de MADRON *et al.*, 2000) et en Afrique centrale (F. FÉTÉKÉ *et al.*, 2016). J.K. MAINGI (2006), dans la vallée du Tana au Kenya, a trouvé des cernes lisibles pour *Tamarindus indica*. Sur 24 espèces étudiées au Gabon, A. MARIAUX (1967) a trouvé des cernes lisibles pour *Alzelia africana*, *Anthocleista kerstingii*, *Cassia siamea*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Isobertinia doka*, *Lannea acida*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus erinaceus* et *Tectona grandis*. Dans cette liste, la majorité de ces arbres, à part le teck, appartiennent à la famille des *Fabaceae*.

Comme le rappelle R. BELLEFONTAINE *et al.* (1997), la formation du bois, sous les tropiques, est rythmée par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide. Nos observations suggèrent que la visibilité des cernes n'est peut-être pas due qu'à une période de repos durant la saison sèche, mais aussi à une réponse du plan ligneux au stress hydrique. Il s'agit d'une différence anatomique entre le bois initial de l'année t et le bois final de l'année $t-1$ (bien lisible sur le bois du teck), matérialisée par une ligne caractéristique, telle une ligne de parenchyme entre ces deux zones (cas du tamarin). R. BELLEFONTAINE *et al.* (1997) précisent néanmoins qu'un effet lié à la station intervient probablement aussi. En effet, nous avons noté que, suivant les sites, *Daniella oliveri* ne présente pas toujours des cernes lisibles.

Nos résultats mettent aussi en évidence une forte variabilité dans la croissance radiale moyenne des espèces étudiées, allant de 0,36 cm/an (*Daniellia oliveri*) à 1,19 cm/an (*Tectona grandis*). Pour une même espèce, le teck, on observe aussi une variabilité suivant les stations, les valeurs allant de 0,54 à 1,13 mm/an. P. DÉTIENNE *et al.* (1998) ont dressé un tableau récapitulatif de la croissance radiale à partir de toutes les études disponibles en forêt dense africaine. Les valeurs s'échelonnent de 0,3 à 1,5 cm/an. Les plus élevées (> 1 cm/an) concernent les espèces forestières pionnières, tels l'ayous (*Triplochiton scleroxylon*), le fraké (*Terminalia superba*) ou l'okoumé (*Aucoumea klaineana*). Nos résultats sur le teck montrent que, dans de bonnes conditions hydriques, la croissance diamétrale peut aussi atteindre de telles valeurs. Les études réalisées en Namibie sur *Pterocarpus angolensis* ont montré une relation positive entre la croissance et la pluviométrie (A. MARIAUX, 1969 ; E. FICHTLER *et al.*, 2004). *Pterocarpus santalinoides* aurait une croissance élevée pendant la mousson (C. KY-DEMBELE *et al.*, 2016). À l'inverse, la croissance de *Tamarindus indica* est très lente, surtout sur des sols soumis à un déficit hydrique (S. BOUROU, 2012). Cela vaut aussi dans notre contexte, car nous avons observé une croissance diamétrale moyenne de 0,34 cm/an avec un écart-type de 0,24.

2) Utilisation de l'eau

Les études dendro-isotopiques sont encore très rares en Afrique, où l'on peut citer les travaux récents de A. GEBRISTOS *et al.* (2011) sur *Slerocarya birrea*, E. FICHTLER *et al.* (2010) sur *Terminalia superba* et *Terminalia sericea*, et S. WOODBORNE *et al.* (2015) sur *Adonsonia digitata*. Nos premières analyses dendro-isotopiques sur la rivière Milo sont donc originales et novatrices. Elles confirment que les conditions hydriques affectent les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ de la cellulose. Le signal du $\delta^{13}\text{C}$, plus intégratif, traduit le rendement photosynthétique global et pourrait refléter l'alternance des périodes sèches et humides. Il est aussi représentatif de la régulation hydrique des arbres, telle la fermeture des stomates des feuilles qui réduit l'évapotranspiration et augmente le fractionnement isotopique. Le signal du $\delta^{18}\text{O}$ est, lui, plus sensible aux variations annuelles de pluviométrie et à l'impact des années sèches. Dans nos échantillons, les variations importantes des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ entre le bois initial et le bois final de la section de teck expriment probablement une différence dans l'origine de l'eau entre l'eau atmosphérique saisonnière de la mousson et l'eau davantage pérenne de la nappe alluviale. Il n'a malheureusement pas été possible, dans le cadre de cette étude, de prélever des échantillons dans les forêts sacrées, véritables petites réserves naturelles, afin d'étudier le fonctionnement de ces arbres dans un contexte de nappe perchée.

In fine, nos résultats dendro-isotopiques suggèrent un fort potentiel de cette approche dans le cadre des études dendrochronologiques et physiologiques en milieu tropical à saisons contrastées. L'association de la dendro-isotopie à une approche dendrochronologique plus classique sur des espèces compatibles pourrait s'avérer particulièrement précieuse pour estimer l'impact des changements globaux sur la dynamique des ripisylves africaines dans les zones semi-arides.

V - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis, pour la première fois, d'estimer l'âge et la vitesse de croissance de treize espèces d'arbres riverains poussant dans le bassin du Milo en Guinée. La plupart des arbres riverains adultes semblent avoir entre 20 et 55 ans. Seuls quelques arbres (*Daniellia*

oliveri et *Pericopsis laxiflora*) sur le site de Kérouané auraient des âges compris entre 60 et 100 ans. Concernant la vitesse de croissance, à part *Daniellia oliveri*, *Pericopsis laxiflora* et *Tamarindus indica*, qui ont une croissance radiale lente, estimée à 0,3 cm/an, l'ensemble des dix autres espèces ont des croissances plus fortes, avec des valeurs estimées entre 0,5 et 1,2 cm/an. Ces croissances plus fortes suggèrent la faible influence à la fois de la saison sèche, qui dure entre cinq et sept mois entre deux moussons, et de l'étiage de la rivière Milo sur ces arbres riverains. Des mesures isotopiques sur l'hydrologie de la rivière Milo et de ses affluents (L. LAMBS, inédit) et les résultats obtenus sur les cernes du teck confirment la présence d'une nappe alluviale qui servirait de réservoir hydrique pour les arbres riverains durant la saison sèche.

Cette étude montre aussi qu'outre le teck, qui forme de véritables cernes annuels bien visibles, *Pericopsis laxiflora* et *Tamarindus indica* se révèlent deux espèces probantes pour les études dendrochronologiques. Toutefois la forte pression anthropique – qui se manifeste par des prélèvements de branches, de feuilles et d'écorce sur les arbres, mais aussi par l'utilisation du brûlis – et les effectifs d'échantillonnage souvent contraints par la rareté des arbres d'une même espèce poussant dans des conditions hydriques similaires, rendent les études cerne-climat à l'échelle locale particulièrement difficiles.

Remerciements : Ce travail d'équipe a bénéficié du soutien financier de Campus France à travers son ambassade en Guinée, et également de l'appui financier et matériel du Laboratoire écologie fonctionnelle et environnement de l'Université Paul Sabatier - Toulouse 3,. Nous remercions en outre l'un de nos réviseurs, resté anonyme, pour ses précieux conseils.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BATIONO B.A., OUEDRAOGO S.J. et GUINKO S. (2001) - Seed longevity and stress survival of seedlings of *Azelia africana* Sm. in a woody Savannah in Burkina Faso. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 58, n° 1, p. 69-75.
- BELLEFONTAINE R., GASTIN A. et PETRUCCI Y. (1997) - *Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches*. Édit. FAO, Cahier FAO conservation n° 32, Food and Agriculture Org, Rome (Italie), 316 p.
- BOUROU S. (2012) - *Étude éco-physiologique du tamarinier (Tamarindus indica L.) en milieu tropical aride*. Thèse de doctorat, Université de Gand (Belgique), 159 p. + *curriculum vitae*.
- COSTER C.H. (1927) - Zur anatomie und physiologie der zuwachszone. *Annales du Jardin botanique de Buitenzorg*, vol. 37, p. 49-160.
- DENIVEAU J.L. (1991) - Variabilité de la croissance en circonférence des arbres dans les forêts semi-décidues de Lamto (Côte d'Ivoire). *Revue d'Écologie. Terre et Vie*, vol. 46, n° 2, p. 95-124.
- DÉTIENNE P. et BARBIER C. (1988) - Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Française. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 217, p. 63-76.
- DÉTIENNE P. et MARIAUX A. (1975) - Nature et périodicité des cernes dans le bois de Niangon. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 159, p. 29-37.

- DÉTIENNE P. et MARIAUX A. (1977) - Nature et périodicité des cernes dans les bois rouges de méliacées africaines. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 175, p. 52-61.
- DÉTIENNE P., OYONO F., DURRIEU de MADRON L., DEMARQUEZ B. et NASI R. (1998) - *L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine*. Édit. CIRAD, série "FORAFRI", Montpellier, 36 p.
- DURRIEU de MADRON L., NASI R. et DÉTIENNE P. (2000) - Accroissement diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 263, p. 63-74.
- FÉTÉKÉ F., FAYOLLE A., DAINOU K., BOURLAND N., DIÉ A., LEJEUNE P. et BEECKMAN H. (2016) - Variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 330, p. 4-19.
- FICHTLER E., TROUET V., BEECKMAN H., COPPIN P. et WORBES M. (2004) - Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees*, vol. 18, n° 4, p. 442-451.
- FICHTLER E., HELLE G. et WORBES M. (2010) - Stable-carbon isotope time series from tropical tree rings indicate a precipitation signal. *Tree-ring research*, vol. 66, n° 1, p. 35-49.
- FOREST F. (2007) - *Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest : choix définitif pour les études préliminaires dans chaque pays*. Édit. CIRAD, projet n°015403 : "Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest", rapport WP6-D31, Montpellier, 21 p., en ligne : https://agritrop.cirad.fr/562783/1/document_562783.pdf.
- FRITTS H.C. (1976) - *Tree-rings and climate*. Édit. Academic Press - Elsevier, Londres (Royaume-Uni), 576 p.
- GEBRISTOS A., BRAUNING A., VAN NOORDWIJK M. et MITLOHNER R. (2011) - Understanding past, present and future climate changes from East to West Africa. In : *Agricultural innovations for sustainable development. Contributions from the finalists of the 2009/2010 Africa-wide women and young professionals in science competitions*, actes de colloque (Accra, Ghana), Édit. CTA/FARA, vol. 3, n° 2, p. 77-86, en ligne : https://issuu.com/fara-africa/docs/fara_agri_innovations_book_lr.
- GEBRISTOS A., BRAUNING A., SASSA-KLASSEN U. et MBOW C. (2014) - Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 6, p. 48-53.
- GREGORY S.V., SWANSON F.J., MCKEE W.A. et CUMMINS K.W. (1991) - An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, vol. 41, n° 8, p. 540-551.
- JACOBY G. (1989) - Overview of tree ring analysis in tropical regions. *IAWA Journal n.s.*, vol. 10, n° 2, p. 99-108.
- KY-DEMBELE C., BAYALA J., KALINGANIRE A., TRAORÉ F.T., KONÉ B. et OLIVIER A. (2016) - Clonal propagation of *Pterocarpus santalinoides* L'Hér. ex DC.: the effect of substrate, cutting type, genotype and auxin. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, vol. 78, n° 3, p. 193-199.
- LAMBS L. et BERTHELOT M. (2002) - Monitoring of water from the underground to the tree: first results with a new sap extractor on a riparian woodland. *Plant and Soil*, 241, n° 2,

p. 197-207.

- LAMBS L., LOUBIAT M., GIREL L., TISSIER J., PELTIER J.P. et MARIGO G. (2006) - Survival and acclimation of *Populus nigra* to drier conditions after damming of an alpine river, southeast France. *Annals of Forest Science*, vol. 63, n° 4, p. 377-385.
- LISOWSKI S. (2009) - *Flore (angiospermes) de la République de Guinée*. Édité. Jardin Botanique National de Belgique, collection "Scripta Botanica Belgica", vol. 41-42, Meise (Belgique), 1082 p.
- MAINGI J.K. (2006) - Growth rings in the tree species from the Tana River. *Journal of East African Natural History*, vol. 95, n° 2, p. 181-211.
- MARIAUX A. (1967) - Les cernes dans les bois tropicaux africains : nature et périodicité. Peuvent-ils révéler l'âge des arbres ? *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 113, p. 3-14.
- MARIAUX A. (1969) - La périodicité des cernes dans le bois de Limba. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 128, p. 39-54.
- MARIAUX A. (1970) - La périodicité de formation des cernes dans le bois de L'Okoumé. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 131, p. 37-50.
- MARIAUX A. (1975) - Essai de dendroclimatologie en climat sahélien sur *Acacia raddiana*. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 163, p. 27-35.
- MARIAUX A. (1981) - Past efforts in measuring age and annual growth in tropical trees. In : *Age and growth rate of tropical trees: new directions for research*. F.H. BARMAN et G. BERLYN édit., Édité. Yale University - Yale School of Forestry and Environment Studies, Bulletin n° 6, New Haven (USA), p. 20-30.
- MBOW C., CHHIN S., SAMBOU B. et SKOLE D. (2013) - Potential of dendrochronology to assess annual rates of biomass productivity in savanna trees of West Africa. *Dendrochronologia*, vol. 31, n° 1, p. 41-51.
- MEA (2005) - *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Édité. World Resources Institute, Millennium Ecosystem Assessment, Washington (USA), 86 p.
- MORIN X., AMEGLIO T., AHAS R., KURZ-BESSON C., LANTA V., LEBOURGEOIS F., MIGLIETTA F. et CHUINE I. (2007) - Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenance of three European oak species. *Tree Physiology*, vol. 27, n° 6, p. 817-825.
- MUNAUT A.V. (1979) - La dendrochronologie. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, vol. 16, n° 1-2, p. 65-74.
- NAIMAN R.J. et DÉCAMPS H. (1997) - The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 28, n° 1, p. 621-658.
- NAIMAN R.J., DÉCAMPS H. et POLLOCK M. (1993) - The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, vol. 3, n° 2, p. 209-212.
- NAIMAN R.J., DÉCAMPS H. et MCCLAIN M.E. (2005) - *Riparia - Ecology, conservation and management of streamside communities*. Édité. Academic Press - Elsevier, Londres (Royaume-Uni), 448 p.
- PEEL M.C., FINLAYSON B.L. et MCMAHON T.A. (2007) - Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, vol. 4, n° 2, p. 439-473.

-
- ROZENDAAL D.M.A et ZUIDEMA P.A. (2010) - Dendroecology in the tropics: a review. *Trees*, vol. 25, n° 1, p. 3-16.
- SCHWEINGRUBER F.H. (1992) - Annual growth rings and growth zones in woody plants in southern Australia. *IAWA Bulletin*, vol. 13, p. 359-379.
- SEITZ R.A. et KANNINEN M. (1989) - Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil: preliminary results. *IAWA Bulletin n.s.*, vol. 10, n° 4, p. 170-174.
- STAHL D.W. (1999) - Usefull strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal*, vol. 20, n° 3, p. 249-253.
- TOMLINSON P.B. et LONGMAN K.A. (1981) - Growth phenology of tropical trees in relation to cambial activity. In : *Age and growth rate of tropical trees: new directions for research*, F.H. BARMAN et G. BERLYN édit., Édit. Yale University - School of Forestry and Environment Studies, Bulletin n° 94, New Haven (USA), p. 7-19.
- VILLALBA R. et BONINSEGNA J.A. (1989) - Dendrochronological studies on *Prosopis flexuosa* DC. *IAWA Bulletin n.s.*, vol. 10, n° 2, p. 155-160.
- WHEELER E.A., BAAS P. et GASSON P.E., sous la direction de (2007) - *List of microscopic features for hardwood identification*. *IAWA Bulletin n.s.*, vol. 10, n° 3, p. 219-332.
- WIELOCH T., HELLE G., HEINRICH I., VOIGT M. et SCHYMA P. (2011) - A novel device for batch-wise isolation of α -cellulose from small-amount wholewood samples. *Dendrochronologia*, vol. 29, n° 2, p. 115-117.
- WOODBORNE S., HALL G., ROBERTSON I., PATRUT A., ROUAULT M., LOADER N.J. et HOFMEYR M. (2015) - A 1000-year carbon isotope rainfall proxy record from South African baobab trees (*Adonsonia digitata* L.). *PLoS One*, vol. 10, n° 5, en ligne : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0124202>.
- WORBES M. (2002) - One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, vol. 20, n° 1-2, p. 217-231.
- YOKOYAMA T., KADLA J.F. et CHANG H.M. (2002) - Microanalytical method for the characterization of fiber components and morphology of woody plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, n° 5, p. 1040-1044.

Article soumis le 14 novembre 2019.

Texte accepté après révision le 27 septembre 2020.

Mise en ligne le 6 octobre 2020.