

Estimation de l'indice foliaire des couverts forestiers du Gabon par télédétection optique

NZIENGUI Marcellin§, NEZRY Edmond§§, RIERA Bernard§§§, RUDANT Jean-Paul§§§§, DEROIN Jean Paul, ROPIVIA Marc Louis§§§§§

§ Ecole Nationale des Eaux et Forêts, B.P 3960 Libreville, Gabon, Tél : (+241) 07 593 176

E-mail : m_nziengui@yahoo.fr

§§ ParBleu Technologies Inc./Privateers NV, 79, Rue Veilleux, Saint-Jean-Sur-Richelieu, Québec, Canada, J3B 3W7

§§§ Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, France, GIP ECOFOR, 6, Rue du Général Clergerie 75116 Paris

§§§§ UMLV, Université de Marne-la-Vallée, France, Institut Francilien des Sciences Appliquées, Laboratoire Géomatériaux et Géologie de l'Ingénieur, 5 Bd Descartes, Champs sur Marne, 77454 Marne la Vallée

§§§§§ UOB, Université Omar Bongo, Gabon, Département de géographie, B.P. 10271 Libreville

Mots-clés : Estimations - Télédétection - LAI - Structures forestières - Gabon

Résumé

La comparaison entre les mesures d'indice foliaire (LAI, "Leaf-Area Index") effectuées en forêt gabonaise et les estimations correspondantes obtenues par télédétection ont montré l'insuffisance et les carences des techniques d'estimation du LAI par télédétection proposées dans la littérature. Afin de remédier à ce problème et de permettre dans le futur une estimation du LAI fiable et continue sur toute l'étendue du domaine forestier, il est proposé une méthode adaptative d'estimation du LAI par télédétection qui prend en compte les divers types de structure forestière rencontrés.

1. Introduction

L'indice foliaire (LAI) est un paramètre important des couverts végétaux dont la connaissance continue sur toute l'étendue du domaine forestier est nécessaire à la caractérisation des forêts dans le cadre des inventaires thématiques. De nombreuses tentatives d'estimer le LAI en utilisant des indices de végétation obtenus par télédétection ont été faites à commencer par les travaux pionniers de Jordan (JORDAN, 1969 ; BARET et *al.*, 1989, DEMIRCAN, 1995). La formulation la plus générale donnée par la littérature (BARET et *al.*, 1989), PERDIGAÑO et SUPIT (1999) est de la forme :

$$LAI = - \frac{1}{K} \ln \left| \frac{NDVI_g - NDVI}{NDVI_g - NDVI_{back}} \right| \quad (1)$$

où NDVI est l'indice de végétation de différence normalisée $NDVI = (PIR-R)/(PIR+R)$ entre les réflectances des bandes spectrales Proche Infra-Rouge (PIR) et Rouge (R) d'un capteur de télédétection optique, $NDVI_g$ est la valeur maximale du NDVI observé, et $NDVI_{back}$ est la valeur minimale correspondant à un sol dépourvu de végétation. K est un paramètre d'extinction caractérisant l'absorption des radiations lumineuses dans la canopée végétale. Nous comparons ici les valeurs de LAI mesurées sur le terrain dans deux zones de structures forestières différentes aux valeurs de LAI estimées par la première technique d'estimation par télédétection (BARET et *al.*, 1989). A cette technique, nous choisissons une application adaptative prenant en compte la diversité structurale des zones de forêts présentes dans l'image de télédétection.

2. Description de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la forêt classée de la presqu'île de la Mondah, au nord de Libreville au Gabon Figure (1a). L'image ETM+ de Landsat-7 (7 Avril 2000; 14.25 mètres de résolution spatiale) de la zone d'étude (5x5 kilomètres) est représentée en pseudo-vraies couleurs sur la Figure (1b) par la composition colorée des bandes spectrales Moyen Infra-Rouge (MIR), Proche Infra-Rouge (PIR) et Rouge (R). Cette forêt de type ombrophile guinéo-congolaise, classée depuis 1951 et laissée en croissance naturelle depuis 1957, a fait l'objet de nombreux travaux dans un passé récent et a été décrite par NZIENGUI (2005). Dans la zone plus particulièrement étudiée ici, on rencontre des zones de forêts secondaires mixtes aussi bien ouvertes.

3. Protocole de collecte de mesures de LAI sur le terrain

Des mesures directes du LAI ont été effectuées dans la zone d'étude en 2006 et 2007 à l'aide du LAI-mètre du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Les mesures sont effectuées entre 11h00 solaire et 14h00 solaire par temps sec et sont étalonnées. Des mesures sont effectuées tous les mètres le long de layons rectilignes tracés d'Est en Ouest ou du Sud au Nord. Le 23 Février 2006 138 mesures de LAI ont été effectuées dans une zone perturbée de la forêt de la Mondah (forêt secondaire ouverte «Zone 1») entre 12h25 et 13h30 dans la direction Est-Ouest. Le 17 Mai 2007, 192 mesures de LAI ont été effectuées dans une zone non-perturbée de la forêt de la Mondah (forêt secondaire fermée), 61 de ces mesures ont été effectuées entre 11h00 et 11h50 dans la direction Est-Ouest («Zone 2a») et 131 autres mesures ont été effectuées entre 12h00 et 13h30 dans la direction Sud-Nord («Zone 2b»).

4. Estimation du LAI par télédétection (méthode de type Baret et al., 1989)

Sur la Figure 2 on constate immédiatement que :

- (i) Deux types principaux de forêt secondaire sont identifiables dans l'image Landsat-7 : l'un d'apparence plus sombre qui correspond à la forêt naturelle aux canopées très fermées, et l'autre d'apparence plus brillante correspondant à la forêt perturbée aux canopées plus ouvertes ;
- (ii) Le NDVI reflète ces différences de structure, avec des valeurs plus élevées dans la forêt perturbée ;
- (iii) Le LAI estimé, dont la dépendance au NDVI est univoque (la relation (1) étant une fonction croissante du NDVI), présente des valeurs beaucoup plus élevées dans la forêt perturbée que dans la forêt fermée.

La valeur du NDVI dans une forêt fermée est donc inférieure à sa valeur dans une forêt ouverte, comme on le constate sur les transects du NDVI en Figure 2 (valeurs maximales : 0.345 pour la Zone 1, 0.263 et 0.265 pour les Zones 2a/2b). Finalement, le LAI estimé par la relation (1) dans une forêt ouverte est donc toujours supérieur au LAI estimé dans une forêt fermée, comme on le constate sur les transects du LAI estimé en Figure 2 (valeurs maximales : 9.4 pour la Zone 1, 4.5 et 3.4 pour les Zones 2a/2b).

5. Prise en compte de la diversité des structures forestières dans l'estimation du LAI

Le paramètre d'extinction K de la relation (1) a été ajusté pour chacun des deux principaux types de forêt présents dans la zone d'étude, en se servant des mesures de LAI effectuées sur le terrain (Figures 3) comme étalonnage. On obtient : $K=0.18$ pour la Zone 1, et $K=0.10$ pour les Zones 2a/2b. Il a fallu procéder à une segmentation de l'image Landsat-7, de façon à identifier spatialement les deux types de forêt. Le LAI a ensuite été estimé en adoptant localement dans l'image la valeur du paramètre d'extinction K approprié au type de forêt concerné (adaptativité au contexte spatial). On constate que l'allure des transects de LAI estimé correspond bien à l'allure des transects de LAI mesurés sur le terrain, compte tenu des différences d'échantillonnage spatial. En Zone 1, on remarque que l'allure du transect estimé

correspond mieux à celle du transect mesuré : le passage d'un type de structure à l'autre au tout début de transect a permis de mieux estimer la LAI. De plus, les valeurs de LAI estimées, tant sur les zones de forêt fermée (Zones 2a/2b, $LAI_{max} \sim 6.7$, $LAI_{moyen} \sim 5.5$) que sur les zones de forêt plus ouverte (Zone 1, $LAI_{max} \sim 4.5$, $LAI_{moyen} \sim 3.5$) sont désormais assez proches des valeurs mesurées sur le terrain. L'estimation du LAI à partir de données de télédétection est donc désormais satisfaisante. On peut finalement procéder à un dernier ajustement des valeurs du coefficient d'extinction : les valeurs respectives de $K=0.09$ (au lieu de 0.10) pour les Zones 2a/2b et $K=0.16$ (au lieu de 0.18) pour la Zone 1 sont des valeurs d'étalonnage appropriées pour l'image Landsat-7 considérée.

6. Conclusion et perspectives

On compare donc le LAI mesuré « depuis le bas » au LAI estimé « du dessus ». La relation (1) a été reconnue valable dans la littérature pour estimer le LAI de milieux végétaux simples BARET *et al.*, (1985), PERDIGAÑO et SUPIT (1999). Une solution satisfaisante et de bon sens consiste à tenir compte des différences de type de structure forestière OLDEMAN (1990), afin de rendre la technique adaptative au type de structure localement rencontrée dans l'image de télédétection. Le paramètre d'extinction K doit être étalonné pour chaque type de structure forestière. Les paramètres $NDVI_8$ et $NDVI_{back}$, pouvant dépendre des conditions atmosphériques au moment de la prise de vue, doivent être déterminés pour chaque image de télédétection.

Remerciement

Les mesures de LAI ont été effectuées par les étudiants du DESS ECOFORE de l'Institut National des Sciences de Gestion (promotions 2006 et 2007), ceux du DEA Dynamique des Structures spatiales et Géomatique co-organisé par l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (promotion 2007) et par les élèves ingénieurs de conception des eaux et forêts en 2^{ème} année à l'ENEF à Libreville au Gabon. L'image ETM+ de LANDSAT-7 a été obtenue auprès de l'Université du Maryland, USA ("Global Land Cover Facility").

Bibliographie

- BARET F., OLIOSO A., LUCIANI J.L. ET HANOCQ J.F., 1989: "Estimation de l'énergie photosynthétiquement active absorbée par une culture de blé à partir de données radiométriques", *Agronomie*, Vol.9, pp.885-895, 1989.
- DEMIRCAN A., 1995: "Die Nutzung fernerkundlich bestimmter Pflanzenparameter zur flächenhaften Modellierung von Ertragsbildung und Verstandung", Thèse de Doctorat, Université de Munich (Allemagne), Band B20, Chapitre 8.2, 171 p., 1995.
- JORDAN C.F., 1969: "Derivation of leaf-area index from quality of light in the forest floor", *Ecology*, Vol.50, pp.663-666, 1969.
- NZIENGUI M., 2005: "Apports des technologies d'observation de la Terre pour la production de l'information environnementale en Afrique Centrale: l'exemple du Gabon", Thèse de Doctorat, Université de Marne-La-Vallée, 221 p., 09 Mars 2005.
- PERDIGAÑO V. ET SUPIT I., 1999: "An early crop yield estimation method for Finnish conditions: the Crop Growth Monitoring System of the Joint Research Centre with and without remotely sensed and other additional input data", EUR 18975 EN, 144 p., Août 1999.
- SPANNER M.A., PIERCE L.L., PETERSON D.L. ET RUNNING S.W., 1990: "Remote sensing of temperate coniferous forest leaf area index. The influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.11, pp.95-111, 1990.

Illustrations

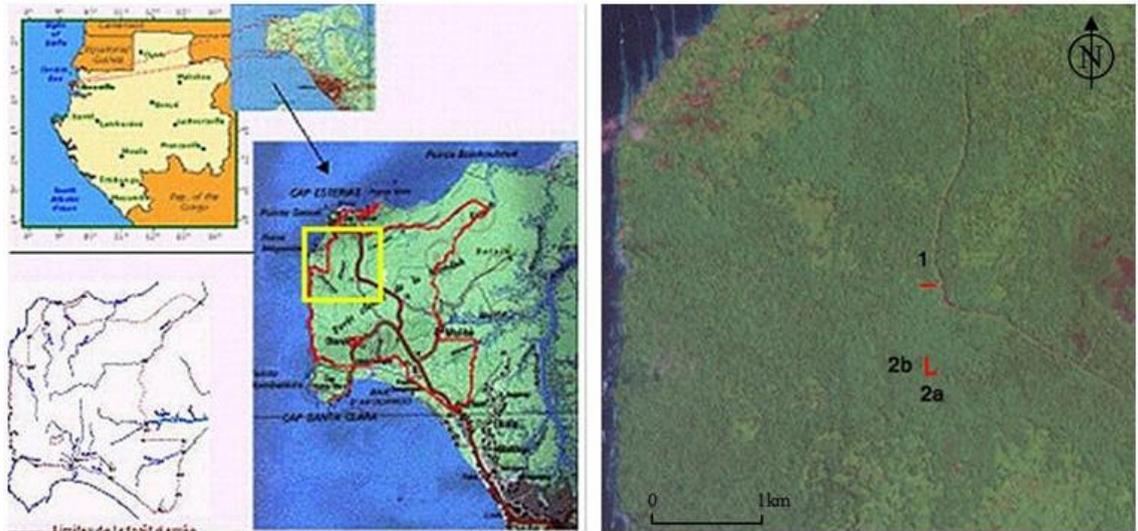


Figure (1a) : La forêt de la Mondah, et la zone d'étude (encadrée en jaune), Source : Nziengui (2002)

Figure (1b) : Image ETM+ de Landsat-7 de la zone d'étude et localisation GPS des transects de mesures de LAI sur le terrain

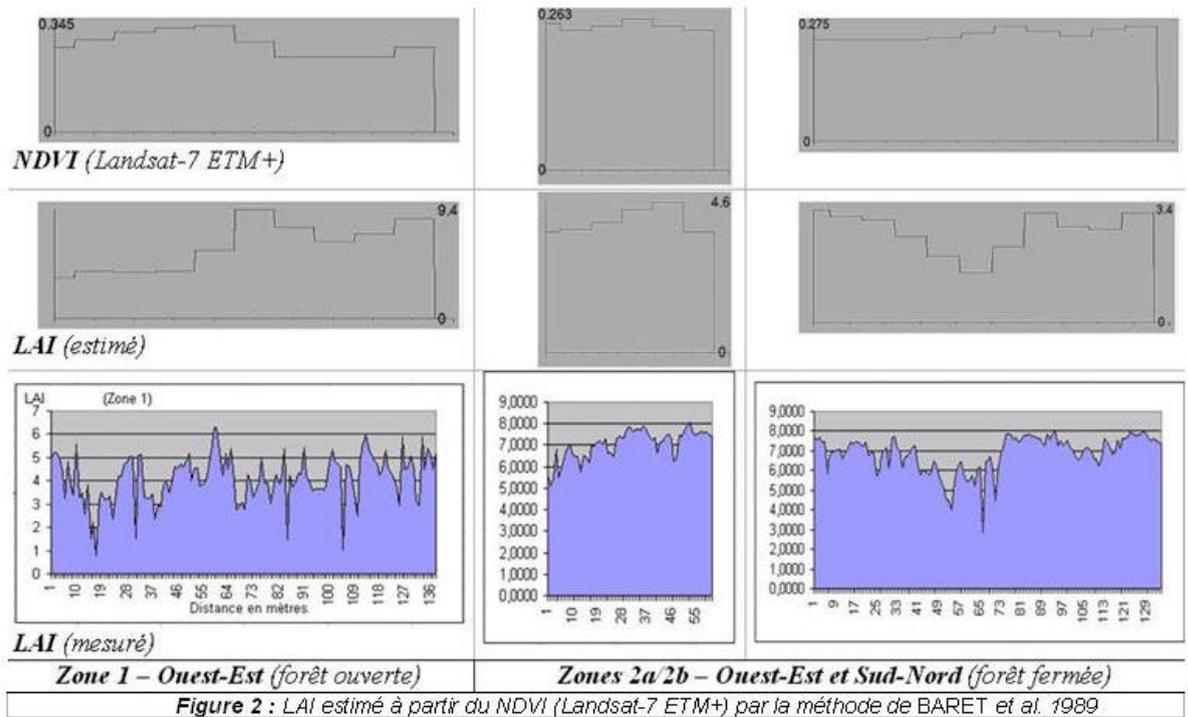


Figure 2 : LAI estimé à partir du NDVI (Landsat-7 ETM+) par la méthode de BARET et al. 1989

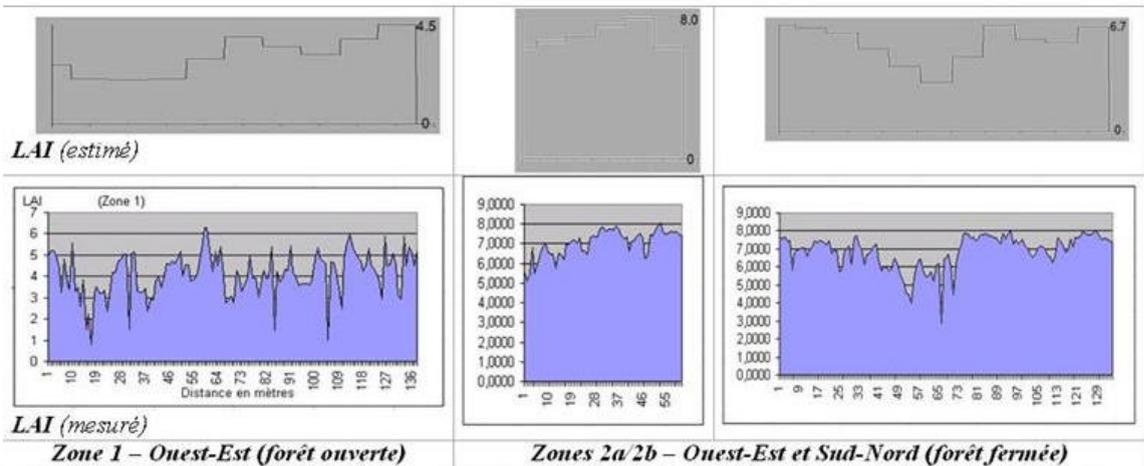


Figure 3: LAI estimé par télédétection (Landsat-7 ETM+) par la méthode de BARET et al., 1989, appliquée de façon adaptative en tenant compte du type de structure forestière