



**HAL**  
open science

## Quels botanistes pour le 21 e siècle ?

Valéry Gond, Guillaume Cornu, Gaëlle Viennois, Julie Betbeder, Maxime Réjou-Méchain<sup>1</sup>, Adeline Fayolle, Sylvie Gourlet-Fleury, Nicolas S Baghdadi, Nicolas Barbier, Frédéric Mortier, et al.

► **To cite this version:**

Valéry Gond, Guillaume Cornu, Gaëlle Viennois, Julie Betbeder, Maxime Réjou-Méchain<sup>1</sup>, et al..  
Quels botanistes pour le 21 e siècle?. Botanists of the twenty-first century: roles, challenges and opportunities, UNESCO, pp.88-94, 2016. hal-02305648

**HAL Id: hal-02305648**

**<https://hal.umontpellier.fr/hal-02305648>**

Submitted on 4 Oct 2019

**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.



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



# Quels botanistes pour le 21<sup>e</sup> siècle ?

## Métiers, enjeux et opportunités



Basé sur les actes de la Conférence  
internationale de l' UNESCO  
*Quels botanistes pour le 21<sup>e</sup> siècle ?*  
*Métiers, enjeux et opportunités*

Septembre 2014, Paris, France



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



# Botanists

of the twenty-first century

**Roles, challenges and opportunities**

Based on the proceedings of the UNESCO International conference  
“Botanists of the twenty-first century: roles, challenges and opportunities”  
held in September 2014 in Paris, France

Edited by Noëline R. Rakotoarisoa, Stephen Blackmore and Bernard Riera

Published in 2016 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO, 2016

All rights reserved.

ISBN 978-92-3-100120-8



This publication is available in Open Access under the Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). By using the content of this publication, the users accept to be bound by the terms of use of the UNESCO Open Access Repository (<http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>).

Original title: Botanists of the twenty-first century: roles, challenges and opportunities – Based on the proceedings of the UNESCO International conference “Botanists of the twenty-first century: roles, challenges and opportunities” held in September 2014 in Paris, France

The designations employed and the presentation of material throughout this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The ideas and opinions expressed in this publication are those of the authors and are not necessarily those of UNESCO and do not commit the Organisation.

Editors: Noëline R. Rakotoarisoa, Stephen Blackmore and Bernard Riera  
Cover photo: Shutterstock/Madlen

Composed and printed in the workshops of UNESCO  
The printer is certified Imprim'Vert®, the French printing industry's environmental initiative.

*Printed in France*



**Warning:** The articles in this book are either in French or English depending on the language used by the author. Each article is summarized in the other language.

---

**Attention:** Les articles présentés dans cet ouvrage sont en français ou en anglais suivant la langue utilisée par l'auteur. Chaque article est résumé dans l'autre langue.

---

With the support of



Convention on  
Biological Diversity



The Global Partnership  
for Plant Conservation





Présentation  
de Valéry Gond,  
Centre de  
Coopération  
Internationale  
en recherche  
Agronomique  
pour le  
Développement  
(CIRAD),  
Montpellier,  
France

## *De l'arbre au satellite : comment cartographier la diversité des forêts tropicales d'Afrique Centrale ?*

### Auteurs

Valéry Gond, Guillaume Cornu, Gaëlle Viennois, Julie Betbeder, Maxime Réjou-Méchain, Adeline Fayolle, Sylvie Gourlet-Fleury, Nicolas Baghdadi, Nicolas Barbier, Frédéric Mortier, Fabrice Benedet, Charles Doumenge

### Résumé

---

Les forêts d'Afrique centrale vont subir de profondes modifications liées au changement climatique ces prochaines décennies. Pour que les sociétés humaines puissent anticiper ou s'adapter à ces changements, il est nécessaire de bien comprendre les mécanismes de fonctionnement de ces forêts et d'être à même de spatialiser leur variabilité. A partir d'une série temporelle de quatorze années d'images satellites MODIS à 250 m de résolution par pixel, nous présentons ici une nouvelle carte des forêts d'Afrique centrale. La production de cette carte, basée sur le comportement phénologique de la canopée, reflète l'activité de la végétation en fonction des saisons.

**Mots Clés** : télédétection, cartographie, phénologie, forêts tropicales, Afrique centrale

### Abstract

---

African forests are predicted to experience profound climatic changes in the next decades. In order to ensure that human societies can adapted to these changes, it is needed to have a better understanding of the forest functioning. A forest type's location map is a fundamental stage. This map was processed from 14 years remotely sensed MODIS time series at 250m spatial resolution. This map is based on the photosynthetic activity measurements translating phenological canopy stages.

**Keywords**: remote sensing, mapping, leaf phenology, tropical forests, Central Africa



Back to  
Contents  
*Retour au  
Sommaire*

## Introduction

Durant le XXI<sup>e</sup> siècle les forêts d’Afrique centrale vont subir de profonds changements d’ordre climatique avec un accroissement de la température, des modifications de la répartition des pluies et possiblement un allongement de la saison sèche (Liénuou *et al.*, 2008 ; Zelanzowski *et al.*, 2011). Une meilleure compréhension de l’influence actuelle du climat sur la structure et le fonctionnement de la végétation est donc nécessaire afin de mieux prédire les conséquences des changements climatiques sur cette dernière. Pour ce faire, il est indispensable de cartographier le plus précisément possible l’organisation spatiale et les caractéristiques des types forestiers. Actuellement, les forêts d’Afrique Centrale cartographiées par télédétection spatiale sont généralement regroupées dans une « grande classe verte » homogène à l’échelle de la région (Mayaux *et al.*, 2004 ; Verheggen *et al.*, 2012). Pourtant, diverses études basées sur des inventaires phytosociologiques, écologiques ou forestiers détaillés identifient des patrons spatiaux de composition et de diversité d’espèce, de trait fonctionnels et de biomasse, suggérant l’existence de plusieurs types forestiers (Devred, 1958 ; Pierlot, 1966 ; Letouzey, 1985 ; Fayolle *et al.*, 2014). Ces types forestiers aux structures et aux compositions contrastées sont décrits localement mais peu ou pas cartographiés, ou alors à une échelle très locale (Hecketsweiler *et al.*, 1991 ; Doumenge, 1992 et 1998). Une carte de végétation détaillée à l’échelle de l’ensemble de l’Afrique centrale est aussi nécessaire pour favoriser une planification régionale basée sur des données représentatives de la diversité des écosystèmes, afin d’en améliorer la gestion et la conservation (Gourlet-Fleury *et al.*, 2014). Nous présentons ici les différentes étapes nécessaires pour aboutir à la réalisation d’une carte homogène à l’échelle de ce massif forestier.

## Matériels et méthodes

La zone d’étude couvre l’ensemble des forêts du bassin du Congo. Deux grandes classes forestières sont présentes dans cette région en fonction du degré d’hydromorphie des sols. Il s’agit, d’une part, des forêts marécageuses et périodiquement inondées et, d’autre part, des forêts de terre ferme. Nous avons utilisé des données d’indice d’activité photosynthétique issues du capteur MODIS (2000 à 2013) à 250 ou 500m de résolution spatiale, des données Radar du capteur PALSAR (2007 à 2010) à 100m de résolution spatiale et enfin des données Lidar du capteur GLAS (2003 à 2010) dont chaque mesure à une empreinte au sol de 70m. Ces diverses sources de données nous ont permis de construire des synthèses temporelles sur 14 années de profils saisonniers d’intensité d’activité photosynthétique (Pennec *et al.*, 2011). Les différentes classes forestières ont été séparées à l’aide de classifications non-supervisées de type ISODATA et d’interprétations visuelles. Pour interpréter les classes forestières obtenues nous avons utilisé les données Radar et Lidar pour les zones marécageuses (Betbeder *et al.*, 2014) et des inventaires forestiers pour les régions de terre ferme (Gond *et al.*, 2013). Dix-neuf compagnies forestières ont réalisé des inventaires sur tous les arbres d’un diamètre égal ou supérieur à 30 cm (à hauteur de poitrine) sur des placettes de 0,5 ha géo-positionnées. Un total de 37.898 placettes a été collectionné, renseignant une surface de 6 million d’hectare. Les informations concernant la surface terrière et le degré de déciduité des formations forestières ont été retenues afin de caractériser les forêts en termes de structure et de fonctionnement.

Une meilleure compréhension de l’influence actuelle du climat sur la structure et le fonctionnement de la végétation est donc nécessaire afin de mieux prédire les conséquences des changements climatiques sur cette dernière.

## Résultats

L'analyse de ces données a permis de produire une carte d'occupation du sol en fonction de l'activité photosynthétique (Gond *et al.*, 2013 et figure 1). Les inventaires forestiers ont permis de caractériser les différentes classes reconnues. Comme cela a été précisé précédemment, nous avons utilisé en priorité des données de surface terrière (structure forestière) et de traits fonctionnels (marqueurs du fonctionnement et de l'écologie de ces forêts). Grâce à l'analyse de ces données, combinées avec la lecture des cartes forestières de certaines régions, nous avons pu préciser la typologie et la dénomination de ces classes de végétation (figure 1).

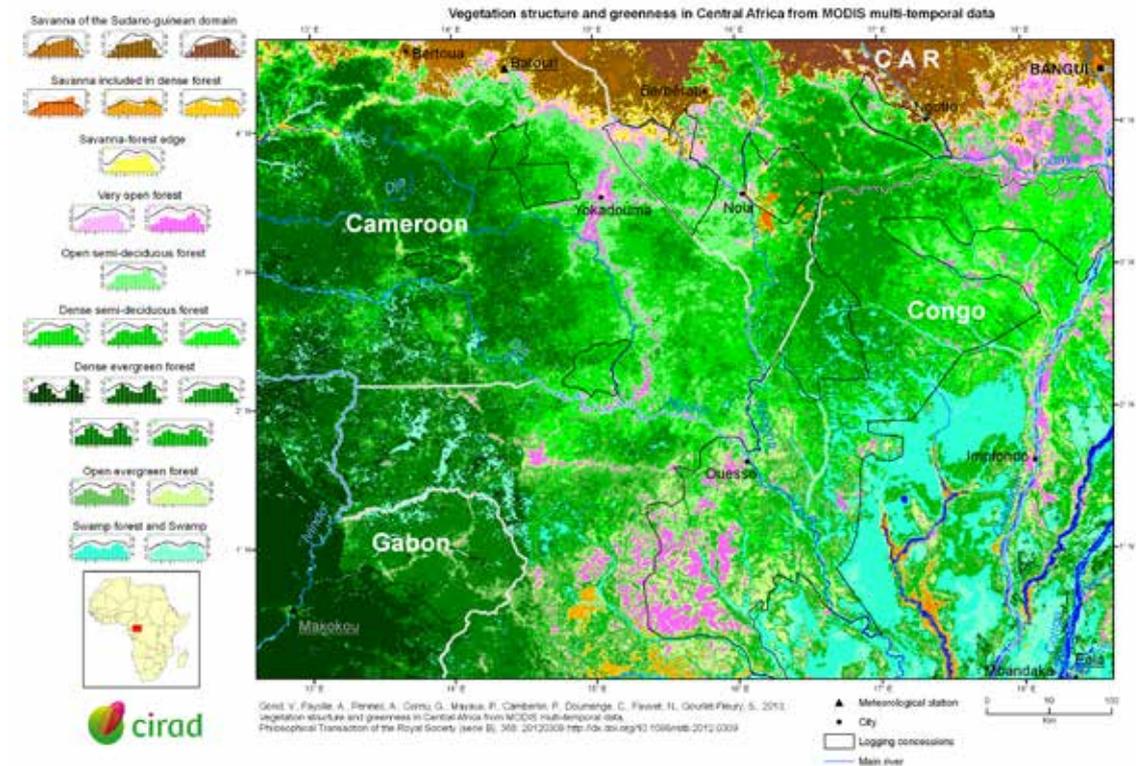


Figure 1 : Structure et traits fonctionnels des forêts tropicales humides dans l'intervalle de la Sangha (sud-est Cameroun, sud-République Centrafricaine, nord-Congo et nord-est Gabon). Les classes de couleurs vertes détaillent le gradient qui s'étend des forêts plutôt sempervirentes (vert foncé) vers des forêts semi-décidues (vert clair). En bleu sont représentées les forêts marécageuses, en rose les formations forestières ouvertes (forêts clairsemées à Marantaceae au Congo, mosaïque forêt-jachère-agriculture le long des axes de pénétrations anthropiques) ; en jaune-orangé et bistre les formations de savanes.

Les forêts de terre ferme montrent d'importantes variations spatiales en termes de déciduité et de structure. Dans la zone marécageuse l'organisation spatiale des forêts est aussi influencée par la période d'inondation (Betbeder *et al.*, 2014 et figure 2).

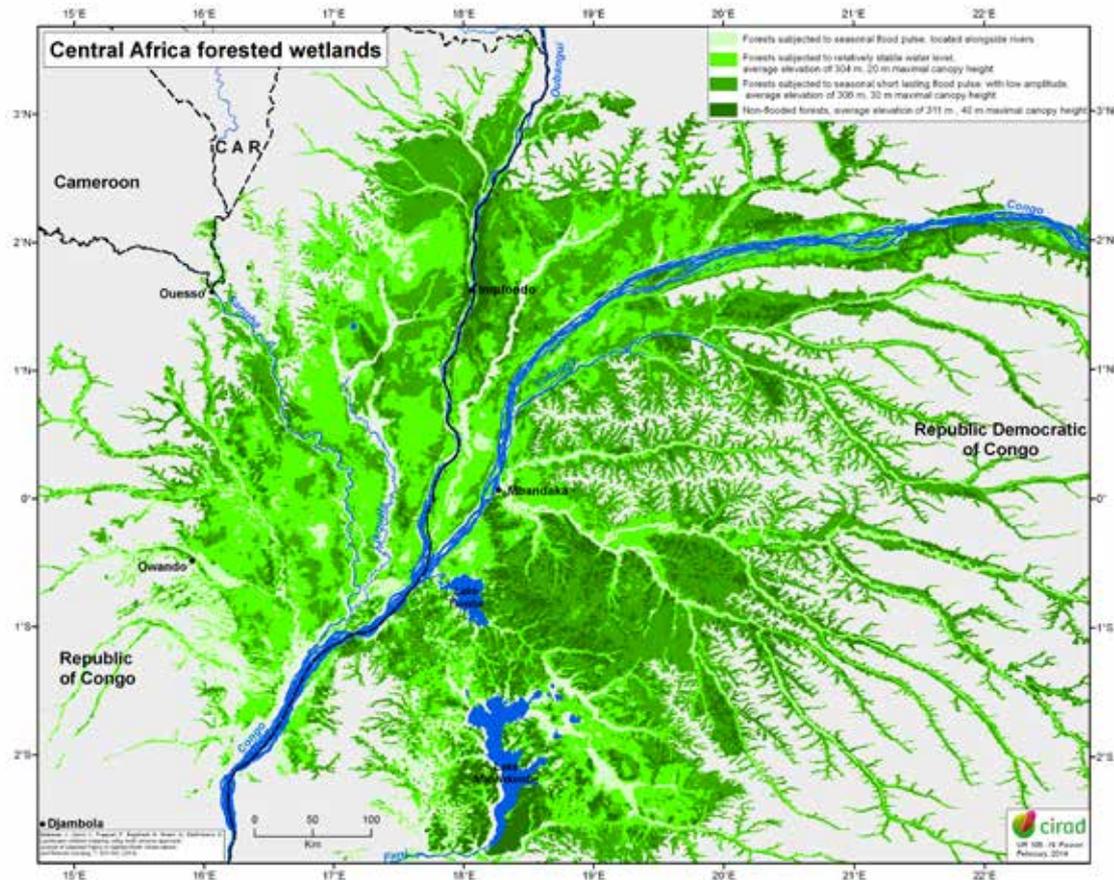


Figure 2 : forêts marécageuse de la cuvette d'inondation du Congo-Oubangui entre la République du Congo et la République Démocratique du Congo. L'inondation a été estimée à partir de données Radar; la hauteur des peuplements par des données Lidar et le type de végétation avec des données optiques.

Ces résultats permettent de décrire l'organisation spatiale des forêts semperverventes et semi-décidues de terre ferme ainsi que celles considérées comme marécageuses ; chacune présentant des dynamiques d'activité photosynthétique contrastées. L'extrapolation à l'ensemble du bassin du Congo a enfin été réalisée, permettant une vision exhaustive de la répartition spatiale des forêts de terre ferme (figure 3).

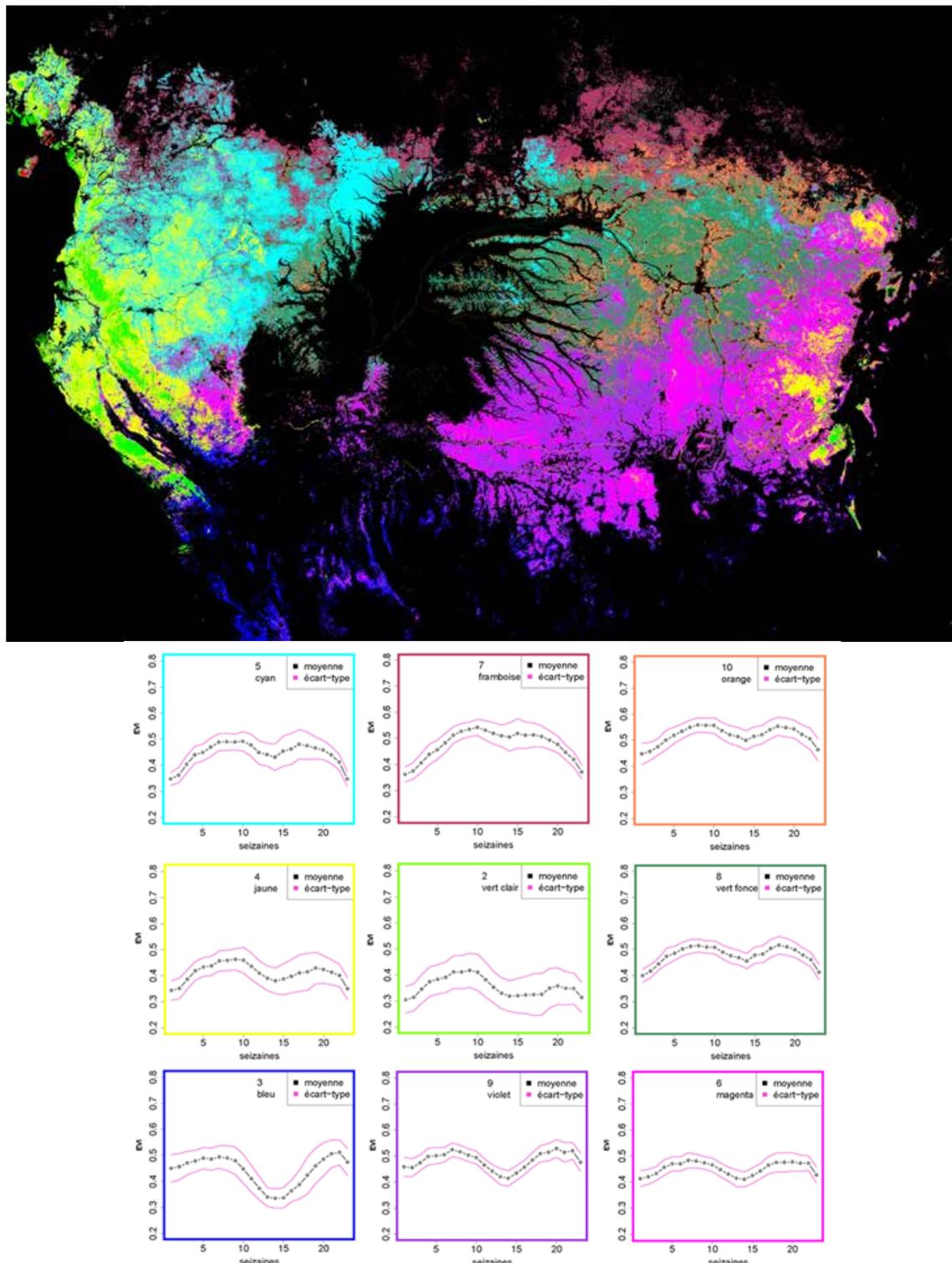


Figure 3 : forêts de terre ferme de l'Afrique centrale. Les neuf classes sont représentées spatialement à gauche. La légende de droite reprend les couleurs de chaque classe tout en décrivant le profil temporel annuel d'activité photosynthétique exprimé en indice EVI (et son écart type) tous les 16 jours au long de l'année synthétique (moyenne EVI sur 14 années d'acquisition satellite).

Sur cette carte générale on aperçoit l'organisation spatiale des forêts d'Afrique centrale au-delà de la « grande couche verte » qui les représente traditionnellement. D'une manière générale, ces types phénologiques de végétation forestière s'ordonnent selon un gradient latitudinal. Les forêts du type 7 (couleur framboise) et 3 (bleu) constituant les deux extrêmes en termes de saisonnalité très marquée, les premières sous un climat tropical d'hémisphère nord (saison sèche de décembre à février), les secondes sous un climat tropical d'hémisphère sud (saison sèche de juin à août). Entre ces deux extrêmes, l'essentiel des forêts présente un comportement phénologique correspondant à un climat équatorial (à quatre saisons) ou subéquatorial (lorsque l'une des saisons sèches est un peu plus forte que l'autre). Cet agencement latitudinal est seulement perturbé à l'ouest, le long du golfe de Guinée, du fait des influences marines de l'océan atlantique et, de manière moins marquée, à l'est, le long du rift africain, du fait de l'influence des reliefs.

## Discussion et conclusions

Cette étude montre l'intérêt des inventaires de terrains combinés aux mesures satellites pour caractériser les structures et la phénologie des forêts, et l'importance de mobiliser des compétences complémentaires de spécialistes de la végétation. Dans une région du monde peu documentée (peu de station météorologiques, de parcelles de suivi forestier, de tour à flux), les inventaires forestiers représentent une opportunité unique pour documenter et valider les investigations satellitaires sur de grandes superficies. Ces cartes, une fois établies, deviennent de riches outils d'investigation pour les géographes, biogéographes, botanistes ou gestionnaires intéressés par ces formations végétales tropicales. L'intérêt d'une telle approche réside aussi dans la compréhension des déterminants de gradients de végétation en lien avec les paramètres environnementaux comme la géologie (Fayolle *et al.*, 2012) ou le climat (Philippon *et al.*, 2014). En particulier, la carte de végétation forestière présentée ici permet de relier, pour la première fois à l'échelle de toute la région, le fonctionnement phénologique des forêts avec leur structure et leur composition floristique.

Cette représentation des forêts d'Afrique Centrale donne une vision nouvelle de l'organisation de l'espace forestier. A partir de ces résultats plusieurs orientations scientifiques peuvent en découler. D'une part, des investigations à l'interface atmosphère/biosphère afin de mieux comprendre les mécanismes de transfert d'énergie et de matière dans un contexte de rapide changement. D'autre part, une analyse de secteurs particuliers relevant d'un intérêt spécifique comme la répartition et les surfaces des forêts dégradées ou secondarisées.

## Remerciements

Ces études ont bénéficié de l'appui financier des projets Biodiversa CoForChange ([www.coforchange.org](http://www.coforchange.org)) et CoForTips ([www.fordev.ethz.ch/research/active/CoForTips](http://www.fordev.ethz.ch/research/active/CoForTips)). Nous voulons remercier les compagnies forestières pour leurs autorisations à utiliser leurs données d'inventaires (Alpicam, BPL, Danzer, DLH, IFB, Likouala Timber, Rougier, SEFCA, SCAD, SCAF et Vicwood). Les auteurs remercient la Nasa pour sa mise à disposition gratuite des données MODIS.

## Références bibliographiques

- Betbeder, J., Gond, V., Frappart, F., Bagdhadi, N., Briant, G., Bartholomé, E. (2014). Landscape wetland mapping using multi sensors approach, *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 531-542.
- Devred, R. (1958). La végétation forestière du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. *Bulletin de La Société Royale Forestière de Belgique*, 65(6), 409-468 + carte hors-texte.
- Doumenge, C. (1992). *La Réserve de Conkouati : Congo. Le secteur sud-ouest*. UICN, Gland, Suisse, IV + 231 p., 1 carte hors-texte.
- Doumenge, C. (1998). Forest diversity, distribution and dynamique in the Itombwe mountains, South-Kivu, Congo Democratic Republic. *Mountain Research Development*, 18(3), 249-264.
- Fayolle, A., Engelbrecht, B., Freycon, V., Mortier, F., Swaine, M., Rejou-Mechain, M., Doucet, J.-L., Fauvet, N., Cornu, G., Gourlet-Fleury, S. (2012), Geological substrates shape tree species and trait distributions in African moist forests. *Plos One*, 7(8)
- Fayolle, A., Picard, N., Doucet, J.-L., Swaine, M., Bayol, N., Bénédet, F., Gourlet-Fleury, S. (2014). A new insight in the structure, composition and functioning of central African moist forests. *Forest Ecology Management*, 329, 195-205.
- Gond, V., Fayolle, A., Pennec, A., Cornu, G., Mayaux, P., Camberlin, P., Doumenge, C., Fauvet, N., Gourlet-Fleury, S. (2013), Vegetation structure and greenness in Central Africa from MODIS multi-temporal data. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 368(1625)
- Gourlet-Fleury, S., Aleman, J., Bayol, N., Bentaleb, I., Benedet, F., Billand, A., Bremond, L., Cohen, C., Coste, S., Doucet, J.-L., Doumenge, C., Engelbrecht, B., Fauvet, N., Favier, C., Fayolle, A., Freycon, V., Gillet, J.-F., Gond, V., Laraque, A., Maley, J., Maraval, M.-C., Mayaux, P., Morin-Rivat, J., Mortier, F., Moutsamboté, J.-M., Nasi, R., Ngomanda, A., Nouvellet, Y., Ouedraogo, D., Oslisly, R., Picard, N., Rollin, C., Saya, A., Sonké, B., Swaine, M., Tathy, J.-P., Tovar, C., Toto, M., Vigneron, P., Yongo, O., Willis, K. (2014). Improve the characterization of tropical forests to improve management, *Policy Brief CoForChange*.
- Hecketsweiler, P., & Doumenge, C. (1991). *Le parc national d'Odzala, Congo*. Gland, Suisse: UICN-Union mondiale pour la nature.
- Letouzey, R. (1985) *Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1:500,000* Inst. Carte Intern. Végétation, Toulouse et Inst. Rech. Agron. Yaoundé.
- Lienou, G., Mahe, G., Paturel, J.-E., Servat, E., Sighomnou, D., Ekodeck, G.E., Dezetter, A., Dieulin, C. (2008). Evolution des régimes hydrologiques en région équatoriale camerounaise: un impact de la variabilité climatique en Afrique équatoriale? *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 789-801.
- Mayaux, P., Bartholomé, E., Fritz, S. & Belward, A. (2004) A new land-cover map of Africa for the year 2000. *J. Biogeogr.*, 31, 861-877.
- Pennec, A., Gond, V., Sabatier, D. (2011), Characterization of tropical forests phenology in French Guiana using MODIS time-series. *Remote Sensing Letters*, 2(4), 337-345.
- Philippon, N., Martiny, N., Camberlin, P., Hoffman, T., Gond, V. (2014), Timing and patterns of the ENSO signal in Africa over the last 30 years: insights from Normalized Difference Vegetation Index data. *Journal of Climate*, 27, 2509-2532.
- Pierlot, R. (1966). *Structure et composition de forêts denses d'Afrique Centrale, spécialement celles du Kivu*. Bruxelles, Belgique: Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer. Classe des Sciences naturelle et médicales.
- Verheggen, A., Mayaux, P., De Wasseige, C., Defourny, P. (2012). Mapping Congo Basin vegetation types from 300 m and 1 km multi-sensor time series for carbon stocks and forest areas estimation. *BioGeosciences*, 9, 5061-5079.
- Zelazowski, P., Malhi, Y., Huntingford, C., Sitch, S., Fisher, J. (2011), Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 369, 137-160