

GUYASPASE :
COMMENT PASSER DES ESTIMATIONS LOCALES DE
BIODIVERSITE ET DE STOCKS DE CARBONE A DES INDICATEURS
REGIONAUX UTILISABLES DANS L'AMENAGEMENT ET LA
GESTION DES MASSIFS FORESTIERS GUYANAIS ?

GUYASPASE : INTEGRATING LOCAL ESTIMATIONS OF
BIODIVERSITY AND CARBON STOCKS TO DEVELOP REGIONAL
INDICATORS FOR FOREST MANAGEMENT IN FRENCH GUIANA

Christopher Baraloto
INRA, UMR EcoFoG
Campus Agronomique - BP 316
97387 Kourou cedex
Guyane, FRANCE
Tél. : +594 5 94 32 92 91
Fax : +594 5 94 32 43 02
chris.baraloto@ecofog.gf

Synthèse du rapport final
18 Décembre 2013

Convention n° E25/2010



SYNTHESE DU RAPPORT FINAL

Contexte général

La forêt guyanaise, qui représente un tiers de la forêt française, sera au cœur de la problématique de développement de ce département français d'Amérique du Sud dans les décennies à venir. Comment préserver ce remarquable réservoir de biodiversité et de carbone tout en aménageant le territoire, aménagement qui impliquera obligatoirement un changement d'usages d'une partie des terres actuellement à vocation forestière ? Dans ce contexte, la définition d'indicateurs de services environnementaux (biodiversité, carbone) comme outils d'aide à la décision pour les gestionnaires est un préalable indispensable pour mettre en œuvre un développement durable. Dans ce projet, nous proposons de définir des outils fiables d'évaluation des services écosystémiques des forêts tropicales humides à l'échelle de travail des gestionnaires et de fournir des cartes et des bases de données qui décrivent leur distribution sur le territoire. Nous nous focalisons sur (i) la récolte de nouvelles données de terrain complémentaires aux données existantes et (ii) l'amélioration des méthodes d'analyses de données qui permettront de prioriser les futures collectes dans l'objectif d'améliorer les estimations de la variabilité spatiale de la biomasse aérienne et de la composition des communautés d'arbres.

Objectifs généraux du projet

Nous avons travaillé sur quatre grandes questions de recherche, dont les réponses contribueront à une amélioration de l'aménagement du territoire de la Guyane.

- 1) Quelles sont les relations entre les différents services environnementaux (e.g., carbone, biodiversité) fournis par la forêt ?
- 2) Quelles sont les relations entre les patrons de biodiversité de différents groupes taxonomiques (e.g., arbres, mammifères, insectes) ?
- 3) Quels indicateurs doit-on utiliser pour estimer la biodiversité (et d'autres services environnementaux) à différentes échelles pour une gestion efficace ?
- 4) Comment s'organise la biodiversité (et d'autres services environnementaux) à différentes échelles en Guyane ?

Dans l'état actuel des connaissances des différents groupes animaux, nous ne prétendons pas pouvoir aborder toutes ces questions dans leur ensemble. Cependant, en étudiant rigoureusement le groupe où cette expertise est la plus avancée (les arbres), nous avons construit une base de réflexion et d'analyse pour de futures études et nous avons développé un protocole d'inventaire de biodiversité multi-taxonomique adopté pour les prochaines recherches dans ce domaine (Labex CEBA – projet DIADEMA « comprendre et quantifier la biodiversité »).

Principales réalisations et implications pratiques

Le programme BGF Guyaspase participe sur de nombreux points à l'amélioration des politiques et des actions publiques. Il répond à de multiples demandes et fournit divers résultats tant aux gestionnaires forestiers (ONF – Office national, des forêts), qu'aux ministères (MAP – ministère en charge de l'agriculture – et MEDD – ministère en charge de l'écologie et du développement durable) et aux collectivités locales (Région – Conseil régional de Guyane).

Mieux appréhender la diversité spécifique des peuplements forestiers : une demande forte des gestionnaires pour une meilleure préservation de la diversité.

Le travail collectif d'inventaire botanique de terrain (tâche 1.1) réalisé au cours du programme BGF a permis d'enrichir la base de données relationnelles entre la classification taxonomique et les nomenclatures vernaculaires utilisées en Guyane (il en existe plusieurs, l'ONF et le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) s'appuyant sur des prospecteurs d'ethnies différentes). Une méthode bayésienne a été développée pour formaliser ces relations et mieux prendre en compte l'incertitude taxonomique liée à l'information vernaculaire (tâche 2.2). Cette méthode qui s'appuie sur des données croisées en nombre suffisant (équilibre entre la partie « expertise » et la partie « données ») a pu être développée sur Paracou et appliquée à la nomenclature vernaculaire CIRAD grâce à la capitalisation de nombreuses années d'inventaires

botaniques. Une autre approche plus globale a été réalisée pour évaluer la fiabilité potentielle de la nomenclature ONF (sur une base plus étroite de 2 200 arbres – en collaboration avec le projet Habitats). Cette approche montre que les inventaires forestiers constituent une source d'information pertinente pour faire un classement des niveaux de diversité alpha sur le territoire guyanais. Dans un article (Guitet et al. *Forest Ecology and Management* 2014) malgré la variabilité de la fiabilité des déterminations qui varie de 25% au niveau spécifique à 87% au niveau famille pour une moyenne de 74% tous niveaux taxonomiques confondus, - fiabilité de détermination qui dépend aussi du diamètre des arbres et de l'essence. La méthode proposée, simple, robuste et peu sensible aux variations de paramétrages permet de propager correctement l'incertitude taxonomique contenue dans les inventaires forestiers. Elle permet d'obtenir des indicateurs de diversité efficaces et à moindre coût à des échelles opérationnelles pour des objectifs de gestion. Elle peut être utilisée pour compléter les données d'inventaires botaniques dans les régions de forêts tropicales où ces relevés sont rares ou lacunaires. Nos travaux ont aussi permis d'éclairer les gestionnaires sur les forces et faiblesses de leur approche vernaculaire ce qui est un élément essentiel pour une bonne gestion de la biodiversité. Un exemple parmi d'autre : la mise en évidence récente parmi les « Gonfolo rose » (deuxième essence commerciale) de plusieurs espèces de *Qualea* dont certaines très rares, alors que l'on croyait que les « Gonfolo rose » correspondaient uniquement à *Qualea rosea*. Ces résultats permettront d'orienter les efforts d'amélioration des connaissances botaniques que doivent porter les gestionnaires, vers les groupes vernaculaires les moins bien appréhendés. Ces efforts de distinction taxonomique, réalisés au moment des inventaires avant exploitation, permettront de mieux orienter les choix sylvicoles appliqués sur les peuplements forestiers exploités.

Améliorer les estimations de stocks et de flux de carbone : une exigence du MAP pour mieux renseigner les inventaires relatifs au protocole de Kyoto.

Parmi les indicateurs de services écosystémiques, nous nous sommes principalement attachés à la fonction « carbone » de la forêt. L'objectif (des tâches 1.2 et 1.3) a été de déterminer la meilleure stratégie permettant d'évaluer le plus précisément et le plus économiquement possible les stocks et flux de carbone en Guyane afin de répondre aux nombreuses interrogations et demandes des gestionnaires, collectivités guyanaises et ministères concernant cette thématique. Les différentes approches engagées à plusieurs échelles ont permis de mettre en évidence : (1) la grande incertitude des estimations de biomasse liée à la propagation des erreurs propres aux modèles allométriques et aux différents paramètres mesurés (cf. thèse Quentin Molto); (2) la faible influence de l'environnement sur le niveau de biomasse à l'échelle locale au regard des fortes variations liées à la structure forestière (Baraloto *et al.*, 2013) mais des effets perceptibles de ces conditions environnementales sur le stock de biomasse à l'échelle opérationnelle, i.e. méso-échelle (cf. stage Boeraeve F. et Zomer P. – stage Guerrere V.), du fait de l'interaction de facteurs locaux tels que la qualité du drainage (indice HAND) et la variabilité de la structure (ouverture canopée - chablis); (3) l'efficacité des placettes de méthode Gentry modifiées pour atteindre une estimation de précision suffisante à moindre coût pour un habitat homogène (Baraloto *et al.*, 2010)

Une première carte de biomasse régionale calibrée sur de grandes campagnes d'inventaires forestiers menées entre 1974 et 1976 par le CTFT (Centre technique forestier tropical) dans le nord de la Guyane a pu être proposée par Quentin Molto (*tâche 2.3*) ce qui permet déjà d'envisager des applications à travers son intégration au logiciel de simulation GUYASIM pour un calcul de bilan carbone en gestion forestière ou en aménagement du territoire. Cette carte montre aussi (et avant tout) la forte variabilité potentielle des stocks de carbone à large échelle et la nécessaire amélioration de la fiabilité des estimations, les incertitudes étant énormes. Ces travaux sont actuellement poursuivis pour mieux appréhender les effets d'échelle précédemment perçus et pour intégrer de nouvelles données permettant de mieux couvrir le sud du département. Les cartes produites étaient très attendues à la fois par l'Observatoire régional du Conseil régional de Guyane et par le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique) compte-tenu du poids des émissions de carbone liées à la déforestation en Guyane dans le bilan LULUCF national (sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie).

L'ensemble de ces travaux permet aussi de proposer à tous les acteurs engagés dans l'estimation et la valorisation des stocks de carbone forestier, une stratégie plus claire pour améliorer les modèles prédictifs : (i) systématiser les placettes gentry-modifiées pour une estimation fiable et précise de la biomasse sur des habitats homogènes; (ii) répéter ces dispositifs sur une stratification préalable à méso-échelle garantissant une homogénéité intra-placette des habitats et une prise en compte exhaustive (inter-placettes) de la diversité des habitats; (iii) bien appréhender les cortèges floristiques locaux pour assurer une bonne estimation de la densité moyenne des bois. La description de la bêta-

Programme « Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques » (BGF)

diversité des forêts à l'échelle régionale, récemment fournie par le projet-partenaire Habitats, fournit des éléments de réponse pour orienter les deux derniers points. La conjugaison des résultats de ce programme avec ceux du programme Habitats devrait donc permettre de passer très prochainement à des estimations du carbone plus fiables à une échelle opérationnelle et répondre ainsi à des questions très importantes concernant notamment l'impact des choix de sylviculture (bilan des prélèvements bois-énergie – gain de l'exploitation à faible impact) et l'impact de différents *scenarii* d'aménagement du territoire (notamment ouverture de routes). Il existe sur ce point, une demande très forte du MAP pour que les estimations de flux liés à la déforestation et la dégradation des forêts soient affinées pour l'inventaire Kyoto de 2012. Le programme BGF participe en ce sens à l'amélioration des connaissances et des méthodes pour répondre à ce besoin.

Réactualisation et modernisation des ZNIEFF en Guyane : proposition d'une méthodologie rigoureuse et efficace

La tâche 2.1 du projet BGF a permis d'élargir la validation de la méthode gentry-modifiée à d'autres contextes (gradient écologique plus large) et à la problématique de la diversité spécifique. Cette tâche du projet permet de répondre en partie aux questions méthodologiques qui se posent dans le cadre de la réactualisation des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) engagée par le MEDD en Guyane. Jusqu'à présent, les prospections complémentaires ont été réalisées sans protocole standardisé, à l'avancement et sans surface de référence. La méthode-de-parcelle inventaire de 0,5 ha que nous avons développé, a été proposée à la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) et au bureau d'étude en charge du pilotage du dossier ZNIEFF (Biotope) afin d'améliorer qualitativement et quantitativement l'intérêt des données recueillies dans ce cadre. Ces appels n'ont malheureusement pas été écoutés jusqu'à présent. La nomination de C. Baraloto et O. Brunaux sur le nouveau Conseil scientifique régional du patrimoine naturel (CSRPN) va permettre d'approfondir la discussion des ZNIEFF ainsi que d'autres zones de protection et des corridors entre ces zones, pour améliorer le prochain projet du Schéma d'Aménagement Régional (SAR).

Nous travaillons actuellement pour que la base des informations développées lors du projet GuyaSpaSE serve pour construire un projet qui fédère les activités de description de services environnementaux à l'échelle de la Guyane. Dans le cadre du Labex CEBA (centre d'études de la biodiversité amazonienne), nous poursuivons les projets Habitats et GuyaSpaSE pour construire un projet central en collaboration étroite avec la DEAL et le Parc amazonien de Guyane (PAG). Ce projet, qui s'appelle DIADEMA, vise à rassembler les données existantes sur la biodiversité, non seulement des arbres mais aussi de huit autres groupes taxonomiques, dans une base de données pour les chercheurs et gestionnaires.

Ces développements méthodologiques participent par ailleurs au maintien de la visibilité internationale des chercheurs et gestionnaires forestiers de Guyane française (cf. invitation de C. Baraloto et O. Brunaux à la réflexion sur la stratégie d'inventaire forestier national du Suriname). Les échanges développés dans le cadre du projet invitent aussi à une réflexion plus large à l'échelle du Plateau des Guyane et de l'Amazonie dans laquelle doit aussi s'inscrire la politique environnementale guyanaise.

Bilan du projet

Les efforts entrepris au cours de ce projet ont permis de poursuivre une dynamique de collaboration déjà ancienne entre chercheurs et gestionnaires guyanais sur des sujets de premier plan en termes de politique environnementale. Ce programme a permis de valoriser au mieux les données forestières existantes pour produire les premières cartes de biomasse et les premiers indicateurs de biodiversité à l'échelle régionale, répondant ainsi à des attentes très fortes tant au plan local que national. Des bases solides ont été posées pour améliorer ces premières approches grâce à la définition d'un protocole optimisé permettant de générer des estimations plus fiables pour les principaux indicateurs (carbone, biodiversité) et d'intégrer aux prochaines campagnes d'acquisition de données une grande variété de groupes taxonomiques, élargissant ainsi le champ de vision des gestionnaires.

Au-delà de ces implications pratiques locales, le programme BGF a contribué à la production de nombreux articles scientifiques avec une forte visibilité internationale ainsi qu'à l'intégration de la Guyane au premier rang de réseau internationaux sur l'étude de la diversité.

Liste des opérations de valorisation et de transfert issues du contrat (articles de valorisation, participations à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	
Publications scientifiques parues	<ul style="list-style-type: none"> • Guitet, S., D. Sabatier, O. Brunaux, B. Hérault, M. Aubry-Kientz, J.-F. Molino, and C. Baraloto. 2014. Estimating tropical tree diversity indices from forestry surveys: A method to integrate taxonomic uncertainty. <i>Forest Ecology and Management</i> 328:270-281. • Fortunel, C., J. Ruelle, J. Beauchêne, P.V.A. Fine, and C. Baraloto. 2014. Wood specific gravity and anatomy of stems and roots in 113 Amazonian rainforest tree species across environmental gradients. <i>New Phytologist</i> • Fortunel, C., C. E. T. Paine, N. J. B. Kraft, P. V. A. Fine, and C. Baraloto. 2014. Environmental factors predict community functional composition in Amazonian forests. <i>Journal of Ecology</i> 102: 145-155. • ter Steege, H., N. Pitman, D. Sabatier, C. Baraloto et al. 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. <i>Science</i> 342:1243092. • Aubry-Kientz, M., B. Hérault, C. Ayotte-Trépanier, C. Baraloto, and V. Rossi. 2013. Towards trait-based mortality models for tropical forests? <i>PLoS One</i> 8: e63678. • Baraloto, C., Q. Molto, S. Rabaud, B. Hérault, R. Valencia, L. Blanc, P. V. A. Fine, and J. Thompson. 2013. Rapid simultaneous estimation of aboveground biomass and tree diversity across Neotropical forests: A comparison of field inventory methods. <i>Biotropica</i>. 45: 288-298. • Baraloto, C., S. Rabaud, Q. Molto, B. Hérault, L. Blanc, C. Fortunel, N. Davila, I. Mesones, M. Rios, E. Valderrama, and P. V. A. Fine. 2011. Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests. <i>Global Change Biology</i> 17: 2677-2688. • Q. Molto, B. Hérault, J.-J. Boreux, M. Dault, A. Roustaud, V. Rossi, Predicting Tree Heights for Biomass Estimates in Tropical Forests, <i>Biogeosciences Discuss.</i>, 10, 8611-8635 (2013) • Q. Molto, V. Rossi, L. Blanc, Error propagation in biomass estimation in tropical forests, <i>Methods in Ecology and Evolution</i>, 4(2): 175–183 (2013)
COLLOQUES SCIENTIFIQUES	
Participations passées à des colloques	<p><i>Colloques scientifiques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Baraloto, C. 2013. Phylogenetic patterns of tree stature and habitat specialization across lowland amazonian forests. Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation (ATBC), San Jose, Costa Rica, 22-26 June 2013. • Aubry-Kientz M, Ayotte-Trépanier C., Hérault B., Rossi V., Modélisation de la mortalité des arbres en forêt tropicale avec covariables incertaines, 7ème Rencontres Statistiques de

Rochebrune, Rochebrune, France, 1 au 6 avril 2012.

- Aubry-Kientz M, Ayotte-Trépanier C., Hérault B., Rossi V., Towards trait-based mortality models for tropical forests?, International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012.
- Baraloto, C. et al. Effects of road paving and land tenure on forest value in the trinational MAP region of southwestern Amazonia. Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation (ATBC), Bonito, Brazil. 18-22 June 2012.
- Baraloto, C. How can we use plant functional traits to predict tropical forest response to global changes? Annual Meeting of the ATBC, Arusha, Tanzania. 11-16 June 2011.
- Baraloto, C., Fortunel, C., Fine, P.V.A. Contrasting tissue strategies promote functional beta-diversity in Amazonian trees. Annual Meeting of Ecological Society of America, Austin, TX, 7-12 August, 2011.
- Fortunel, C., Fine, P.V.A., Baraloto, C. Environmental filtering and species distributions across lowland South American forests. Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation (ATBC), Bonito, Brazil. 18-22 June 2012.
- Fortunel, C., Fine, P.V.A., Baraloto, C. Trait strategies and community assembly in contrasting habitats of Amazonian rainforests. Annual Meeting of the Association of Tropical Biology and Conservation (ATBC), Arusha, Tanzania. 11-16 June 2011.
- Sist P, Mazzei L, Blanc L, Ruschel A, Rossi V, Kanshiro M. Long term Impact of logging on carbon storage and tree diversity in the Amazon Basin, International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012
- Sist P., Blanc L., Baraloto C. & Mazzei L. Current knowledge of general patterns of biomass dynamics after logging in amazonian forests. IUFRO Congress "Research priorities in tropical silviculture : towards new paradigms ?". Montpellier, France, 15-18 November 2011.
- Wagner F., Moore A., Rossi V., Hérault B. Which climate indices are relevant for predicting the response of tropical forests to future climate scenarios? International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012.

Colloques à destination des gestionnaires

- Brunaux, O. 2012. Workshop sur l'identification des arbres lors des inventaires forestiers. ONF-Guyane.

MASTERS	
Masters passés	<p>stage de M2 en 2011 (V. Guerrere, encadré par L. Blanc et S. Traissac) sur les inventaires papetiers et les inventaires de Couanami</p> <p>stage de M2 en 2012 (A. Leclerc, encadré par C. Fortunel) sur mesures de traits du bois</p> <p>stage de M2 en 2011 (C. Ayotte-Trepannier, encadré par B. Hérault et V. Rossi),</p> <p>stage de M1 en 2012 (J.-M. Madkaud, encadré par B. Hérault)</p> <p>deux étudiants de master de l'Université Utrecht (Pays-Bas) en 2011 (Fanny Boeraeve & Peter Zomer) sur analyse biomasse & pour mettre en place un réseau de parcelles Gentry sur le site de Kaw</p> <p>stage de césure (G. Coste, encadré par V. Rossi), carte de biomasse aérienne à l'échelle de la région entière</p>
METHODOLOGIES (GUIDES...)	
méthodologies produites	Baraloto, C. 2013. Protocole d'inventaires multi-taxonomique de biodiversité pour les forêts tropicales humides – DIADEMA.
AUTRES	
Précisez...	<ul style="list-style-type: none"> • Baraloto et Brunaux participent à la définition d'une stratégie d'inventaires forestiers nationaux au Suriname, et ont été invité à présenter les résultats issus de ce projet GuyaSpaSE en avril 2012 et juillet 2012 à Paramaribo. • Engel est allé en mission à Missouri Botanic Garden , USA, en octobre 2011 pour participer à une standardisation des échantillons herbiers de la Guyane avec des collaborateurs d'autres réseaux de parcelles permanentes au Brésil et au Pérou. • Baraloto est allé en Acre, Brésil, Pando, Bolivie et Madre de Dios, Pérou, en juin-juillet 2012 pour présenter les résultats des méthodes d'inventaires du projet et pour discuter les collaborations avec les réseaux de parcelles permanentes dans cette région.