

# CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE FORESTIÈRE TROPICALE : QUELLES IMPLICATIONS POUR LA GESTION DES FORÊTS GUYANAISES ?

**En quoi la diversité des espèces arborées est-elle liée à la dynamique du couvert forestier (turnover forestier) ? Quels sont les facteurs écologiques et anthropiques qui influencent cette dynamique ? Quels en sont les enseignements pour la gestion forestière ? En quoi la cartographie de la dynamique forestière peut nous aider dans cette gestion ? Le programme Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques (BGF) a apporté des éléments de réponse qui permettront d'affiner la gestion des forêts guyanaises.**

La Guyane est la plus grande région forestière française en termes de superficie avec huit millions d'hectares de forêts, soit un tiers à elle seule de la superficie forestière nationale. La très grande diversité biologique que renferme cette forêt tropicale, l'important stock de carbone qu'elle représente et plus généralement les divers services écosystémiques qu'elle rend, en particulier comme ressource de subsistance et comme pilier culturel pour les populations amérindiennes et bushinengue, font de la forêt guyanaise un écosystème à préserver. Cet enjeu de conservation trouve un écho au niveau européen, où la France est le seul pays gestionnaire d'une forêt tropicale humide, ce qui lui donne une responsabilité environnementale et climatique particulière dans le cadre de la nouvelle stratégie européenne pour la biodiversité à l'horizon 2030, ainsi qu'au niveau mondial avec les objectifs d'extension des aires protégées qui seront négociés dans la prochaine conférence des parties de la Convention sur la diversité biologique. La forêt guyanaise est par ailleurs une ressource à valoriser, avec des enjeux de

développement d'une région qui connaît un taux de chômage largement supérieur à celui de l'hexagone et une forte croissance démographique. Ce double enjeu de valorisation et de préservation de la forêt guyanaise est souligné dans la cinquième version provisoire du Programme régional forêt-bois de Guyane.

Les structures d'administration, de gestion, de conservation et de valorisation de l'écosystème forestier guyanais s'organisent géographiquement selon un gradient nord-sud. Au nord se situent la bande littorale qui concentre l'essentiel de la population et des activités agricoles de la Guyane, ainsi que le Domaine forestier permanent<sup>1</sup>. Au sud se situe le cœur du Parc Amazonien de Guyane. Comment cette structuration géographique de la gestion des forêts guyanaises se relie-t-elle aux caractéristiques écologiques de ces forêts ? En étudiant et cartographiant la dynamique des forêts guyanaises à différentes échelles, le programme BGF apporte des éléments pour éclairer les politiques publiques en matière de gestion forestière.

<sup>1</sup> Mis en place par décret, le domaine forestier permanent de Guyane comporte 2,4 millions d'ha de forêts au statut juridique spécifique qui fixe le cadre de gestion durable et multifonctionnel de ces forêts publiques susceptibles d'aménagement et d'exploitation régulière. Ce domaine est géré par l'Office national des forêts (ONF).

## Le programme BIODIVERSITÉ, GESTION FORESTIÈRE ET POLITIQUES PUBLIQUES (BGF) en quelques mots

Animé par le Groupement d'intérêt public Ecofor et soutenu par le ministère de l'Agriculture, le programme incitatif de recherche « Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques » (BGF) du ministère de l'Écologie a pour objectif de développer les connaissances nécessaires à une prise en compte effective de la biodiversité dans la gestion forestière au sens large, c'est-à-dire de l'exploitation forestière à la

gestion d'espaces boisés protégés. Depuis sa création en 1996, le programme a soutenu 39 projets et généré de nombreuses publications, recueils et synthèses qui contribuent à éclairer les politiques publiques. Entre 2014 et 2018, cinq projets étudiant diverses facettes des interactions entre adaptation des forêts au changement climatique et préservation de la biodiversité ont été menés.

## LE TURNOVER FORESTIER ET LA MOSAÏQUE SYLVATIQUE

Dans les forêts tropicales naturelles, toutes les classes de taille des arbres sont représentées. Les grands arbres qui atteignent la canopée sont les moins nombreux mais sont aussi ceux qui contribuent le plus à structurer la forêt et à stocker du carbone. Schématiquement, quand un de ces grands arbres meurt, l'ouverture de la canopée qu'il crée et l'accès à la lumière qu'il permet déclenchent un phénomène de succession initié par l'installation d'un grand nombre de plantules d'arbres à croissance rapide et bois peu dense, puis d'espèces à croissance lente et bois dense. Au terme de cette longue succession, un nouveau grand arbre viendra prendre la place dans la canopée de celui qui est mort. Ce cycle sylvigénétique a été théorisé dans les années 1970 par R.A.A. Oldeman qui a décrit la forêt guyanaise comme une mosaïque de petites<sup>2</sup> unités spatiales à différents stades de ce cycle. Dans cette vision classique, la mosaïque sylvatique est en perpétuelle évolution sous l'effet aléatoire de la mortalité des grands arbres et des processus de régénération et de croissance qui s'ensuivent. Dans une forêt à l'équilibre sur une surface assez grande pour englober tous les stades du cycle sylvigénétique, il y a autant d'arbres qui sont recrutés que d'arbres qui meurent : ce taux commun de mortalité et de recrutement détermine le régime du *turnover* forestier. Cette description du cycle sylvigénétique explique aussi que la dynamique forestière (recrutement, croissance et mort des arbres) et la structure forestière (nombre de grands arbres, hauteur et forme de la canopée, *etc.*) sont intrinsèquement liées. Les variations, dans l'espace et dans le temps, du régime du *turnover* forestier ont jusqu'à très récemment été très peu documentées et étudiées (faible nombre et étendue des dispositifs).

# 1 RÉGIMES DE TURNOVER FORESTIER STRUCTURÉS SPATIALEMENT ET STABLES À L'ÉCHELLE DU SITE

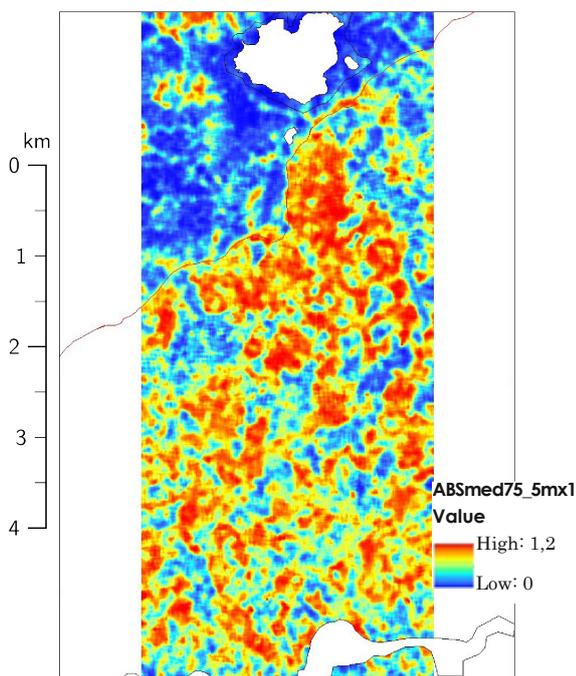


Figure 1. Carte d'un indicateur du régime du *turnover* forestier à partir des variations de la surface de la canopée sur le site des Nouragues entre 2012 et 2015. À l'échelle du paysage on observe des espaces à dynamique rapide (rouge) et d'autres lente (bleu).

La dynamique forestière peut être évaluée en mesurant le recrutement, la croissance et la mortalité des arbres dans des dispositifs forestiers permanents. Un projet BGF, mené entre 2006 et 2009 sous la conduite de Christopher Baraloto (INRA) dans le dispositif expérimental de Paracou qui compare différents traitements sylvicoles, a ainsi montré que l'exploitation forestière modifiait la composition spécifique et fonctionnelle<sup>3</sup> du peuplement sans pour autant affecter sa richesse spécifique ou sa diversité fonctionnelle. L'étude sur de vastes superficies du lien entre structure forestière, composition spécifique et fonctionnelle, et dynamique forestière (variations du taux de *turnover* forestier) permet par ailleurs d'appréhender le rôle de la dynamique forestière sur les paysages forestiers, leurs changements locaux et régionaux et la biodiversité qu'ils portent. C'est le choix qui a été fait dans le projet DynForDiv mené sous la conduite de Daniel Sabatier (IRD) dans la dernière phase (2014-2018) du programme BGF. À l'échelle de sites ayant une superficie comprise entre 1 500 et 6 400 ha, la surface de la canopée forestière a été modélisée à l'aide de levées LiDAR ALS<sup>4</sup> successives à 2, 3 ou 4 ans d'intervalle. L'écart de la hauteur de canopée entre ces deux dates a été calculé et différents indicateurs du *turnover* forestier déduits des variations observées. Sur le site des Nouragues, la mesure de la surface de la canopée a pu être réalisée en utilisant non seulement des données LiDAR

<sup>2</sup> 20 à 1 000 m<sup>2</sup> est l'ordre de grandeur.

<sup>3</sup> Dans une approche fonctionnelle, les arbres sont décrits non pas par leur espèce mais par des traits fonctionnels, c'est-à-dire leurs caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques qui sont liées au fonctionnement de l'écosystème. La taille des graines d'un arbre, par exemple, est un trait fonctionnel (ou trait d'histoire de vie).

<sup>4</sup> Le LiDAR (acronyme de « Light Detection and Ranging ») est une technique de mesure à distance fondée sur la réflexion par l'objet à mesurer d'un faisceau laser. Les données obtenues lors de sa mise en œuvre avec un scanner aéroporté (ALS pour Airborne Laser Scanner) sont les coordonnées tridimensionnelles des points où le laser a rencontré un obstacle, avec une densité de quelques points à une trentaine de points par m<sup>2</sup>.

mais aussi des photographies aériennes argentiques de 1950 et 1976, permettant de reconstituer les variations de hauteur de canopée sur 65 ans. Cette approche photogrammétrique est une première pour la mesure en trois dimensions de surfaces forestières tropicales. Les cartes du régime du *turnover* forestier (ou intensité de la dynamique forestière) ainsi obtenues à plusieurs pas de temps ont montré une organisation spatiale

non aléatoire et une permanence dans le temps (figure 1), contrastant fortement avec la vision classique de la mosaïque sylvatique qui repose sur une organisation spatiale aléatoire des stades de succession. La stabilité de la structuration spatiale de la dynamique forestière identifiée à l'échelle des sites rend d'autant plus pertinente une cartographie du *turnover* à plus grande échelle.

## 2

# UN RÉGIME DE TURNOVER ET DES COMMUNAUTÉS D'ARBRES LIÉS

À partir de la cartographie du *turnover* forestier dans sept sites de Guyane française, le projet DynForDiv a montré que le régime de *turnover* des forêts était lié aux traits fonctionnels des espèces d'arbres présentes dans ces forêts. Les forêts à dynamique rapide comportaient davantage d'espèces à bois peu dense et ayant des graines de petite taille. À l'inverse, les forêts à dynamique lente comportaient davantage d'espèces à bois dense et ayant des graines de grande taille. Le régime de *turnover* forestier est également lié à la fréquence en nombre de tiges des arbres de la famille des Urticaceae dans le peuplement. Cette famille rassemble les genres *Cecropia* et *Pourouma* qui cor-

respondent à des espèces pionnières<sup>5</sup>, beaucoup plus fréquentes quand la dynamique est rapide. Cette relation entre *turnover* forestier et composition fonctionnelle et sa stabilité dans le temps permettent d'envisager la cartographie du *turnover* forestier pour cartographier indirectement les caractéristiques fonctionnelles des communautés d'arbres. En montrant que la diversité des communautés d'arbres est liée à la fréquence des arbres de la famille des Urticaceae par une relation en bosse, le projet DynForDiv a également retrouvé à l'échelle du paysage un modèle de « perturbation intermédiaire » par ailleurs observé à l'échelle locale.

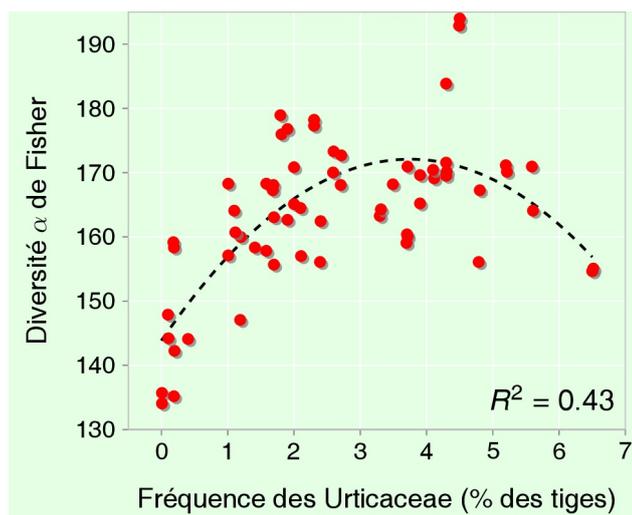


Figure 2. Relation entre la fréquence des Urticaceae et la diversité alpha de la communauté d'arbres des relevés.

### L'HYPOTHÈSE DE LA PERTURBATION INTERMÉDIAIRE

Des niveaux élevés de perturbation dans une forêt favorisent les espèces pionnières ou héliophiles au détriment des espèces sciaphiles venant en fin de succession. À l'inverse, des niveaux faibles de perturbation favorisent les espèces sciaphiles au détriment des pionnières. L'hypothèse de la perturbation intermédiaire stipule que la diversité spécifique est maximale quand le niveau des perturbations est intermédiaire, permettant aussi bien aux espèces précoces qu'aux espèces tardives de la succession de coexister. Le projet DynForDiv a montré à l'échelle des paysages que la diversité alpha de la communauté d'arbres était liée à la fréquence des Urticaceae dans le peuplement (un indicateur du niveau de perturbation / dynamique) par une relation en bosse (figure 2), en accord avec l'hypothèse de la perturbation intermédiaire<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Dans les forêts tropicales humides, les espèces pionnières sont celles qui germent et qui s'établissent dans des sites récemment perturbés (trouée de la canopée liée à un chablis par exemple). Elles présentent un ensemble de traits physiologiques et démographiques caractéristiques (longue dormance et petite taille des graines, croissance rapide, fort besoin de lumière, etc.)

<sup>6</sup> Guitet S, Sabatier D, Brunaux O, et al. 2018. Disturbance Regimes Drive The Diversity of Regional Floristic Pools Across Guianan Rainforest Landscapes. Scientific Reports 8: 3872.

Après avoir montré la stabilité spatiale et temporelle des régimes de *turnover* des forêts guyanaises à l'échelle locale de sites de quelques milliers d'hectares de superficie, le projet DynForDiv a cartographié ces régimes de *turnover* forestier sur l'ensemble de la Guyane. Ce changement d'échelle a été réalisé en entraînant un modèle de classification supervisée d'images satellite Landsat à partir de zones où les régimes de *turnover* forestier avaient été mesurés par LiDAR. Le changement d'échelle a été validé en reliant la densité moyenne des bois des arbres à la dynamique des peuplements : le projet a ainsi retrouvé à l'échelle de la Guyane toute entière la même relation décroissante entre la densité des bois et l'intensité de la dynamique que celle qui avait été observée à l'échelle locale des sites. La nouvelle carte forestière de la Guyane ainsi obtenue représente la dynamique forestière (figure 3).

Les paysages forestiers ouverts du sud de la Guyane, avec de vastes étendues de cambrousse<sup>7</sup> et de lianes, sont liés à une dynamique forestière rapide. À l'inverse de la dynamique classique de succession végétale qui implique un rehaussement de la canopée au cours du temps, des dynamiques de régression où la hauteur de la canopée décroît jusqu'à l'apparition d'une cambrousse peuvent y être observée. Les forêts à dynamique rapide soulignent également le tracé des cours d'eau, notamment dans le centre-ouest de la Guyane. Les forêts à dynamique lente se trouvent majoritairement dans le nord de la Guyane et représentent probablement un biome forestier beaucoup plus ancien que les forêts à dynamique rapide. Des travaux antérieurs ont par ailleurs montré que ces forêts étaient moins résilientes au stress hydrique.

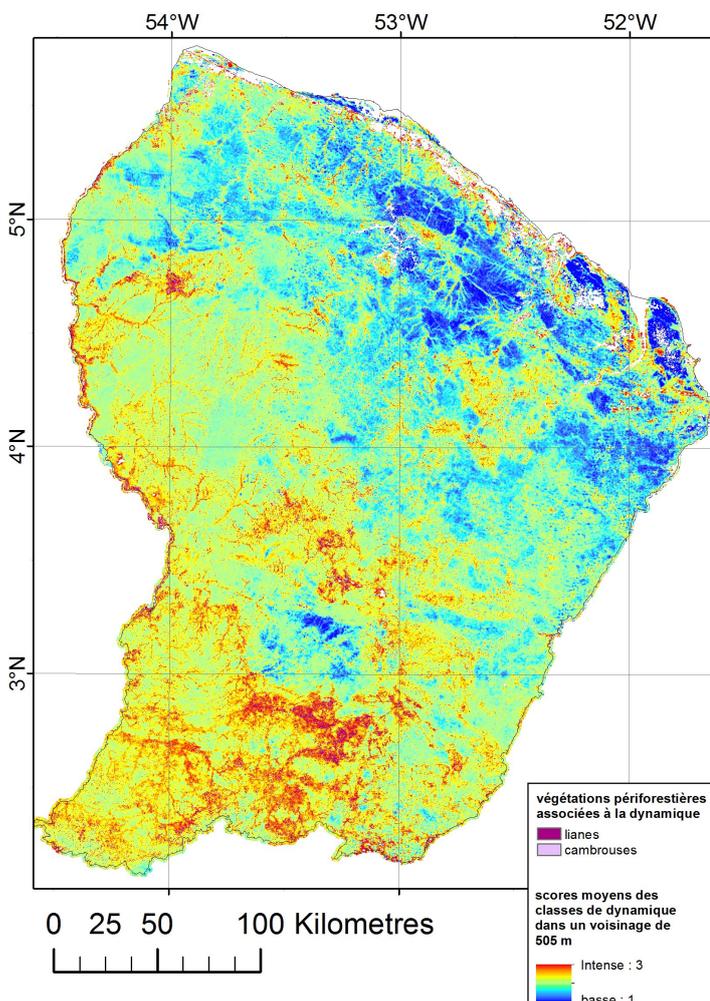


Figure 3. Carte de la dynamique forestière de la Guyane. Le rouge correspond aux dynamiques les plus rapides alors que le bleu correspond aux dynamiques les plus lentes.

La carte des dynamiques forestières de Guyane fait apparaître un gradient dominant nord-sud qui coïncide avec le gradient géographique nord-sud des structures d'administration et de gestion des forêts guyanaises. Les forêts à dynamique lente sont surreprésentées dans le Domaine forestier permanent au nord, alors que les forêts à dynamique rapide sont surreprésentées dans l'aire du Parc Amazonien de Guyane au sud. Cette coïncidence interroge les politiques publiques en matière de gestion et de conservation du biome forestier. Cette nouvelle carte forestière de la Guyane peut aussi avoir des applications pour la gestion forestière, par exemple pour stratifier les peuplements forestiers guyanais dans la perspective de la mise en place d'un inventaire forestier régulier à l'échelle de la Guyane.

<sup>7</sup> Une cambrousse désigne ici une formation végétale basse, dépourvue d'arbres (généralement composée de bambous, plus rarement d'herbacées géantes).

## 4

## LES DÉTERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE FORESTIÈRE RESTENT À DÉCRYPTER

La stabilité spatiale et temporelle du *turnover* forestier mise en évidence à l'échelle locale par le projet DynForDiv suggère qu'il pourrait exister des déterminants biophysiques (versants, topographie, sols, géologie) qui sous-tendent la dynamique forestière. Cependant, la recherche de relations entre ces déterminants biophysiques et le *turnover* forestier à l'échelle des sites n'a pas révélé de relations directes simples. Des effets de versant (au vent versus sous-vent) ont bien été observés sur certains sites mais sans qu'ils puissent être généralisés. Toujours à l'échelle des sites, si la relation entre la hauteur de la canopée et la dynamique présente des profils différents selon les contextes pédologiques, ni la stature forestière ni la dynamique forestière ne semblent directement ou complètement déterminées par la profondeur des sols. Localement, les forêts à dynamique rapide correspondent à des situations remarquables du réseau hydrographique (comme les têtes de talwegs sou-

mises à l'érosion et l'hydromorphie) tandis que, à l'échelle de la Guyane, les forêts à dynamique lente sont davantage associées aux sols contraignants. Cette difficulté à décrypter les déterminants environnementaux de la dynamique forestière peut s'expliquer par le fait que ce sont les interactions entre plusieurs de ces déterminants qui influencent la dynamique forestière et que ceux-ci présentent de fortes auto-corrélations spatiales. Cette difficulté n'est pas spécifique à la dynamique forestière mais concerne aussi d'autres caractéristiques de la forêt comme la quantité de carbone qu'elle stocke. Le projet GUYASPASE, mis en œuvre entre 2010 et 2014 dans le cas du programme BGF sous la conduite de Christopher Baraloto, a ainsi mis en évidence la faible influence de l'environnement sur les variations de biomasse forestière à l'échelle locale comparée à l'influence de la structure forestière.

## 5

## L'OCCUPATION HUMAINE ANCIENNE INFLUENCE-T-ELLE LA DYNAMIQUE ACTUELLE ?

L'histoire ancienne des végétations forestières de Guyane reste mal connue bien qu'elle puisse être un déterminant important des dynamiques forestières actuelles. En examinant des profils isotopiques  $\delta^{13}\text{C}$  de la matière organique du sol<sup>8</sup>, le projet DynForDiv a détecté des pics qui pourraient correspondre à de profonds remaniements de la forêt au cours des quatre derniers millénaires. Des datations au carbone 14 permettent de rejeter l'hypothèse d'un synchronisateur climatique de type période sèche. Parmi les hypothèses, celle d'un enrichissement en  $^{13}\text{C}$  par des graminées autochtones ou des plantes cultivées (maïs) par les Amérindiens anciens n'a pas été validée par l'examen des phytolithes (Laurent Bremond, ISEM Montpellier, ined.). Des traces directes d'occupation du sol par les civilisations amérindiennes précolombiennes sont réparties sur l'ensemble du territoire guyanais.

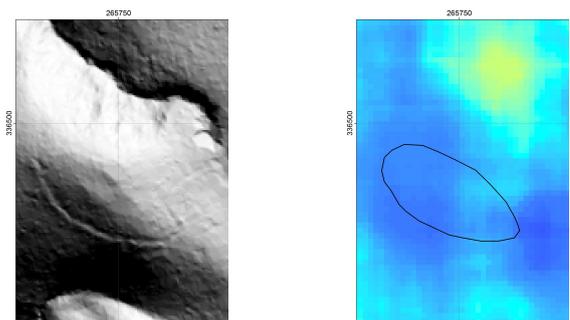


Figure 4. Montagne couronnée du Mont Itoupé : à gauche (en noir et blanc), modèle numérique de terrain obtenu par relevé LiDAR qui fait apparaître le sommet plan de la montagne couronnée et le fossé qui l'entoure ; à droite (en couleur), situation du fossé sur la carte de dynamique forestière.

<sup>8</sup> Le carbone existe naturellement sous deux formes isotopiques stables,  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ . Lors de la photosynthèse, les plantes captent préférentiellement le carbone  $^{12}\text{C}$ , plus léger, avec une différence de signature isotopique entre les plantes utilisant la voie métabolique de fixation du carbone en  $\text{C}_3$  et celles utilisant la voie en  $\text{C}_4$  (comme le maïs ou des Poaceae). L'examen des profils isotopiques de la matière organique des sols permet ainsi de détecter des changements passés dans la composition des végétaux, en particulier des transitions entre la forêt et la savane ou des formations ouvertes (riches en Poaceae).

Le projet DynForDiv a lui-même découvert quatre montagnes couronnées<sup>9</sup> grâce à la précision infra-métrique des relevés topographiques du LiDAR (figure 4). Cet apport du projet DynForDiv est double : il souligne le lien possible entre la dynamique forestière actuelle et l'occupation humaine ancienne, celle-ci

pouvant être à l'origine des forêts hétérogènes à dynamique rapide ; il contribue à dévoiler une histoire d'occupation humaine ancienne encore mal connue, renforçant ainsi la valeur culturelle des forêts guyanaises.

<sup>9</sup> Les montagnes couronnées (terme emprunté à une expression saramaca) désignent des aménagements amérindiens précolombiens se présentant aujourd'hui comme des fossés entourant des sommets de colline, qui pourraient être des vestiges de sites d'habitat défensif ou rituels.



*Qualea moriboomii* (Vochysiaceae), site Nouragues. © Daniel Sabatier

**La forêt guyanaise présente ainsi des régimes de turnover forestier qui sont stables sur des périodes décennales ou pluri-décennales et qui sont liés à la composition spécifique et fonctionnelle des communautés d'arbres. L'intensité de la dynamique apparaît partiellement liée à la fertilité physico-chimique des sols et à la position topographique, mais ces déterminants environnementaux restent à être mieux décryptés. Il en va de même pour l'histoire de l'occupation humaine ancienne, qui pourrait être un déterminant de la dynamique forestière actuelle mais qui reste mal connue.**

**Le programme BGF a ainsi montré que la dynamique forestière est un indicateur pertinent pour raisonner la conservation et la gestion des forêts guyanaises. Sa cartographie à l'échelle de la Guyane constitue donc un outil précieux pour faire face au double enjeu de valorisation et de préservation de la forêt guyanaise. La carte de la dynamique forestière à l'échelle de la Guyane présente un gradient nord-sud avec une dominance de forêts à dynamique lente dans le nord où se situe le Domaine forestier permanent et une dominance de forêts à dynamique rapide dans le sud où se situe le Parc Amazonien de Guyane.**

**Une recommandation issue du programme BGF serait d'accroître la proportion des forêts à dynamique lente, représentant un biome forestier probablement ancien, dans les dispositifs de conservation guyanais.**

Retrouvez les rapports des projets, la bibliographie et les autres synthèses

**Synthèse n°1 : La biodiversité dans l'espace et le temps forestier.**

**Synthèse n°2 : Quels indicateurs pour la biodiversité forestière ?**

**Synthèse n°3 : Quels compromis entre biodiversité, production et autres services forestiers ?**

**Synthèse n°4 : Gestion durable et biodiversité des sols forestiers**

sur <http://bgf.gip-ecofor.org>

**Rédaction :** Nicolas Picard.

**Relecture :** Thomas Cordonnier, Daniel Sabatier, Bernard Riéra.

**Mise en page :** Viviane Appora.

Publié en 2020.