

## Offre de thèse en biomécanique de l'arbre

UMR EcoFoG – *Dispositif des Sciences du Bois (Kourou, Guyane)*

**Projet CNRS 80Prime « BioMécaLogie »**

**Titre : Relations entre stratégies biomécaniques et tempéraments écologiques des espèces d'arbres de Guyane**

**Encadrants : Julie BOSSU** (Chargée de recherche CNRS, UMR EcoFoG), **Romain Lehnebach** (chercheur CIRAD, UMR EcoFoG), **Bruno Clair** (Directeur de recherche CNRS, UMR LMGC), **Tancrède Alméras** (Chargé de recherche CNRS, UMR LMGC)

---

### **Résumé :**

Les arbres des forêts tropicales présentent une diversité de tempéraments écologiques (affinité à la lumière, croissance, taille à maturité). La relation entre la densité et les propriétés mécaniques du bois d'une part, et le tempérament d'autre part font de la densité un trait fonctionnel utilisé pour décrire la stratégie mécanique d'une espèce. Néanmoins, la performance mécanique d'un arbre dépend à la fois des propriétés de son bois, et de sa morphologie (hauteur, diamètre). En s'appuyant sur une base de données sur les propriétés mécaniques des bois de Guyane, des mesures sur le terrain et une approche en modélisation couplant morphologie des arbres et variabilité des propriétés mécaniques du bois, ce projet vise à (i) identifier un panel de stratégies biomécaniques des arbres et affiner les tempéraments écologiques, (ii) proposer des traits fonctionnels pertinents pour décrire la stratégie mécanique des espèces et (iii) améliorer la prédiction de la qualité du bois en regard du tempérament de l'espèce et de la taille de l'arbre.

### **Mots-clés :**

Biomécanique de l'arbre, propriétés du bois, tempérament écologique, forêt tropicale

---

### **Contexte**

On estime aujourd'hui à plus de 1800 le nombre d'espèces d'arbres présents en Guyane (Molino et al., 2022). Au cours des dernières décennies, plusieurs tentatives ont été faites pour décrire les principales stratégies des plantes. Aujourd'hui, on regroupe les espèces autour de modèles de tempéraments écologiques principalement définis par des critères en lien à la vitesse de croissance, aux besoins en lumière et aux dimensions à maturité (Collinet, 1997; Favrichon, 1994; Gourlet-Fleury, 1997; Oldeman et al., 1991) traduisant un compromis entre performance et sécurité (Jaouen, 2007).

Les tempéraments des arbres ont une répercussion directe sur la variabilité de leur bois : matériau de construction multifonctionnel, le bois assure les besoins mécaniques, hydrauliques et de stockage de l'arbre tout au long de son développement. Ainsi, depuis le bois à cœur (produit au stade jeune), jusqu'au bois sous écorce (produit à un stade plus mature), les propriétés du bois sont ajustées en regard des besoins de l'arbre et des contraintes de l'environnement. On observe, et particulièrement en milieu tropical, de forts gradients de propriétés dans l'arbre (Bossu et al., 2018; Morel et al., 2018).

Les relations entre stratégies écologiques des espèces et variations de densité dans l'arbre sont aujourd'hui bien connues (Lachenbruch et al., 2011) et ont été décrites chez les espèces tropicales (Hietz et al., 2013; Lehnebach et al., 2019). Elles s'expliquent bien par des règles d'allocation de la biomasse en lien avec la vitesse de croissance des espèces. Aujourd'hui, les performances mécaniques des arbres sont souvent lues au travers de la densité (Chave et al., 2009; van Gelder et al., 2006). Mais au-delà de la densité, le module spécifique (propriété mécanique intrinsèque du matériau et indépendante de la densité) est une source majeure de variation de la performance mécanique du bois avec l'ontogénie. Dans les stades jeunes, durant la phase d'installation de l'arbre au sein de la structure forestière, l'arbre ajuste rapidement les propriétés mécaniques de son bois. Pourtant, les stratégies écologiques des espèces d'arbres tropicaux n'ont jamais été expliquée à partir des propriétés mécaniques intrinsèques de leur bois (module spécifique, angle des microfibrilles, angle du fil).

En forêt tropicale humide, où l'on a accès à la plus large diversité d'espèces d'arbres au monde, les dernières décennies de recherche ont permis l'accumulation de données qui mettent en évidence différents patrons de variation des propriétés mécaniques, du cœur jusqu'à l'écorce. En étudiant les gradients de densité et module spécifique du bois dans l'arbre, on peut analyser rétrospectivement les performances du matériau produit à chaque stade de la vie de l'arbre. La performance mécanique d'un arbre dépend à la fois de ces propriétés, et de la morphologie des arbres (hauteur, diamètre). C'est pourquoi en l'absence de données précises sur l'évolution de la morphologie des arbres pendant la phase d'installation, il est difficile de caractériser la stratégie biomécanique de l'arbre et de la relier au tempérament écologique de l'espèce.

### **Verrous scientifiques et objectifs du projet**

Si certains travaux ont relié biomécanique du tronc, morphologie des arbres et vitesse de croissance de l'espèce, aucun n'a entrepris d'élucider l'évolution de la biomécanique de l'arbre au cours de son développement à l'échelle de l'individu. Un verrou majeur reste donc l'absence de jeux de données décrivant à la fois les propriétés mécaniques du bois et la morphologie des tiges, durant la phase d'installation des espèces. Cette tâche complexe suggère d'étudier un grand nombre d'arbres pour une même espèce, et cela à différents stades de développement (de 1 cm à 15 cm de diamètre).

Par le biais de la modélisation, ces données peuvent pourtant permettre de retracer l'évolution des performances biomécaniques de l'arbre au cours de son installation et de revisiter les modèles de tempéraments écologiques existant en proposant pour la première fois d'y intégrer la biomécanique des espèces. Plus largement, ces travaux contribueraient à mieux comprendre comment les propriétés mécaniques du bois sont ajustées selon la morphologie de l'arbre et en réponse aux contraintes inhérentes du développement en milieu forestier. Une telle ambition requiert de mutualiser les connaissances en écologie et biologie tropicale, en technologie du bois et en biomécanique de l'arbre.

Finalement d'un point de vue applicatif, il existe également un enjeu fort à améliorer nos connaissances en lien aux variations des propriétés du bois dans l'arbre afin de permettre une meilleure prédiction de la qualité de l'arbre sur pied selon l'espèce et les dimensions de l'arbre, pour optimiser les pratiques sylvicoles et la valorisation des ressources forestières.

### **Résultats attendus**

Les résultats de modélisation permettront de décrire l'évolution des traits biomécaniques au cours du développement des arbres (marge de sécurité au flambement, rigidité, flexibilité) et de définir leurs stratégies biomécaniques. Ces nouveaux résultats seront alors discutés afin d'affiner, voire de redéfinir, les classes de tempérament écologique des espèces étudiées.

Ces résultats permettront de proposer à la communauté des sciences de l'écologie de nouveaux traits fonctionnels : en complément de la densité, le module spécifique permettra de mieux évaluer la stratégie fonctionnelle des espèces d'un point de vue mécanique.

Les modèles produits dans le cadre de ce projet serviront aussi de support aux sciences forestières en milieu tropical afin d'améliorer la prédiction de la qualité du bois selon la classe de diamètre pour chaque groupe de tempérament.

### **Description des activités de recherche**

#### **1. Exploitation des données existantes sur les arbres tropicaux**

Une première phase du projet consistera en la confrontation des données existantes dans l'unité EcoFoG (bases de données locales) sur (i) la variabilité des propriétés mécaniques au sein des espèces tropicales (gradient radial de module et de module spécifique ; ~70 espèces, ~100 individus) et (ii) les caractéristiques écologiques des espèces (taux de croissance, affinité à la lumière, position dans la structure forestière).

Cette première analyse permettra de distinguer différents patrons mécaniques observables au sein des mêmes groupes de tempérament écologiques afin de sélectionner les espèces d'intérêt pour cette étude, couvrant une large gamme de stratégies mécaniques et tempéraments écologiques.

#### **2. Analyse morphologique, échantillonnage et mesure des propriétés du bois**

Il s'agira d'identifier sur le terrain, pour les espèces sélectionnées, des arbres en phase d'installation de stades de développement variés, du juvénile à l'arbre mature. Des mesures de morphologie seront ensuite réalisées sur chaque arbre afin de relever des paramètres essentiels tels que la hauteur et le diamètre du tronc, la position des branches et la taille de la couronne. Les arbres seront ensuite abattus afin de prélever un billon dans lequel des éprouvettes seront usinées de la moelle à l'écorce permettant la mesure des propriétés physiques et mécaniques du bois, notamment par méthodes non destructives (Brémaud et al., 2011).

#### **3. Modélisation des performances biomécaniques des arbres**

A partir des données morphologiques et mécaniques acquises, des modèles analytiques seront développés pour modéliser les performances biomécaniques des espèces étudiées à chaque stade de développement.

L'étudiant(e) recruté(e) aura la responsabilité des tâches suivantes, avec l'aide de l'équipe encadrante : bibliographie sur les tempéraments écologiques des espèces tropicales ; analyse de données préliminaire ; prospection, identification et mesure des arbres sur pied ; échantillonnage et usinage des éprouvettes avec l'aide du technicien menuisier d'EcoFoG ; réalisation des essais mécaniques ; gestion et analyse des données acquises ; modélisation au cours de plusieurs missions à Montpellier au LMGC ; valorisation des résultats.

---

**Profil du candidat :**

- Niveau Ingénieur ou Master 2, spécialité sciences du bois, écologie forestière et/ou mécanique.
- Une expérience du terrain, et des compétences en analyse des données, statistiques et programmation seront un plus.
- Sens du travail en équipe, bon relationnel, sens de l'organisation, esprit de synthèse, curiosité scientifique, dynamisme et autonomie.
- Qualités rédactionnelles et aisance à l'oral en français et en anglais requises

**Durée-période :** 3 ans à partir du 1<sup>er</sup> Octobre 2025

**Lieux :** UMR EcoFoG – Dispositif Sciences du Bois, Kourou, Guyane

Missions à Montpellier prévues dans le cadre de la thèse

Possibilité de logement sur le campus d'EcoFoG pendant les trois premiers mois.

**Rémunération :** autour de 3100 € bruts/mois

---

**Pour candidater :**

Envoyez votre CV et lettre de motivation par mail : [julie.bossu@cnrs.fr](mailto:julie.bossu@cnrs.fr), [romain.lehnebach@cirad.fr](mailto:romain.lehnebach@cirad.fr), [bruno.clair@cnrs.fr](mailto:bruno.clair@cnrs.fr), [tancrede.almeras@umontpellier.fr](mailto:tancrede.almeras@umontpellier.fr)

**Candidatures ouvertes jusqu'au 20/06/2025**

