

Stage de 2^{ème} année

Année scolaire 2008-2009

MULLER Félix – Élève ingénieur agronome en année d'alternance

Rapport de stage de 2^{ème} année :

Estimation de la vitesse de décomposition du bois mort
en forêt tropicale humide :

Rôle des caractéristiques individuelles et spécifiques



Stage réalisé à l'UMR EcoFoG du 2 juin au 31 août 2008 – Kourou

Maîtres de stage : Bruno HÉRAULT (UAG) et Jacques BEAUCHÊNE (CIRAD)

Enseignants-tuteurs : Marie-Laure NAVAS et Jean-Luc REGNARD

Photographie 1 : La tour Guyaflux à Paracou (photographie personnelle)

Ce rapport de stage présente le travail que j'ai effectué au sein de l'UMR Écologie des Forêts de Guyane de début juin à fin août 2008. Les résultats décrits dans le présent rapport ne sont que très partiels, étant donné que mon stage se prolonge jusqu'à fin novembre 2008 dans le cadre d'une année d'alternance.

En effet, lors de la rédaction du rapport de stage, à peu près la moitié seulement des données de terrain aura été recueillie sur le site de Paracou. De ce fait, le modèle ici présenté ne concerne que les données recueillies avant le 1^{er} septembre et n'est probablement qu'une prémisse du modèle final que nous aurons obtenu fin novembre.

Je vous prie donc de bien vouloir prendre en considération le fait que le présent rapport ne relate que le travail et les résultats des trois premiers mois d'un stage qui en comporte six...

Table des figures et des photographies

Figure 1 : Organigramme de l'UMR EcoFoG	p.11
Figure 2 : Les différents compartiments de stockage du carbone en FTH	p.15
Figure 3 : Différence entre taux de décomposition mesuré et prédit	p.17
Figure 4 : Evolution de la constante K de décomposition en fonction de la densité du bois et du DBH	p.17
Figure 5 : Localisation géographique du site de Paracou	p.22
Figure 6 : Cartographie des parcelles du dispositif de Paracou	p.24
Figure 7 : Présentation des 4 traitements forestiers conduits à Paracou	p.24
Figure 8 : Exemple de cartographie de localisation des individus échantillonnés dans un des carrés des parcelles étudiées à Paracou	p.28
Figure 9 : Exemple type de fiche de terrain	p.31
Figure 10 : Ratio de masse restante en fonction du temps, pour des individus de densité > 0.85	p.35
Figure 11 : Ratio de masse restante en fonction du temps, pour des individus de densité < 0.45	p.35
Figure 12 : Modèle de décomposition : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t}$	p.37
Figure 13 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la densité	p.37
Figure 14 : Modèle de décomposition : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t / \text{densité}}$	p.39
Figure 15 : Modèle de décomposition : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t / \text{densité}^\beta}$	p.39
Figure 16 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la circonférence (en cm)	p.41
Figure 17 : Modèle de décomposition : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t \cdot \text{circonférence}^{-\gamma} / \text{densité}^\beta}$	p.41
Figure 18 : Modèle de décomposition : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t \cdot \text{circonférence}^{-\gamma'} / \text{densité}^\beta}$	p.43
Figure 19 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la densité du bois et du DBH	p.43
Figure 20 : Comparaison entre la constante C de décomposition et la constante K issue des travaux de Chambers	p.45
Figure 21 : Comparaison de la décomposition du bois mort : parcelles naturelles vs exploitées	p.47
Figure 22 : Comparaison entre la masse restante observée et la masse restante prédite par le modèle : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t \cdot \text{circonférence}^{-\gamma'} / \text{densité}^\beta}$	p.49
Photographie 1 : La tour Guyaflux à Paracou	p.2
Photographie 2 : Carbet de travail à Paracou	p.22

Liste des abréviations

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

CTFT : Centre Technique Forestier Tropical

DBH : Tree diameter at breast height / diamètre à 1,3 m du sol

EcoFoG : Écologie des Forêts de Guyane

ENGREF : École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts

FTH : Forêt Tropicale Humide

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

L3MA : Laboratoire Matériaux et Molécules en Milieu Amazonien

UAG : Université Antilles-Guyane

UMR : Unité Mixte de Recherche

Sommaire

Avertissement au lecteur	p.3
Table des figures et des photographies	p.5
Liste des abréviations	p.6
Sommaire	p.7
Introduction	p.9
I. Présentation de l'UMR EcoFoG	p.10
II. Contexte scientifique de l'étude	p.14
III. Ma mission durant le stage	p.19
Matériel et méthodes	p.21
I. Matériel	p.23
II. Méthodes	p.29
Résultats – Discussion	p.35
I. Modélisation mécaniste de la décomposition du bois mort	p.35
II. Représentation de la constante C de décomposition et comparaison avec les résultats de Chambers	p.44
III. Comparaison de la décomposition du bois mort en parcelles naturelles vs exploitées	p.48
IV. Discussion des résultats obtenus	p.50
Conclusion	p.53
Bibliographie	p.55
Annexes	p.57

Introduction

Dans le cadre de ma 2^{ème} année d'ingéniorat agronome à Montpellier SupAgro, j'ai été amené à effectuer un stage de 3 mois au sein de l'Unité Mixte de Recherche « Écologie des Forêts de Guyane » de Kourou en Guyane française, du 2 juin au 31 août 2008.

La thématique qui m'a été proposée d'étudier durant ce stage est la décomposition du gros bois mort en Forêt Tropicale Humide (FTH), l'objectif étant d'obtenir un modèle de décomposition des gros bois morts de FTH qui prenne en compte des caractéristiques individuelles (e.g. DBH à la mort, type de mort, ratio aubier/duramen...) et des caractéristiques spécifiques (e.g. densité du bois, durabilité du duramen...) et ce afin d'étudier l'évolution de la quantité de biomasse en fonction du temps, du DBH, de la densité du bois... Ce stage constituera la première pierre d'un programme plus ambitieux qui visera à obtenir un modèle global de décomposition du gros bois qui intègre à la fois des paramètres biologiques (objet du présent stage), des paramètres climatiques (régimes pluviométriques et températures) et des paramètres de gestion forestière.

I. Présentation de l'Unité Mixte de Recherche « Écologie des Forêts de Guyane »

L'UMR EcoFoG a été créée en 2001. Elle regroupe aujourd'hui le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), le CNRS (Centre National de Recherche Scientifique), AgroParisTech – École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) et l'Université Antilles-Guyane. L'objectif de l'UMR est de consolider une dynamique scientifique locale autour de l'objet d'étude « forêt tropicale ». Il s'agit de développer une approche pluridisciplinaire de l'écologie d'un écosystème complexe. L'UMR mène ainsi des recherches sur les écosystèmes forestiers guyanais dont la caractéristique majeure est leur grande biodiversité végétale et animale.

Son projet de recherche se focalise donc naturellement (i) sur les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes forestiers naturels et/ou exploités, (ii) sur l'évolution de ces systèmes face aux changements globaux et anthropiques, et finalement (iii) sur leurs produits et utilisations innovants en tenant compte des contraintes d'utilisation liées au milieu tropical. Pour ce faire, elle réunit des compétences interdisciplinaires en sciences de la vie (écologie, dynamique des populations, génétique des populations et génomique, écophysiologie et écologie fonctionnelle, microbiologie des sols...), chimie et sciences de l'ingénieur (chimie des substances naturelles, mécanique, chimie et analyse des matériaux, tout particulièrement des bois tropicaux guyanais...).

EQUIPES DE RECHERCHE ET PERSONNEL D'APPUI

Directeur

Bernard THIBAUT

Directeur adjoint

Eric MARCON

Services Généraux	Equipe 1 : La diversité fonctionnelle, sa caractérisation et son rôle dans le fonctionnement de l'écosystème : Responsable : Damien BONAL (I)	Equipe 2 : Diversité, organisation et dynamique des écosystèmes forestiers Responsable : Lilian Blanc (C ⁺)	Equipe 3 : Matériaux et molécules en milieu amazonien. Responsable : Ch. ROOS C (U)
Services administratifs : SANTINI Josie T (I) BEAUCHENE Catherine T (I) BOLORE Louise T (E) AMBOUILLE Alice T (I) MORIEUX Noëlle T (E) Documentation : LEGRAND Carole T (E) Communication & RFD (Silvolab) : QUESSETTE Marie-Pierre C (E) Services techniques et logistiques : PRUDENT Georges-Henry T (I) MILORME Amicelda T (I/E) RUFUS Charles T (E)	Chercheurs et ingénieurs : DOMENACH Anne-Marie C (C) ROGGY Jean-Christophe C (I) SCHIMANN Heidi (I) PATINO Sandra (I) Doctorants : BRECHET Laetitia D COSTE Sabrina D STAHL Clément (B. Thibaut) Techniciens : BURBAN Benoît T (I) GORET Jean-Yves T (I) GODARD Isabelle T (C) LOUISANNA Eliane T (I) PATIENT Audin T (I) WEIGEL Jean T (E) Adjoint technique : CAZAL Jocelyn	Chercheurs et ingénieurs : BARALOTO Christopher (C) HERAULT Bruno (MC) JAOUEN Gaëlle (PostDoc) MARCON Eric C (E) SCOTTI Ivan C (I) SCOTTI-SAINTAGNE Caroline C (I) TRAISSAC Stéphane (E) Doctorants : LEFOL Jérôme D (JC Filleron) AUDIGEOS Delphine (B. Thibaut) Techniciens : CAZAL St Omer T (I) JOLIVOT Audrey (Ci) KOESE Martinus (Ci) PETRONELLI Pascal T (Ci) TROISPOUX Valérie T (I) Adjointes techniques :	Chercheurs et ingénieurs : BEAUCHENE Jacques C (Ci) HOUEL Emeline C (C) MEHINTO Théo C (U) NAIT-RABAH Ouahcène C (U) PIERREJEAN Isabelle C (U) STIEN Didier C (C) THIBAUT Anne C (Ci) THIBAUT Bernard C (C) Doctorants : ROYER Mariana D (C) RODRIGUEZ (Maria de Souza) Alice (D.Stien) ODDONNE Guillaume (D.Stien) Technicien : BENAVIDES Pascal T (U)
Informatique : RODRIGUES Steve	BAISIE Michel (Ci) DUFORT Saintano T (I) ETIENNE Abner (Ci) KAGO Ficadici (Ci) KWASIE Frits (Ci) NAISSO Petrus (Ci) NGWETE Onofre (Ci) SANTE Richard (Ci)		

Catégories fonctionnelles : C (cadres chercheurs, ingénieurs, enseignant chercheurs ou administratifs), T (techniciens, adjoints et agents techniques), D (doctorants)

Organismes de rattachement : (I) = INRA, (E) = ENGREF, (C) = CNRS, (Ci) = CIRAD, (U) = UAG

Figure 1 : Organigramme de l'UMR EcoFoG (document remis)

La conjonction de ses travaux doit permettre une approche globale des questions liées à la définition des conditions du maintien du patrimoine forestier en assurant sa valorisation (gestion durable). Cela demande d'élaborer des règles d'aménagement des forêts à l'échelle du massif, et des territoires à l'échelle régionale. Cela demande aussi de créer les conditions du développement technologique de nouveaux produits à haute valeur ajoutée dans de nouveaux contextes économiques et environnementaux. Ces travaux permettront également la compréhension du rôle de la forêt tropicale humide dans le cycle de carbone biosphérique et plus généralement des interactions entre forêt tropicale et climats, incluant différents scénarii d'exploitation de la ressource. Ces questions sont issues de grands enjeux mondiaux mis en exergue depuis les conférences de Rio, puis Kyoto et enfin Johannesburg.

Les recherches menées par l'UMR sont structurées dans 3 équipes :

1. La diversité des arbres forestiers tropicaux et le fonctionnement des écosystèmes
2. L'organisation et la dynamique de la diversité des arbres
3. Les matériaux et molécules en milieu amazonien (L3MA)
- 4.

L'organigramme de l'UMR est représenté sur la figure 1.

L'intégration en 2006 de cette 3^{ème} équipe a ainsi élargi le champ d'activités de l'UMR et les thèmes d'intérêt transversaux avec les autres équipes de l'UMR, comme par exemple l'étude de la diversité des traits fonctionnels biophysiques des bois et la biodégradation des bois en relation avec l'activité des décomposeurs.

C'est dans le cadre du projet GUYAFOR, projet transversal de recherche entre les 3 équipes de l'UMR et d'autres équipes françaises (telles que l'UMR « Architecture et Modélisation des Plantes » ou encore l'UMR « Laboratoire d'Études des Ressources Forêt-Bois »...), que j'ai réalisé ce stage. Le projet GUYAFOR a pour thématiques de recherche la mise en place d'un réseau de dispositifs permanents pour un suivi à long terme des écosystèmes forestiers guyanais ainsi que l'estimation du stockage de carbone des forêts guyanaises

L'UMR travaille en collaboration étroite et structurée avec tous les autres organismes de recherche ou de développement présents en Guyane et concernés par la forêt et l'environnement grâce au Groupement d'Intérêt Scientifique SILVOLAB créé en 1992 qui regroupe 9 instituts (CNRS, CIRAD, AgroParisTech – ENGREF, INRA, Institut de Recherche pour le Développement, Parc National de Guyane, Muséum National d'Histoire Naturelle, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Office National des Forêts, UAG). Ce groupement impliqué dans la recherche forestière en Guyane agit pour bien insérer les recherches qu'il mène dans les enjeux de développement local et dans les dispositifs de recherche internationaux en collaboration avec les autorités politiques et administrations locales.

Les agents de l'UMR sont régulièrement sollicités par les acteurs du GIS SILVOLAB pour intervenir sur des problématiques appliquées (revégétalisation des sites dégradés, monitoring de la déforestation, mise au point de règles sylvicoles de gestion durable des forêts exploitées) et pour contribuer à l'éducation à l'environnement des jeunes guyanais. L'UMR est également fortement impliquée dans les formations de Licence et de Master dispensées à l'Université Antilles-Guyane.

49 agents sont affectés à l'UMR dont 29 chercheurs, ingénieurs et techniciens et 10 administratifs. L'UMR s'appuie sur des infrastructures conséquentes comme (i) le campus agronomique à Kourou, (ii) le laboratoire des sciences du bois du CIRAD Forêt (anciennement Centre Technique du Bois Guyanais) à Kourou, (iii) le dispositif forestier de Paracou dans lequel la dynamique forestière est observée sur 100 ha depuis 25 ans, (iv) le site Guyaflux de mesure des flux de CO₂ et d'eau entre couvert forestier et atmosphère situé à Paracou ou encore (v) le Pôle Universitaire Guyanais à Cayenne.

II. Contexte scientifique de l'étude

Le cycle du carbone en FTH est à l'origine de nombreux travaux actuels étant donné le rôle majeur des FTH dans les cycles biogéochimiques globaux. Ces forêts stockent des quantités importantes de carbone à la fois dans la végétation et dans le sol (Dixon et al., 1994) et sont à l'origine de flux annuels importants via la photosynthèse et la respiration (Clark, 2007).

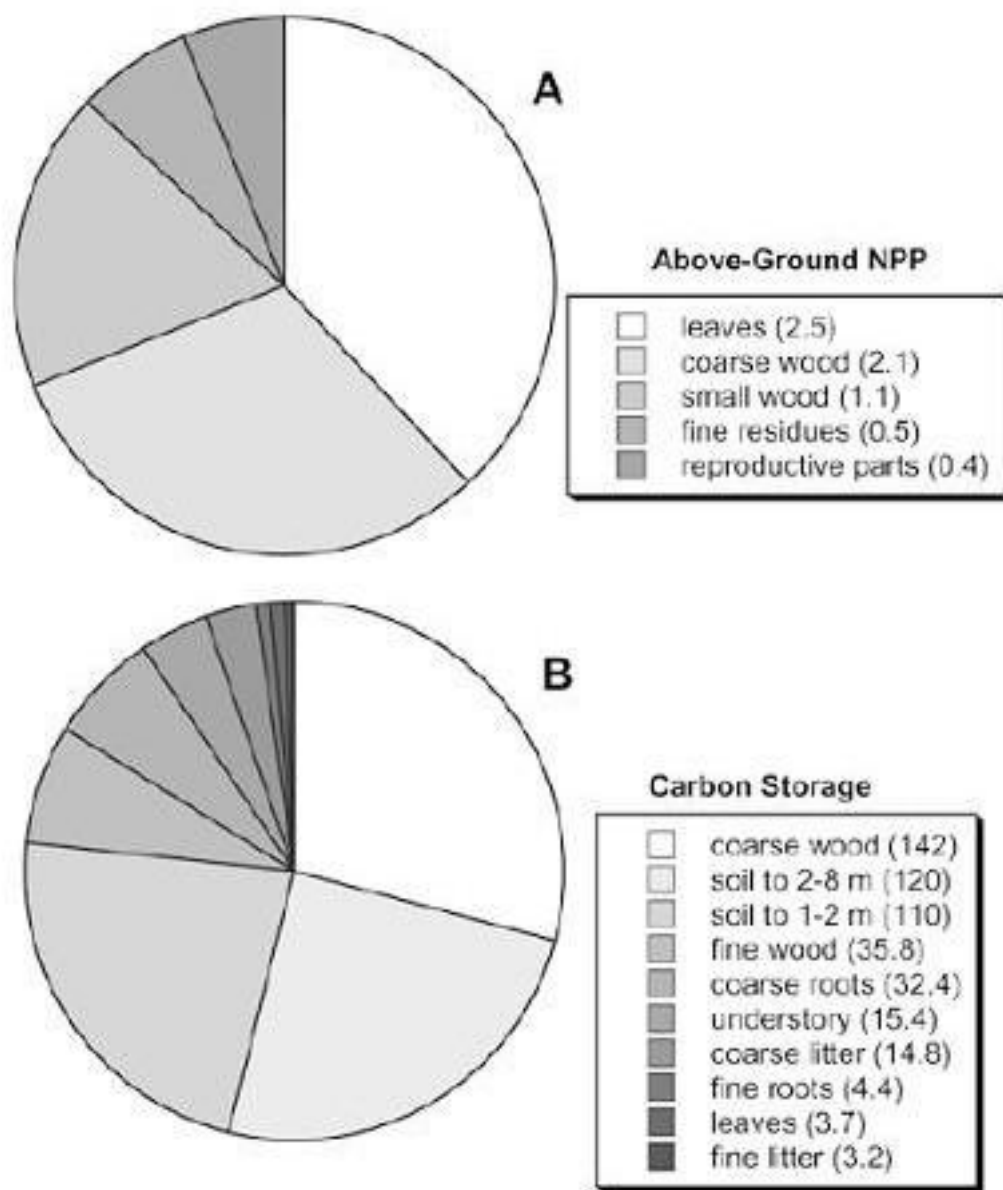


Figure 2 : Les différents compartiments de stockage du carbone en FTH
(Chambers et al., 2004)

Pour prédire comment les changements globaux affecteront les cycles du carbone en FTH et pour déterminer si ces écosystèmes sont des puits ou des sources de carbone, la compréhension de la dynamique de chacun des compartiments du système est importante.

Actuellement, un certain nombre de conséquences des changements globaux sur le fonctionnement des FTH peuvent être dégagées de la littérature (i) augmentation du turnover des arbres (Phillips et al., 2004) et donc accélération du cycle du carbone, (ii) augmentation de la biomasse aérienne (Baker et al., 2004) et donc augmentation de la quantité de carbone stockée dans ce compartiment, (iii) augmentation de l'abondance des lianes qui engendrent des réallocations verticales dans les distributions de biomasse (Wright et al., 2004) et changements de composition floristique favorisant les espèces pionnières, espèces à faible densité spécifique et donc à plus faible teneur en carbone pour un même volume de matière (Laurance et al., 2004) . Même si ces résultats sont critiquables sur certains aspects, il n'en reste pas moins que certains compartiments (stocks) et certaines dynamiques (flux) du l'écosystème FTH ont été clairement sous-étudiés.

Par exemple, la décomposition du gros bois des arbres, qui constitue plus de 50% de carbone stocké hors-sol en FTH, comme le montre la figure 2, a été très peu étudiée à l'échelle du bassin amazonien. Les seuls travaux significatifs sont actuellement ceux de Chambers (Chambers et al., 2000 et 2004). Comme les arbres morts se décomposent relativement lentement et que les taux de mortalité sont relativement faibles, les études des vitesses de décomposition du bois *in situ* sont rares et peu évidentes à mener.

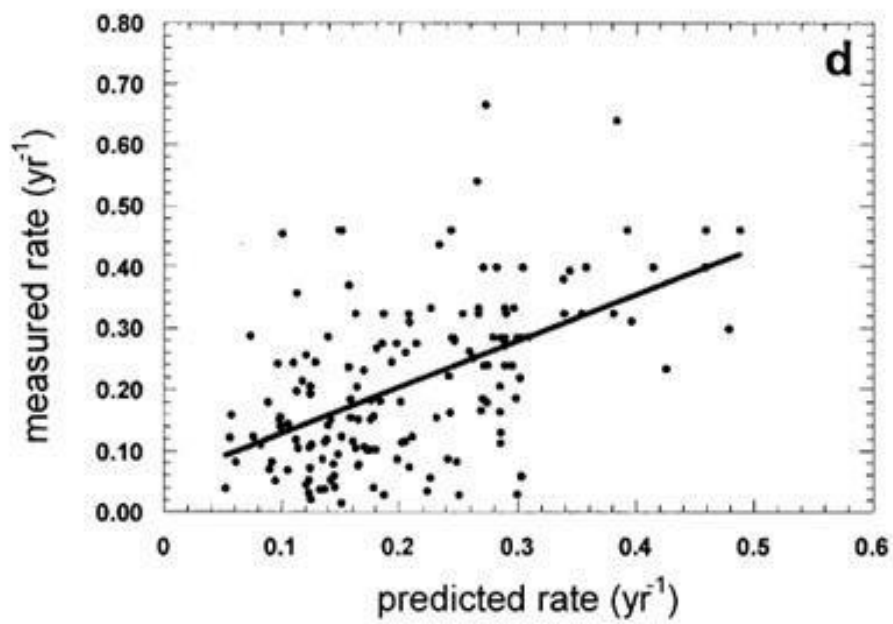


Figure 3 : Différence entre taux de décomposition mesuré et prédit
(Chambers et al., 2004)

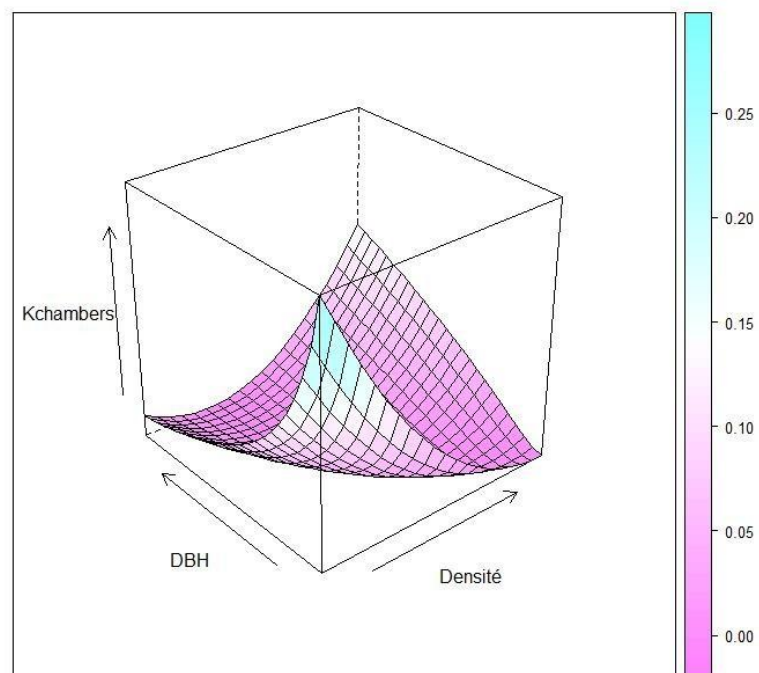


Figure 4 : Evolution de la constante K de décomposition en fonction de la densité du bois et du DBH (Chambers et al., 2004)

Du travail de Chambers, des équations de décomposition ont été utilisées dans de nombreuses publications (e.g. Hirsch et al., 2004; Keller et al., 2004; Palace et al., 2007). Ces modèles de décomposition nous montrent que deux paramètres semblent avoir une importance sur les vitesses de décomposition : le DBH (Diameter at Breast Height) initial (avant la mort de l'individu) et la densité du bois. Néanmoins, on peut noter que l'ajustement de ces 2 variables avec le modèle est relativement faible (respectivement $r^2 = 0.10$ et 0.14). De plus, la constante K de décomposition n'explique qu'une faible partie de la variabilité observée, comme le montre la figure 3. En outre, la nature polynomiale des fonctions obtenues engendre des incohérences biologiques. In fine, les résultats de Chambers aboutissent à une constante K de décomposition de type polynomial, prenant en compte DBH et densité du bois, qui n'est pas encore pertinent pour des gros DBH et/ou des grandes valeurs de densité du bois, au vu de la figure 4.

En plus de ces incohérences mathématiques, les résultats de Chambers sont à prendre avec circonspection car (i) l'échantillonnage est très faible pour les gros DBH et les densités importantes, (ii) la densité du bois a été, pour la plupart des espèces (123 individus sur 155), estimée au niveau du genre et non au niveau de l'espèce, (iii) le type de mort (chablis, arbre mort sur pied...) est sous-échantillonné et (iv) le microclimat (humidité locale du sol, éclaircissement...) n'est pas pris en compte. Finalement, il faut souligner que le modèle de Chambers n'est paramétré que pour le site du Biological Dynamic Fragment Project (Laurance et al., 2002), site très perturbé par l'exploitation forestière, sur lequel le protocole expérimental a été entièrement mené.

Il est également très probable que les vitesses annuelles de décompositions soient liés à d'autres paramètres tels que la température moyenne (Mackensen, Bauhus & Webber, 2003), la pluviométrie (Yatskov, Harmon & Krankina, 2003) ou encore la durée de la saison sèche. Ces facteurs complémentaires ne seront pas abordés dans le cadre de ce stage.

III. Ma mission durant le stage

L'objectif premier de mon stage est d'obtenir un modèle de décomposition des bois de FTH de Guyane qui prenne en compte des caractéristiques individuelles (e.g. DBH, type de mort, hauteur, proportion d'aubier), des caractéristiques spécifiques (e.g. densité du bois, présence de composés chimiques de défense) et des caractéristiques environnementales (e.g. humidité du sol, degré de luminosité). La finalité de cette étude est de déterminer comment les caractéristiques biotiques de l'arbre mort (caractéristiques individuelles et spécifiques) influencent la vitesse de décomposition de son bois. D'autre part, ce travail permettra de tester la pertinence des indices de durabilité des bois (duramen) en tant que proxys de la vitesse de décomposition globale *in situ*. On pourra ainsi clairement affiner les modèles carbone déjà existants à une échelle locale.

Ce travail est un premier pas qui permettra d'envisager les questions de l'importance relative des facteurs climatiques et environnementaux sur la vitesse de décomposition, notamment à travers les communautés fongiques. Répondre à cette deuxième question permettra d'estimer et de plus modéliser plus proprement les conséquences des changements climatiques à venir.

Dans le cadre plus général du projet GUYAFOR dans lequel est investie l'UMR, ce projet participe à l'estimation des flux et des stocks de carbone dans les forêts tropicales.

Le modèle de décomposition du gros bois mort sera obtenu à partir d'une population d'arbres dont la mort est approximativement connue (à l'année près). Cette méthodologie a l'avantage de permettre d'obtenir des résultats rapidement accessibles, d'engager des moyens humains peu importants et de comparer ses résultats avec les indices de durabilités issus de la bibliographie. Néanmoins, la date de mort des individus échantillonnés n'est pas parfaitement connue, le nombre de sites éligibles en Guyane est très restreint et le choix des arbres est sous contrainte. Enfin, il sera difficile d'estimer les vitesses pour les arbres creux et le rapport aubier / duramen. Dans un premier temps, cette méthodologie est toute indiquée car les résultats seront rapides et elle permettra également de caler la méthodologie.

Cette première stratégie aura été préférée à une deuxième méthodologie qui consiste à suivre la mortalité d'une population vivante à laquelle on s'intéresse. La perte de biomasse est ensuite suivie annuellement pour la population d'arbres morts sur le site d'étude. Cette dernière stratégie est intéressante car elle permet d'estimer la variation interannuelle, de faire un suivi dans le temps et de travailler sur les communautés fongiques, même si plusieurs années sont nécessaires pour l'obtention des premiers résultats et que les moyens humains engagés sont importants et chroniques. Cette méthodologie sera probablement mise en œuvre dans la suite du projet GUYAFOR.



Figure 5 : Localisation géographique du site de Paracou (document CIRAD)



Photographie 2 : Carbet de travail à Paracou (photographie personnelle)

I. Matériel

On rappelle que l'objectif de cette étude est de tester l'influence du DBH, de la densité du bois, du type de mort et de l'environnement local (luminosité, humidité du sol, traitements forestiers...) pour obtenir un modèle de décomposition du gros bois mort qui intègre ces paramètres biotiques et abiotiques. Le site de Paracou est tout indiqué pour résoudre cette problématique.

A. Le dispositif expérimental de Paracou

Le dispositif expérimental de Paracou a été installé en 1982, dans le cadre de l'opération "Recherches sylvicoles sur les peuplements forestiers naturels guyanais", initiée par le CIRAD Forêt, ex-CTFT. Implanté en FTH, ce dispositif est localisé à 50 km au nord-ouest de Kourou et à 12 km au sud de Sinnamary, soit 15 km à l'ouest de l'océan Atlantique et 4 km à l'est du fleuve Sinnamary (cf. figure 5). Il a été initialement défini suite à un pré-inventaire forestier.

Douze parcelles carrées, P1 à P12, chacune de 9 ha (300 x 300 m) ont été délimitées en 1984. En 1990, le dispositif s'est doté de 3 nouvelles parcelles témoin de même superficie, P13 à P15. Enfin en 1991, une parcelle carrée de 25 ha (P16) a été mise en place pour observer le fonctionnement de l'écosystème forestier non perturbé. Le dispositif de Paracou est représenté sur la figure 6.

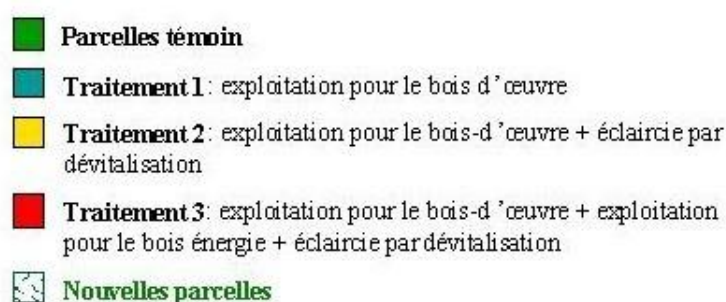
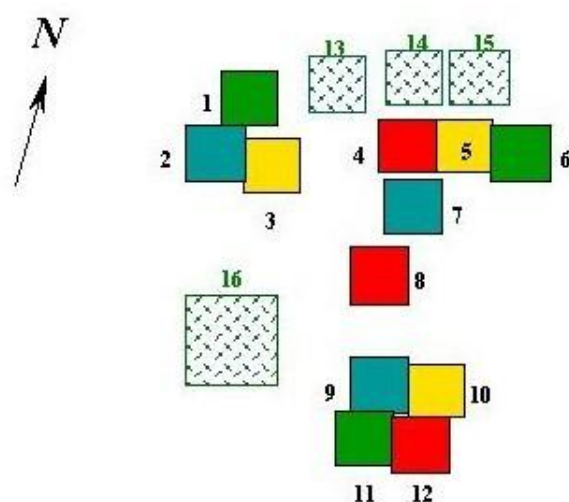


Figure 6 : Cartographie des parcelles du dispositif de Paracou

Pas de traitement	Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3
Parcelles P1, P6, P11, P13, P14 et P15	Parcelles P2, P7 et P9	Parcelles P3, P5 et P10	Parcelles P4, P8 et P12
Parcelles témoin : aucun traitement	Exploitation de bois d'œuvre selon la méthode traditionnelle. Environ 10 arbres par ha	Exploitation de bois d'œuvre comme le traitement 1 puis éclaircies par dévitalisation d'environ 30 arbres par ha.	Exploitation de bois d'œuvre comme le traitement 1 puis éclaircies d'environ 15 arbres par ha pour le bois énergie et éclaircies par dévitalisation d'environ 20 arbres par ha.

Figure 7 : Présentation des 4 traitements forestiers conduits à Paracou

L'objectif initial de Paracou était de comprendre les conséquences des traitements sylvicoles dans le but de proposer des modèles d'aménagements et des estimations des temps de repasse aux exploitants forestiers présents en Guyane. Aussi, parmi les 12 parcelles initiales, trois d'entre elles servent de parcelles témoin, tandis que trois traitements sylvicoles d'intensité croissante ont été appliqués entre 1986 et 1988 aux neuf autres, comme l'explique la figure 7.

Depuis 1984, tous les arbres de DBH supérieur à 10 cm sont inventoriés annuellement (de septembre à décembre) sur la partie centrale de chaque parcelle, soit 6,25 ha divisés en 4 carrés de 1,36 ha chacun (soit 250m X 250 m, soit environ 500 arbres par ha), afin d'éliminer les artefacts liés aux effets de bordure.

Chaque individu se voit attribuer un numéro d'identification unique et un numéro de localisation dans le carré (la numérotation recommence à zéro dans chaque carré). Les données recueillies pour chaque arbre par les techniciens CIRAD concernent :

- L'année de recrutement (année à partir de laquelle leur DBH est supérieur à 10 cm)
- L'identification botanique au moment du recrutement appréhendée à travers une codification basée sur les nomenclatures vernaculaires saramaka et créole (langues locales).
- La spatialisation sur la parcelle au moment du recrutement.
- La mesure annuelle du DBH à environ 1,3 m du sol (tous les ans jusqu'en 2001 et tous les 2 ans depuis)

- L'année de mort et le type de mort (mort sur pied, chablis primaire, chablis secondaire).

Chaque campagne de mesures est archivée dans une base de données regroupant l'information des 65 000 arbres du dispositif. Couplée à un système d'informations géographiques, cette source de données permet d'effectuer des analyses spatialisées sur l'ensemble du dispositif.

L'ensemble de ces données recueillies à Paracou nous servira par la suite à concevoir le modèle de décomposition. Les autres variables quantitatives influençant la décomposition du bois telles que la densité et la masse initiale seront respectivement tirées de la littérature et obtenues à partir des mesures réalisées sur le terrain et au laboratoire. Les données de terrain seront obtenues à partir d'une population d'arbres choisie par échantillonnage stratifié (pour maximiser les variations des facteurs étudiés) et sélectionnée sur les 28 000 arbres morts du dispositif de Paracou.

B. Echantillonnage des individus

On se propose d'échantillonner à l'aide d'un programme tournant sous le logiciel R environ **540 individus d'une vingtaine d'espèces différentes** (8 individus par espèce au minimum et une vingtaine au maximum). Parmi l'ensemble des individus suivis à Paracou, on aura sélectionné les individus selon les critères suivants :

- Individus localisés dans les parcelles P1 à P15 inclus, à l'exception des parcelles P2, P7 et P9.
- Individus d'espèces connues (recoupement du nom vernaculaire créole ou saramaka avec le nom scientifique), identifiés avant 2007 et de densités de bois connues.
- Individus au DBH supérieur à 10 cm.
- Individus issus de chablis primaires ou secondaires ou morts sur pied (dans le cas où ils seraient tombés au sol depuis...).
- Individus morts sur l'ensemble de la période de suivi des parcelles de Paracou à l'exception des années 1997 et 1999, 2001 et 2003 (inventaire bisannuel peu précis).

Cet échantillonnage servira également au travail d'un thésard CNRS – CIRAD, Jean-Michel Martin, qui travaille sur l'écologie des termites xylophages. Il réalisera des prélèvements de termites sur les individus échantillonnés.

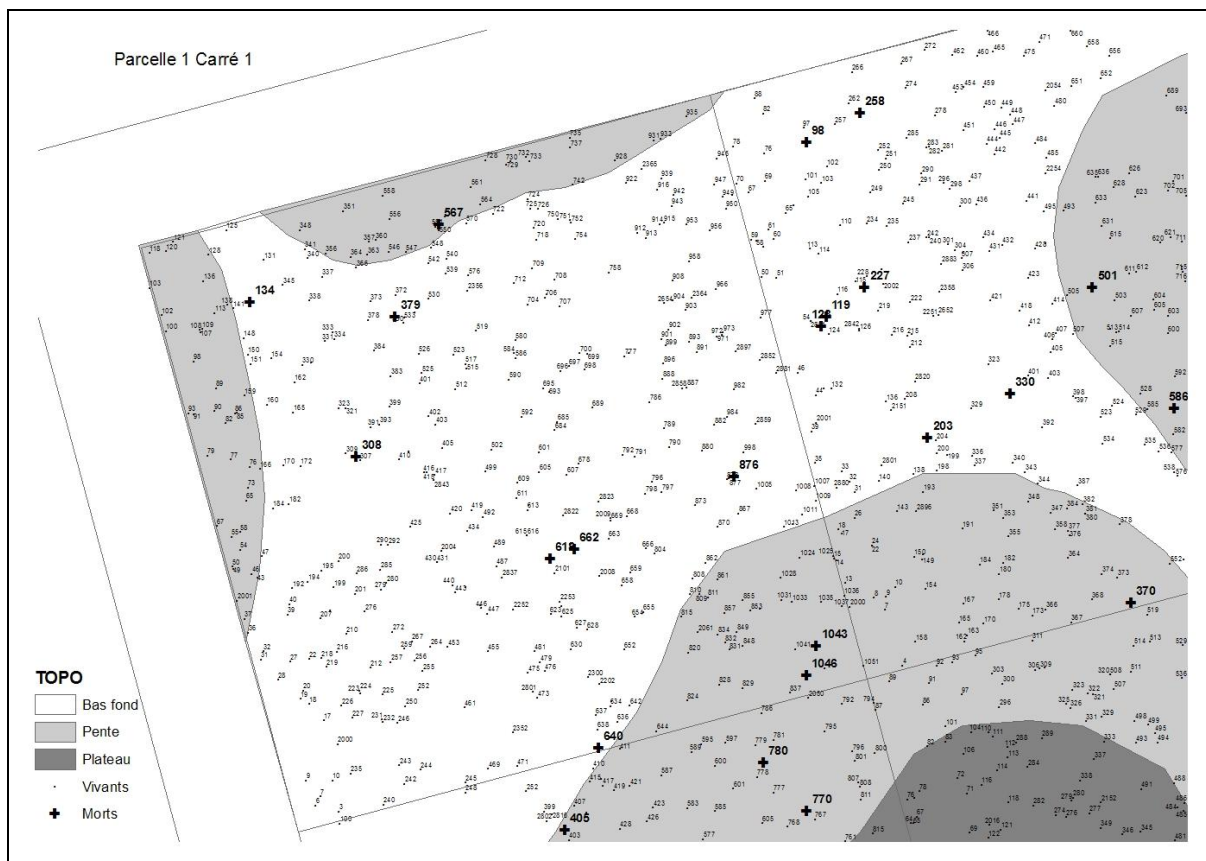


Figure 8 : Exemple de cartographie de localisation des individus échantillonnés dans un des carrés des parcelles étudiées à Paracou

Son travail vise notamment à déterminer les relations entre décomposition du bois et succession des termites dans le temps et l'espace en fonction de l'essence et des conditions environnementales : quelles espèces de termites dégradent le bois en forêt ? Comment attaquent-ils le bois ? A quelle vitesse ? Quelles successions de termites se suivent pour dégrader le bois ? Quelles sont les différences éventuelles entre conditions naturelles et conditions anthropisées ?

II. Méthodes

A. Travail de terrain

Avant de commencer le travail de terrain à proprement dit, 1 journée de repérage sera prévue par parcelle pour localiser précisément dans la parcelle les individus recevables, et éventuellement trouver une solution de rechange si les individus repérés sont irrecevables (morts sur pied encore complètement sur pied, individus mal identifiés ou douteux...). Ces individus irrecevables ne seront pas pris en compte dans l'échantillonnage.

À partir de l'échantillonnage réalisé sous R, il faudra parfois aviser sur le terrain et prendre en compte ou non certains individus « particuliers ».

Ainsi seront effectivement pris en compte les individus dont on ne trouve plus la trace (individus disparus), les individus morts sur pied tombés au sol, les arbres fragmentés ou cassés, les individus dont le numéro d'identification est illisible mais identifiables avec les techniciens du CIRAD... Par contre, les arbres morts sur pied encore sur pied, les individus à l'identification douteuse, les arbres pour lesquels le tronçonnage risquerait de faire tomber d'autres arbres... ne seront pas pris en compte.

Les mesures à prendre sur le terrain sont les suivantes :

- Mesure de la hauteur de l'arbre à l'aide d'un télémètre laser.
- Mesure du diamètre à l'aide d'un compas forestier à 3 endroits : à hauteur du DBH (P1), au milieu du tronc (P2) et à hauteur des premières grosses branches (P3).

On prendra également en compte les variables environnementales et qualitatives du milieu dans lequel est mort l'arbre :

- Localisation géographique (bas-fond, pente, plateau)
- Echantillon au sol (oui/non)
- Indice de lumière (indice de Dawkins) : cf. annexe 1
- Présence de champignons (note entre 0 et 2)
- Présence de termites (note entre 0 et 2)

IDENTIFICATION INDIVIDU															
Opérateur						N° Individu									
Date						N° Arbre proche									
Parcelle - Carré						Espèce									
N°Photo – P1						P2					P3				
DESCRIPTION INDIVIDU															
Douteux	O	N	Disparu			O	N	Sur Pied			O	N			
Hauteur totale						DBH min P1									
Hauteur P1						DBH max P1									
Hauteur P2						DBH min P3									
Hauteur P3						DBH max P3									
DESCRIPTION ENVIRONNEMENT PRELEVEMENTS															
	P1					P2					P3				
Localisation	BF	Pe	PI			BF	Pe	PI			BF	Pe	PI		
Sol	O	N				O	N				O	N			
Lumière	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	
Champignons	0		1	2		0		1	2		0		1	2	
Termites	0		1	2		0		1	2		0		1	2	
Fragmenté	O	N				O	N				O	N			
Aubier	O	N				O	N				O	N			
Ecorce	O	N				O	N				O	N			
DBH min	=DBH min P1										= DBH min P3				
DBH max	= DBH max P1										= DBH max P3				
COMMENTAIRES															
Do not forget : Cadre blanc photo, enlever rubalise															

Figure 9 : Exemple type de fiche de terrain

On prélèvera ensuite des échantillons de bois aux endroits où aura été mesurée le diamètre de l'individu. Les échantillons seront prélevés à la tronçonneuse sous la forme d'une rondelle d'environ 5 cm d'épaisseur. On notera pour chaque prélèvement de bois s'il est fragmenté et s'il présente encore de l'écorce et /ou de l'aubier.

L'ensemble de ces observations et de ces mesures de terrain sera consigné dans une fiche de terrain dont un exemplaire type est représenté en figure 9.

Chaque prélèvement réalisé sous forme de rondelle sera pris en photographie et ensuite analysé au laboratoire à l'aide d'un logiciel de traitement d'image (ImageJ). Pour les individus de gros DBH, on pourra prélever des quartiers pour éviter d'avoir à transporter toute la rondelle après avoir pris sa photographie.

B. Travail au laboratoire

Notre travail au laboratoire des sciences du bois du CIRAD Forêt à Kourou consistera à mesurer la géométrie et la masse des échantillons de bois prélevés à Paracou pour évaluer leur perte de masse.

Ainsi, pour chaque échantillon, on mesure sa masse saturée m_s et sa masse anhydre m_0 (après passage à l'étuve sèche à 103°C pendant 72h).

A l'aide du logiciel ImageJ et des photographies prises sur le terrain, la surface actuelle de chaque prélèvement est déterminée ainsi qu'une mesure complémentaire du diamètre du prélèvement.

La mesure de l'épaisseur de chaque rondelle se fait à plusieurs endroits à l'aide d'un pied à coulisse.

Pour estimer la surface initiale de chaque prélèvement P1, on fait l'hypothèse que le rapport entre le DBH minimum et le DBH maximum actuels (mesurés lors de la phase de terrain) est égal au rapport entre le DBH minimum et le DBH maximum initial. Si ce rapport est noté « x », le diamètre minimum « a » et le diamètre maximum « b », on a alors :

$$x = \frac{a}{b} \text{ d'où } a = b.x$$

$$\text{Circonférence } C \text{ (à 1,3 m du sol)} = \pi.(a + b) = \pi.b.(x+1) \text{ d'où } b = \frac{C}{\pi.(x+1)}$$

$$\text{Surface initiale P1} = \pi.a.b = \pi.b^2.x = \frac{C^2.x}{\pi.(1+x)^2}$$

La circonférence C de chaque individu est une donnée existante dans la base de données du site de Paracou. Quant au rapport x, il sera calculé pour chaque individu à partir des mesures de DBH réalisées lors de la phase de terrain.

Les surfaces initiales des prélèvements P2 et P3 seront obtenues à partir de la surface initiale P1 précédemment calculée par règle de trois. En effet, l'hypothèse sera fait que :

$$\frac{\text{Surface initiale P1}}{\text{Surface finale P1}} = \frac{\text{Surface initiale P2}}{\text{Surface finale P2}} = \frac{\text{Surface initiale P3}}{\text{Surface finale P3}}$$

Des cas particuliers de calculs de surfaces initiales sont présentés en annexe 2.

On obtient ensuite la masse initiale de ces prélèvements à l'aide des épaisseurs mesurées au laboratoire et des densités de bois de la bibliographie avec la formule suivante :

$$\text{Masse initiale} = \frac{\text{Surface initiale} \cdot \text{Moyenne épaisseur}}{\text{Densité}}$$

avec Masse initiale en kg, Surface initiale en m², Moyenne épaisseur en m et Densité en kg.m⁻³.

Pour chaque individu, on calcule alors un pourcentage de masse restante moyen où :

$$\% \text{ de masse restante moyenne} = \frac{100}{3} \cdot \left[\frac{\text{Masse restante P1}}{\text{Masse initiale P1}} + \frac{\text{Masse restante P2}}{\text{Masse initiale P2}} + \frac{\text{Masse restante P3}}{\text{Masse initiale P3}} \right]$$

L'ensemble de ces données nous servira ensuite à obtenir le modèle de décomposition du gros bois mort.

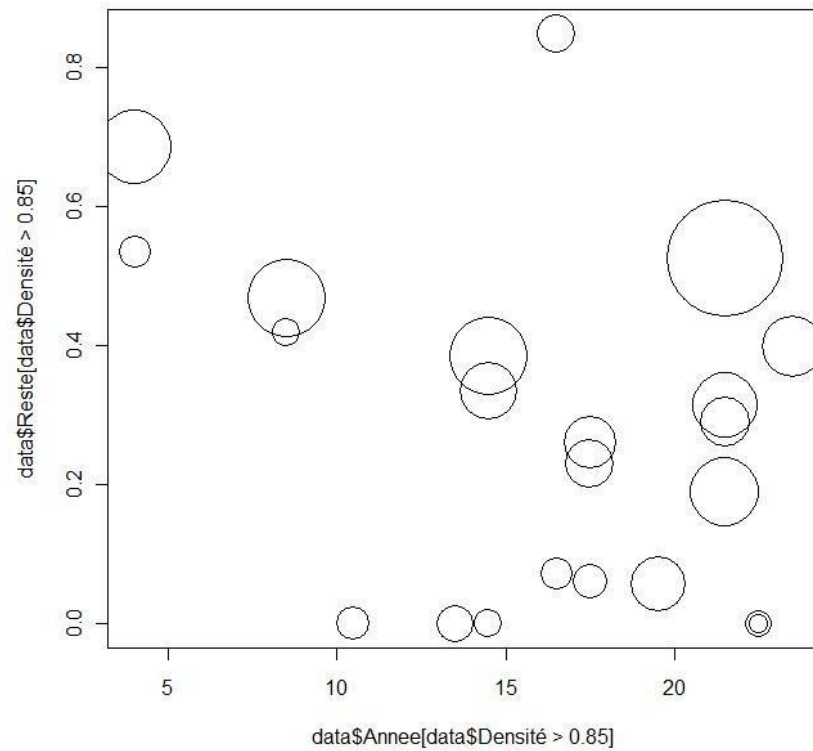


Figure 10 : Ratio de masse restante en fonction du temps, pour des individus de densité > 0.85
(chaque individu est représenté par un cercle proportionnel à sa circonférence)

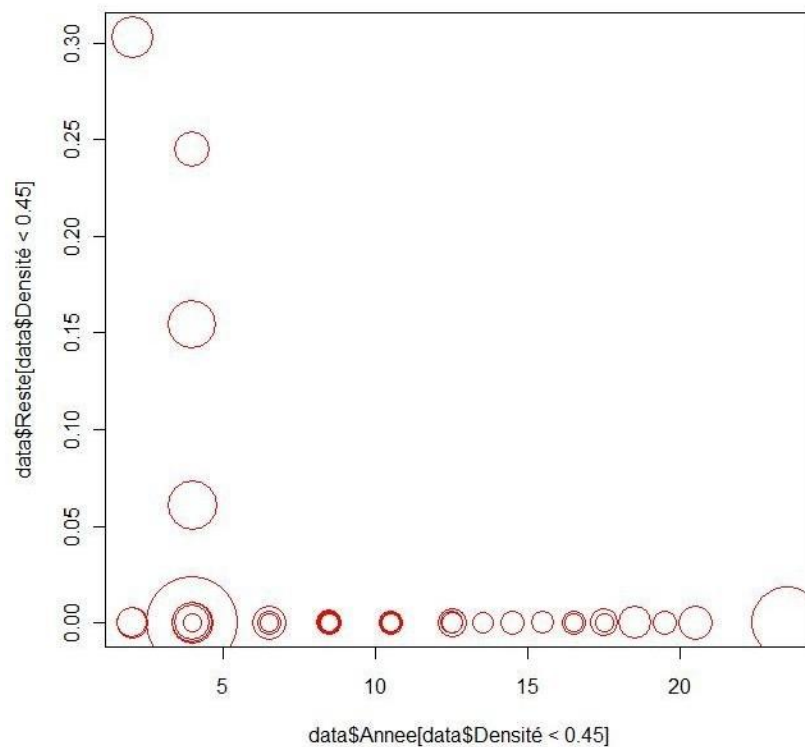


Figure 11 : Ratio de masse restante en fonction du temps, pour des individus de densité < 0.45

I. Modélisation mécaniste de la décomposition du bois mort

On se propose de modéliser le phénomène de décomposition du bois mort à l'aide d'un programme tournant sous le logiciel R.

A. Représentation du phénomène biologique

En observant pour chaque individu échantillonné n années après sa mort le ratio de masse restante en fonction de sa circonférence et de la densité de son bois, on constate que ces 2 variables jouent un rôle majeur dans la décomposition du bois. En effet, on observe sur la figure 10 que plus les individus ont de grosses circonférences et un bois de densité importante, plus le ratio de masse restante après n années est important. A contrario, la figure 11 montre que les individus de plus petite circonférence et densité moindre ont un ratio plus faible sinon nul n années après leur mort.

L'hypothèse est donc formulée que la circonférence et la densité du bois sont les variables spécifiques qui interviennent le plus dans la décomposition du bois. Par la suite, plusieurs modèles seront proposés, celui qui aura le coefficient de corrélation le plus important sera le plus pertinent. Le programme tournant sous le logiciel R cale nos données de terrain avec un modèle de forme mathématique prédéfinie et propose le modèle avec le coefficient de corrélation le plus élevé.

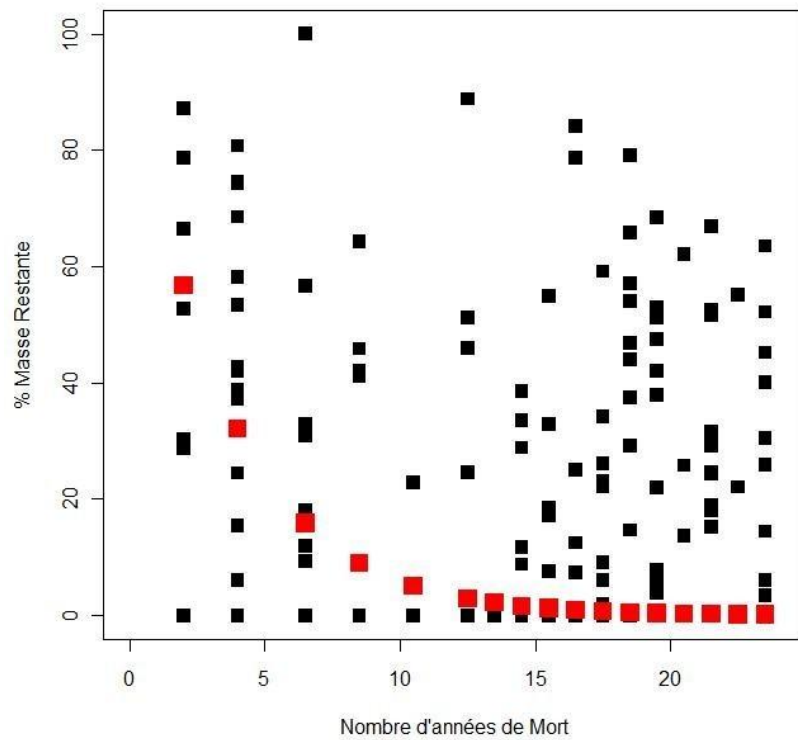


Figure 12 : Modèle de décomposition de la forme : % de masse restante = $e^{-\alpha \cdot t}$

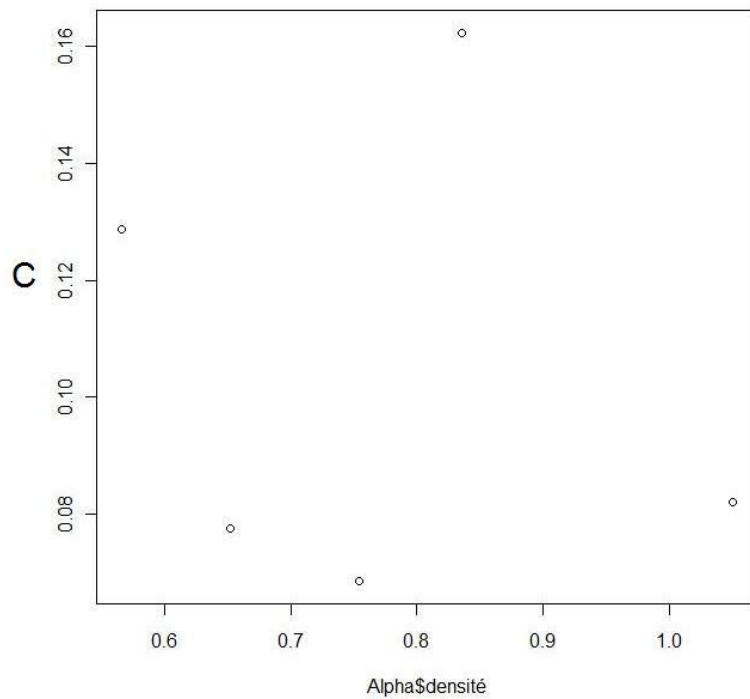


Figure 13 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la densité

B. Modèle exponentiel simple

Le premier modèle proposé est de la forme : **% de masse restante** = $e^{-\alpha.t}$ avec t en années.

On obtient $\alpha = 0.277$ et $R^2 = 0.102$. Le modèle obtenu est représenté sur la figure 12, en noir les données de terrain, en rouge le modèle exponentiel simple.

En discrétisant les individus en 6 classes de densité (> 1, 0.8-1, 0.7-0.8, 0.6-0.7, 0.5-0.6 et 0.4-0.5) et en calculant une nouvelle constante C de décomposition pour chaque classe de densité, on constate que plus la densité du bois augmente, plus la constante C diminue, comme le montre la figure 13. On se propose donc d'intégrer la fonction inverse densité dans le modèle de décomposition.

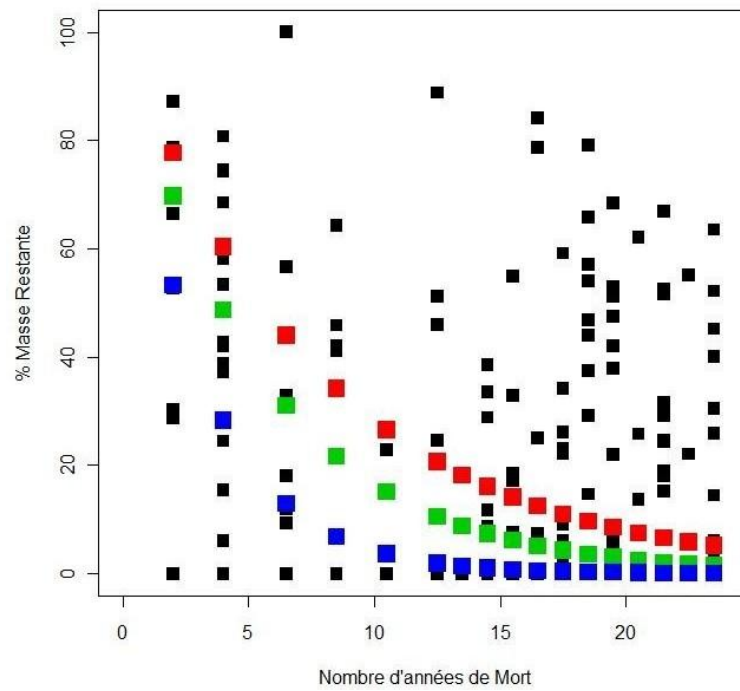


Figure 14 : Modèle de décomposition de la forme :

$$\% \text{ de masse restante} = e^{-\alpha.t/\text{densité}}$$

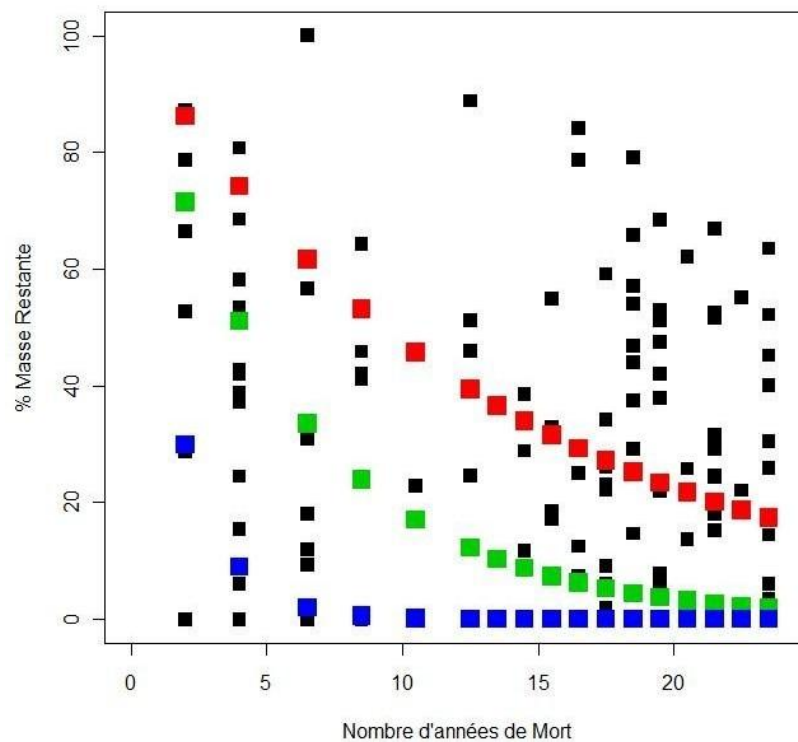


Figure 15 : Modèle de décomposition de la forme :

$$\% \text{ de masse restante} = e^{-\alpha.t/\text{densité}} e^{\beta}$$

C. Intégration de la fonction inverse densité dans le modèle

Le modèle obtenu est de la forme : **% de masse restante =**
 $e^{-\alpha.t/densité}$ avec t en années.

On obtient $\alpha = 0.125$ et $R^2 = 0.219$. Le modèle de décomposition obtenu est représenté sur la figure 14, en noir les données de terrain, en rouge le modèle avec une densité égale à 1, en vert le modèle avec une densité égale à 0.7 et en bleu le modèle avec une densité égale à 0.4. On constate effectivement que plus la densité du bois est importante, moins la décomposition du bois est rapide.

Le coefficient de corrélation du modèle précédent voit sa valeur augmenter lorsqu'une puissance α est ajoutée à la fonction inverse densité. Le modèle est alors de la forme : **% de masse restante =**
 $e^{-\alpha.t/densité^\beta}$ avec t en années, $\alpha = 0.073$ et $\beta = 2.392$. On obtient un coefficient de corrélation R^2 égal à 0.311. Le modèle obtenu est représenté sur la figure 15, en noir les données de terrain, en rouge le modèle avec une densité égale à 1, en vert le modèle avec une densité égale à 0.7 et en bleu le modèle avec une densité égale à 0.4

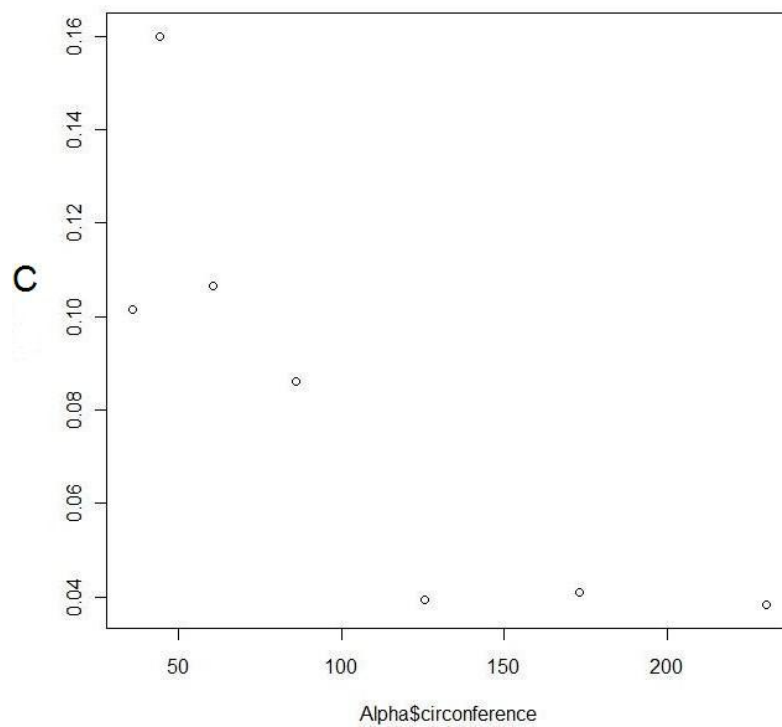


Figure 16 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la circonférence (en cm)

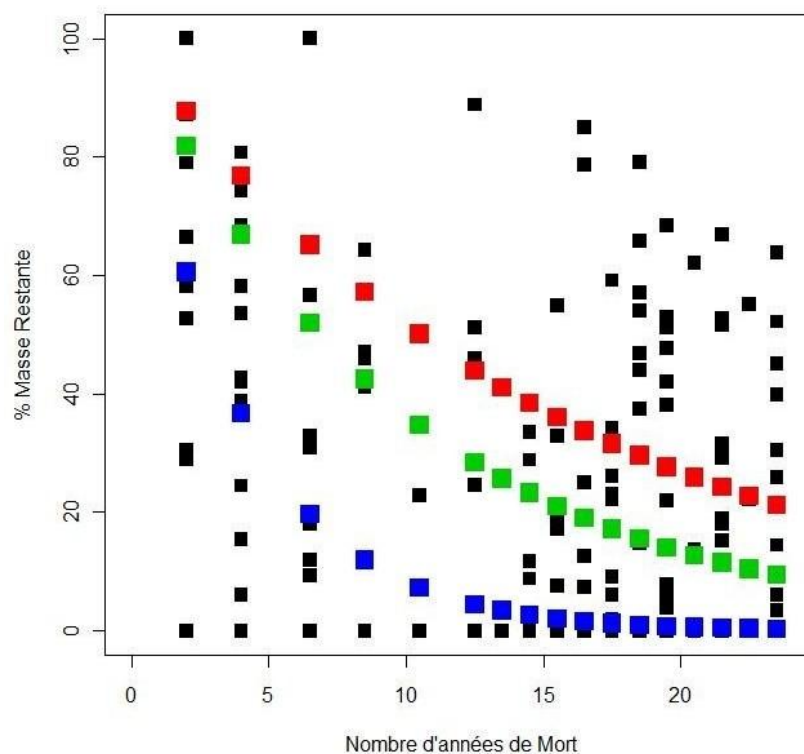


Figure 17 : Modèle de décomposition sous la forme :

$$\% \text{ de masse restante} = e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma}/densité^{\beta}}$$

En discrétisant les individus en 7 classes de circonférence (> 200 cm, 150-200 cm, 100-150 cm, 75-100 cm, 50-75 cm, 40-50 cm et < 40 cm) et en calculant une nouvelle constante C de décomposition pour chaque classe de circonférence, on constate effectivement sur la figure 16 que, pour une densité donnée, plus la circonférence augmente, plus la constante C diminue. On se propose donc d'intégrer la fonction inverse circonférence dans le modèle de décomposition.

D. Intégration de la fonction inverse circonférence dans le modèle

Le modèle obtenu est de la forme : **% de masse restante =** $e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma}/densité^{\beta}}$ avec t en années et circonférence en cm.

On obtient $\alpha = 2.796$, $\beta = 2.720$, $\gamma = 0.857$ avec $R^2 = 0.445$. Le modèle de décomposition obtenu est représenté sur la figure, en noir les données de terrain et, pour une densité donnée (égale à 0.7), en rouge le modèle avec une circonférence de 250 cm, en vert le modèle avec une circonférence de 150 cm et en bleu le modèle avec une circonférence de 50 cm.

On constate effectivement que plus la circonférence de l'individu est importante, moins la décomposition du bois mort est rapide.

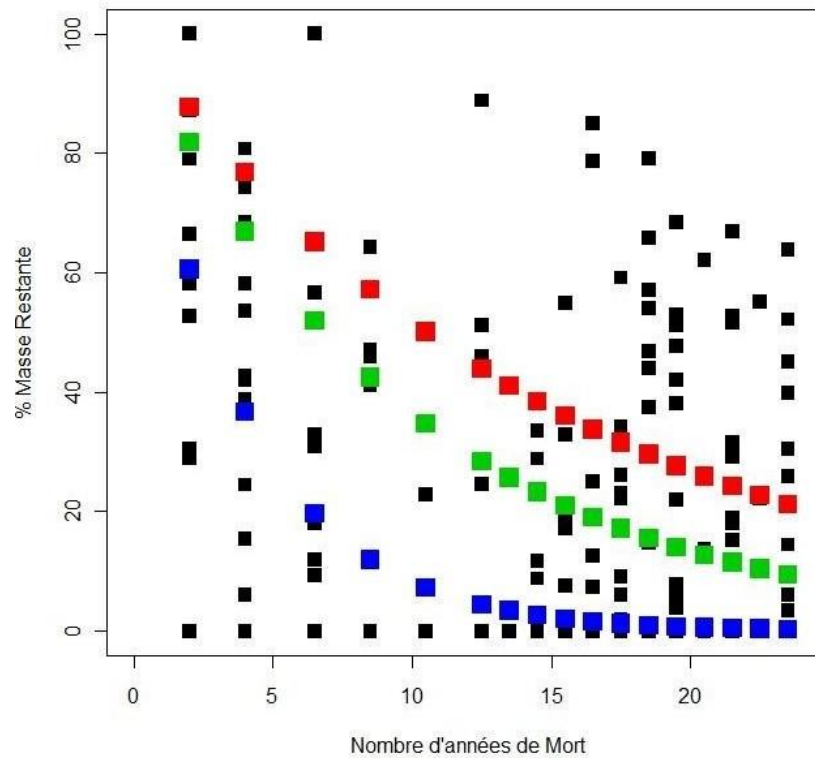


Figure 18 : Modèle de décomposition sous la forme :

$$\% \text{ de masse restante} = e^{-\alpha \cdot t \cdot \text{circonférence}} e^{-\gamma' / \text{densité}^\beta}$$

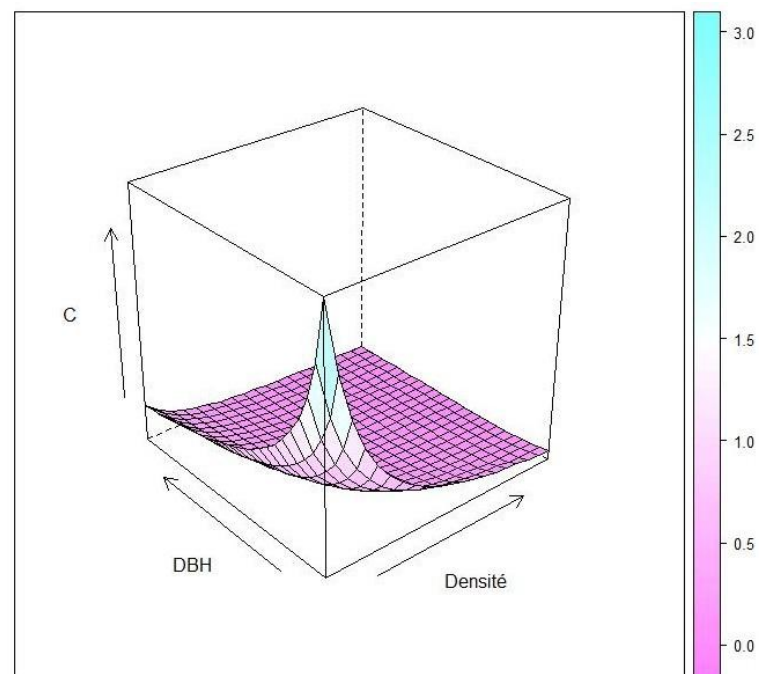


Figure 19 : Evolution de la constante C de décomposition en fonction de la densité du bois et du DBH

Le coefficient de corrélation du modèle précédent voit sa valeur légèrement augmenter lorsqu'une puissance est ajoutée à la fonction inverse circonférence. Le modèle est alors de la forme : **% de masse restante** = $e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma'}/densité^{\beta}}$ avec t en années, $\alpha = 2.570$, $\beta = 2.720$, $\gamma' = 0.890$ et $R^2 = 0.450$. Le modèle de décomposition obtenu est représenté sur la figure 18, en noir les données de terrain et, pour une densité donnée (égale à 0.7), en rouge le modèle avec une circonférence de 250 cm, en vert le modèle avec une circonférence de 150 cm et en bleu le modèle avec une circonférence de 50 cm.

II. Représentation de la constante C de décomposition et comparaison avec les résultats de Chambers

Lorsque l'on représente l'évolution de la constante C de décomposition en fonction du DBH et de la densité du bois comme sur la figure 19, on constate que la densité est la variable qui influence le plus la variation de la constante C. En effet, plus la densité du bois augmente, plus la constante C voit sa valeur diminuer. En quelque sorte, cela signifie que plus la densité du bois est importante, moins la décomposition du bois est rapide. Les individus de densité de bois élevée se décomposent moins rapidement que les individus de densité plus faible.

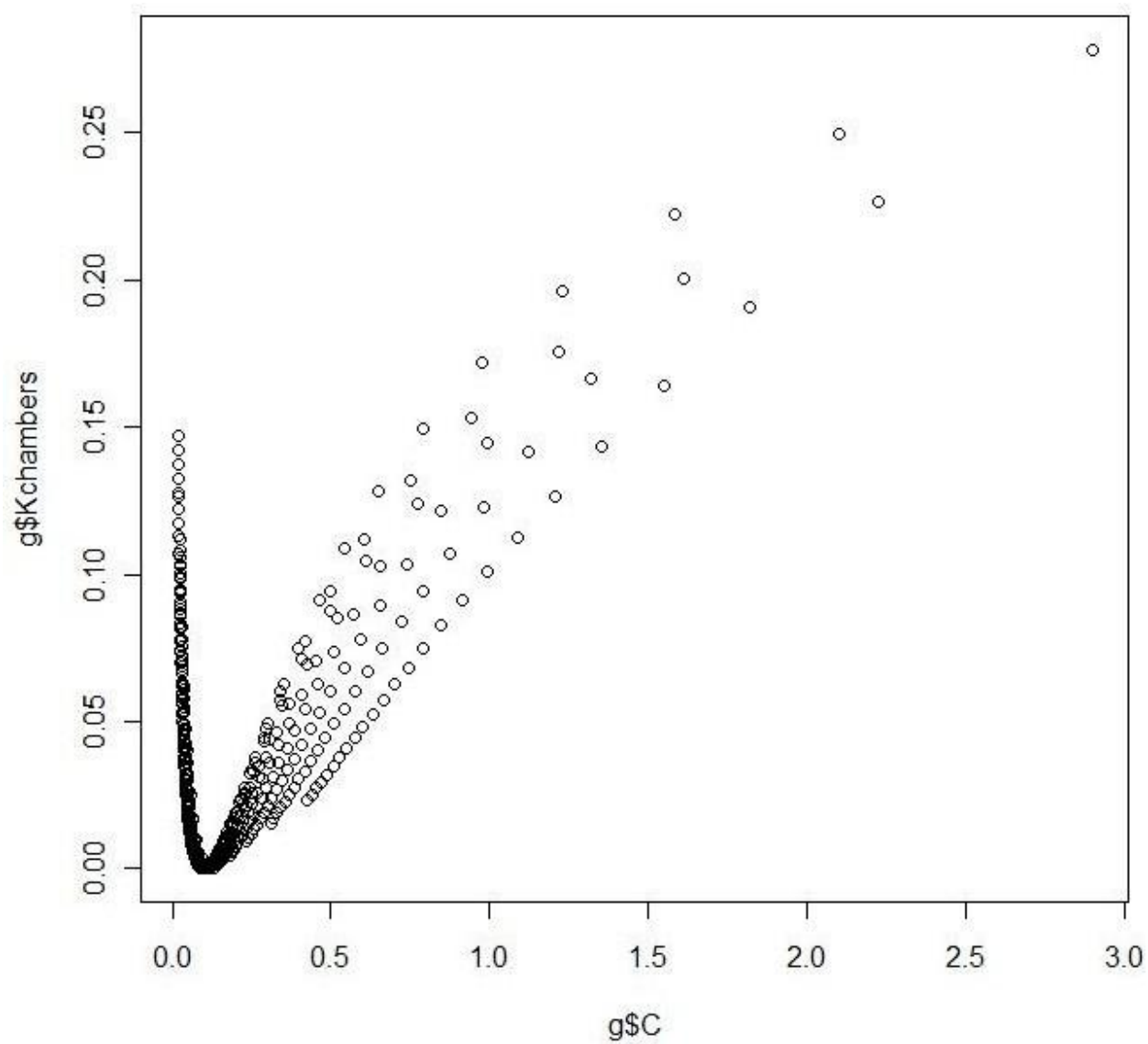


Figure 20 : Comparaison entre la constante C de décomposition et la constante K issue des travaux de Chambers (Chambers et al., 2000 et 2004)

De même, plus le DBH augmente, plus la constante tend à diminuer mais de façon moins importante en regard de l'augmentation de la densité. Cela montre que les individus de gros DBH se décomposent moins rapidement que les individus de plus petits DBH.

En observant l'évolution de la constante K de décomposition décrite dans les travaux de Chambers (Chambers et al., 2000 et 2004) (se reporter à la figure 4 en introduction), on constate que sa valeur varie de façon importante pour des gros DBH et/ou des grandes valeurs de densité du bois. En effet, le modèle décrit par Chambers n'est pas pertinent pour ces classes de valeurs de DBH et de densité. Comme le montre la figure 20, les valeurs des constantes C et K sont assez semblables au voisinage de 0, c'est-à-dire pour des classes de gros DBH et de hautes densités. Par contre, assez rapidement, ces 2 constantes prennent des valeurs très divergentes. Aussi, le coefficient de corrélation entre ces 2 constantes de décomposition est faible, il s'élève à 0.17.

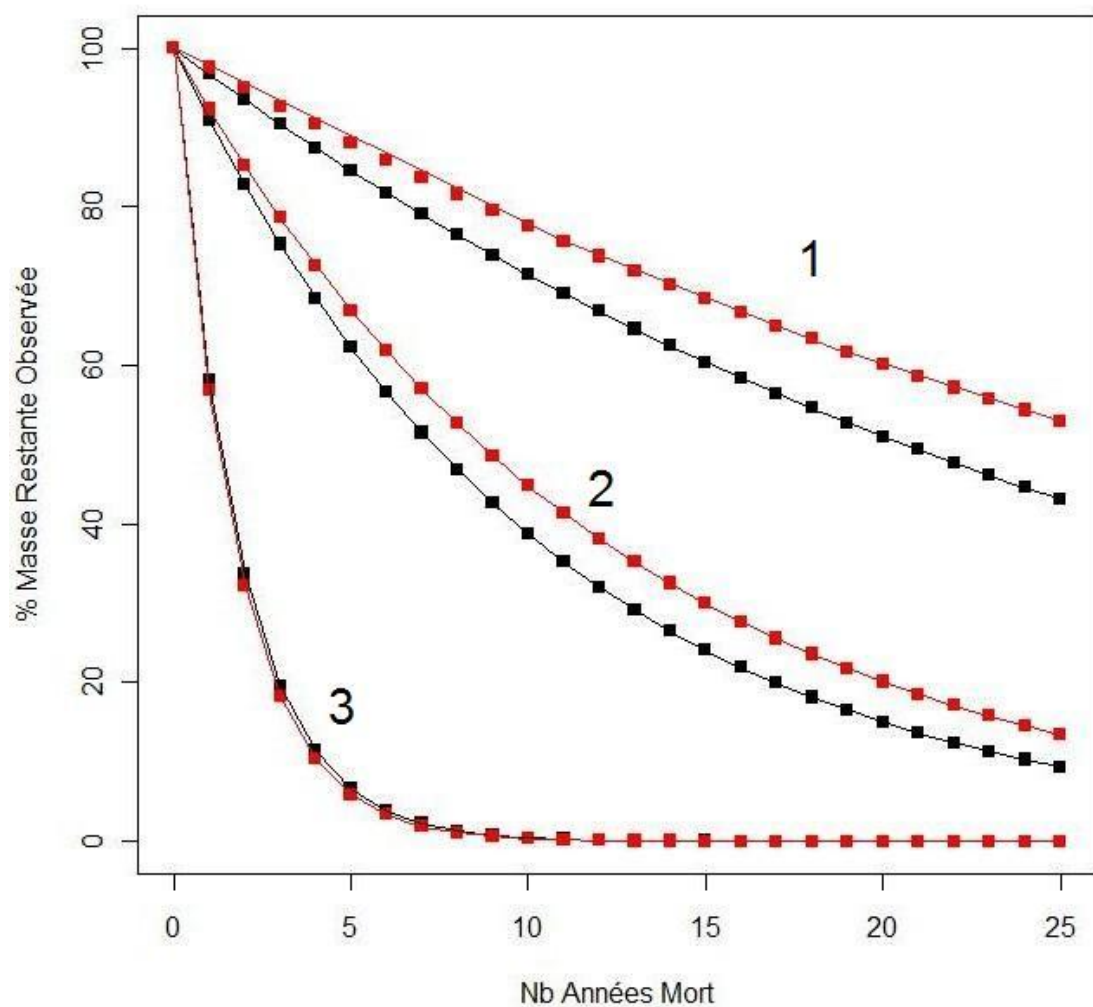


Figure 21 : Comparaison de la décomposition du bois mort :
 parcelles naturelles (courbes noires) vs exploitées (courbes rouges)
 (individu 1 de circonférence 250 cm et de densité 1 ; individu 2 de circonférence 150 cm et de densité 0.75 et individu 3 de circonférence 50 cm et de densité 0.5)

III. Comparaison de la décomposition du bois mort en parcelles naturelles vs exploitées

Lors de la rédaction du présent rapport début septembre, les données de terrain ont été collectées dans 3 parcelles naturelles (parcelles témoin) et 4 parcelles exploitées (traitement 2 + traitement 3). Aussi, lorsque l'on modélise la décomposition du bois mort sous la forme **% de masse restante** = $e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma}/densité^{\beta}}$ en distinguant les données des parcelles témoin et des parcelles exploitées, on constate que le bois mort se décompose moins rapidement en parcelles exploitées, notamment pour des grandes valeurs de circonférence et de densité. La figure 21 compare la décomposition du bois mort de 3 individus « moyens » en noir dans les parcelles naturelles et en rouge dans les parcelles exploitées. Pour les parcelles naturelles, on a $\alpha_{nat} = 2.04$, $\beta_{nat} = 2.21$, $\gamma'_{nat} = 0.730$ et $R^2_{nat} = 0.460$. En parcelles exploitées, on a $\alpha_{exp} = 3.10$, $\beta_{exp} = 2.44$, $\gamma'_{exp} = 0.870$ et enfin $R^2_{exp} = 0.424$.

Pourtant, en parcelles exploitées, il y a plus de bois mort au sol ou sur pied qu'en parcelles naturelles. On pourrait logiquement penser que l'activité de la faune xylophage est plus importante et donc que le bois mort se décompose plus rapidement dans ce type de parcelle. Cette hypothèse est contrebalancée par le fait qu'en parcelles exploitées il y a plus de lumière (ouverture de la canopée dans les chablis) et à fortiori moins d'humidité. Un important éclaircissement naturel et une faible humidité étant plutôt défavorables à l'activité de la faune xylophage, le bois mort se décompose plus lentement en parcelles exploitées que dans les parcelles naturelles.

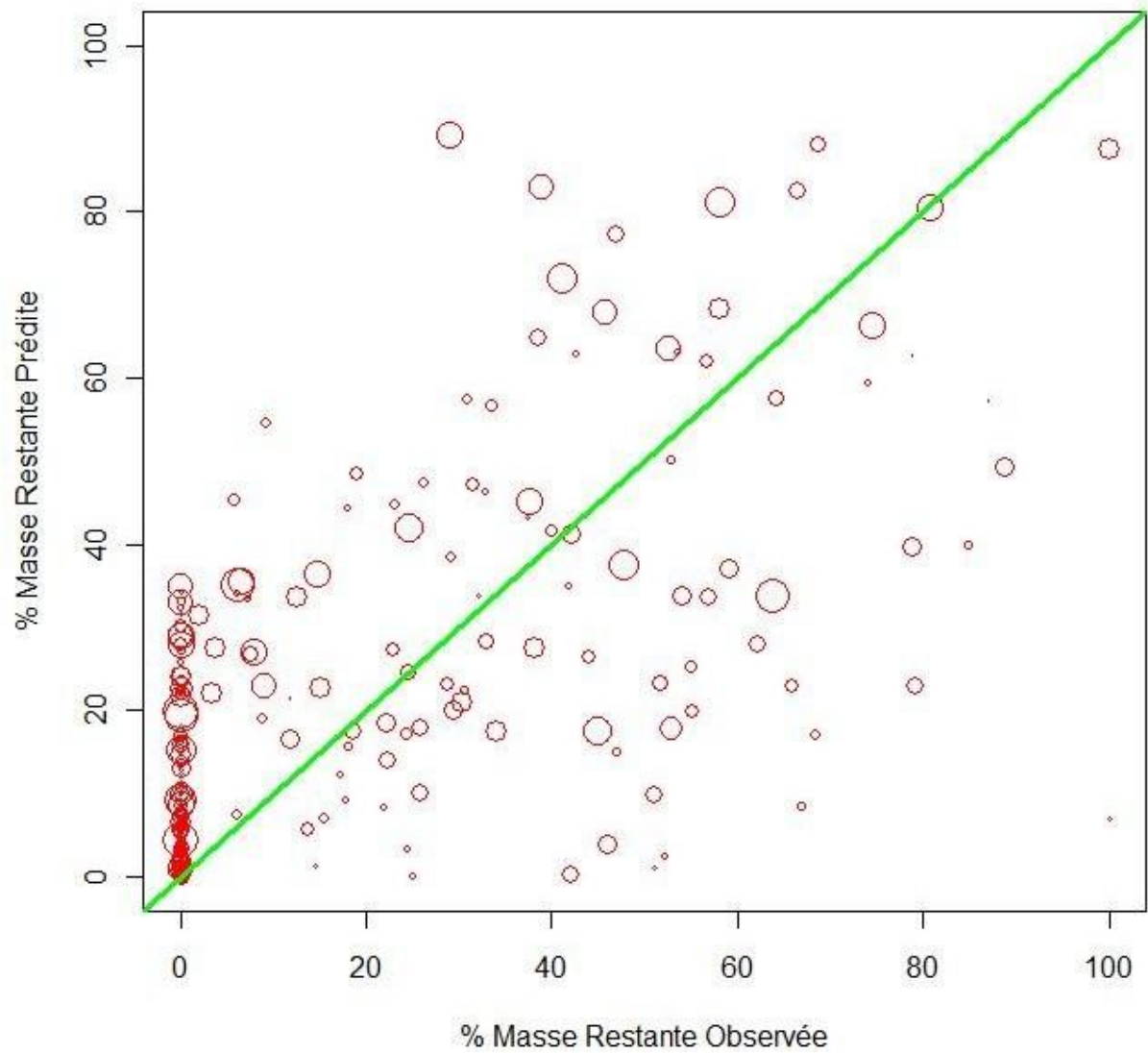


Figure 22 : Comparaison entre la masse restante observée et la masse restante prédite par le modèle : % de masse restante = $e^{-\alpha.t.circonférence} e^{-\gamma'/densité^\beta}$

IV. Discussion des résultats obtenus

En l'état actuel des choses et au vu des premiers résultats de modélisation, le modèle mathématique le plus adapté à décrire la décomposition du bois mort en FTH est de la forme **% de masse restante** = $e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma'}/densité^{\beta}}$. Le coefficient de corrélation obtenu s'élève à 0.450. Les valeurs des coefficients β et γ' semblent déjà bien isolées car elles varient peu d'une modélisation à l'autre ou lorsque l'on rajoute des données. Par contre, le coefficient α varie beaucoup plus, il n'est pas stable, on ne peut pas lui accorder beaucoup de crédit pour l'instant. On peut toutefois penser que le coefficient α se stabilisera lorsque toutes les données de terrain auront été collectées et analysées. De plus, un autre modèle de décomposition du bois mort de forme mathématique différente de celle-ci sera peut-être trouvé d'ici la fin du travail de modélisation.

Néanmoins, ce modèle apparaît d'ores et déjà comme étant plus pertinent que celui décrit dans les travaux de Chambers (Chambers et al., 2000 et 2004), notamment car notre modèle prend davantage en considération les variables biologiques accessibles, comme le DBH et la densité. En effet, la constante K de décomposition déterminée par Chambers prend des valeurs très importantes pour des hautes classes de DBH et/ou de densité, ce qui signifierait que le bois mort se décompose plus rapidement pour ces valeurs de DBH et de densité, alors qu'on a montré dans cette première phase d'analyse des données et de modélisation que la décomposition du bois mort est inversement proportionnel à ces 2 caractéristiques individuelles et spécifiques.

On constate par contre que tous les modèles présentés précédemment prédisent des ratios de masse restante supérieurs à 0 pour des individus que l'on a considérés sur le terrain comme étant complètement disparus, c'est-à-dire de masse restante égale à 0. Sur la figure 22, on remarque effectivement que pour de nombreux individus signalés disparus sur le terrain, le modèle prédit une masse restante supérieure comprise entre 0 et 40% de la masse initiale. Il faudrait donc peut-être revoir la considération sur le terrain des individus très décomposés mais pas encore totalement disparus, afin que l'observe une masse restante légèrement supérieure à 0 mais en tout cas différente de 0. Toutefois, cela risque d'être difficile à réaliser concrètement au vu de l'état de décomposition avancé de certains individus qui rend parfois le prélèvement d'échantillons quasiment impossible.

Le précédent chapitre décrit l'impact des traitements sylvicoles menés à Paracou sur la décomposition du bois mort. D'autres facteurs environnementaux observés sur le terrain (localisation géographique, indice de lumière, type de mort...) seront étudiés d'ici la fin de ce stage afin d'évaluer leur influence sur la vitesse de décomposition du bois mort.

Ce stage à l'UMR EcoFoG avait pour objectifs d'étudier et de modéliser la décomposition du bois mort en FTH en fonction de caractéristiques individuelles et spécifiques et des conditions environnementales (localisation géographique, indice de lumière...). Les arbres morts constituent un compartiment non négligeable du cycle de carbone en FTH puisqu'on estime que plus du quart du carbone stocké en forêt est immobilisé dans le gros bois mort. Aussi, la compréhension du comportement de ce compartiment biologique est indispensable pour évaluer son importance dans le cycle du carbone des FTH et plus largement mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes, en particulier dans le contexte actuel de réchauffement climatique et de changement global.

A partir de données de terrain récoltées sur un échantillonnage d'environ 540 arbres du site expérimental de Paracou, un premier travail de modélisation a pu être réalisé afin d'étudier l'influence du DBH et de la densité du bois dans la vitesse de décomposition du bois mort. Pour l'instant, les premiers résultats déjà très concluants montrent que le modèle le plus pertinent est de la forme % de masse restante = $e^{-\alpha.t.circonférence^{-\gamma}/densité^{\beta}}$. La circonférence de l'individu et la densité de son bois sont donc à priori les 2 variables individuelles et spécifiques impactant le plus la décomposition du bois mort. La continuation de ce stage jusqu'à fin novembre 2008 devrait permettre d'améliorer le modèle proposé ci-dessus et d'étudier davantage l'influence des facteurs environnementaux sur la décomposition du bois mort.

Bibliographie

- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M. & Martinez, R.V. (2004) Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 359(1443), 353-65.
- Chambers, J.Q., Higuchi, N., Schimel, J.P., Ferreira, L.V. & Melack, J.M. (2000) Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia*, 122(3), 380-88.
- Chambers, J.Q., Higuchi, N., Teixeira, L.M., Santos, J., Laurance, S.G. & Trumbore, S.E. (2004) Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia*, 141(4), 596-611.
- Clark, D.A. (2007) Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward. *Biotropica*, 39(1), 4-19.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. & Wisniewski, J. (1994) Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-90.
- Hirsch, A.I., Little, W.S., Houghton, R.A., Scott, N.A. & White, J.D. (2004) The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amazon: analysis using a process-based model. *Global Change Biology*, 10(5), 908-24.
- Keller, M., Palace, M., Asner, G.P., Pereira, R. & Silva, J.N.M. (2004) Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 10(5), 784-95.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G. & Sampaio, E. (2002) Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. *Conservation Biology*, 16(3), 605-18.
- Mackensen, J., Bauhus, J. & Webber, E. (2003) Decomposition rates of coarse woody debris - A review with particular emphasis on Australian tree species. *Australian Journal of Botany*, 51(1), 27-37.
- Palace, M., Keller, M., Asner, G.P., Silva, J.N.M. & Passos, C. (2007) Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 238(1-3), 309-18.

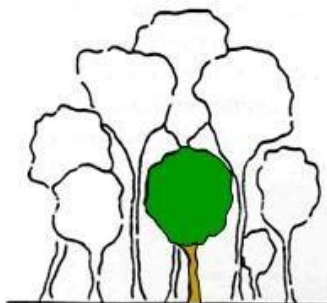
Phillips, O.L., Baker, T.R., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Silva, J.N.M., Terborgh, J., Martinez, R.V., Alexiades, M., Almeida, S., Brown, S., Chave, J., Comiskey, J.A., Czimczik, C.I., Di Fiore, A., Erwin, T., Kuebler, C., Laurance, S.G., Nascimento, H.E.M., Olivier, J., Palacios, W., Patino, S., Pitman, N.C.A., Quesada, C.A., Salidas, M., Lezama, A.T. & Vinceti, B. (2004) Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 359(1443), 381-407.

Wright, S.J., Calderon, O., Hernandez, A. & Paton, S. (2004) Are lianas increasing in importance in tropical forests ? A 17-year record from Panama. *Ecology*, 85(2), 484-89.

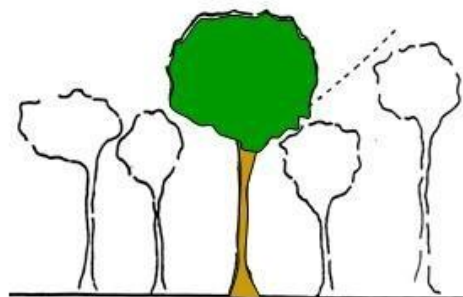
Yatskov, M., Harmon, M.E. & Krankina, O.N. (2003) A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Canadian Journal of Forest Research- Revue Canadienne de Recherche Forestiere*, 33(7), 1211-26.

Laurance, W.F., Oliveira, A.A., Laurance, S.G., Condit, R., Nascimento, H.E.M., Sanchez-Thorin, A.C., Lovejoy, T.E., Andrade, A., D'Angelo, S., Ribeiro, J.E. & Dick, C.W. (2004) Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. *Nature*, 428(6979), 171-75.

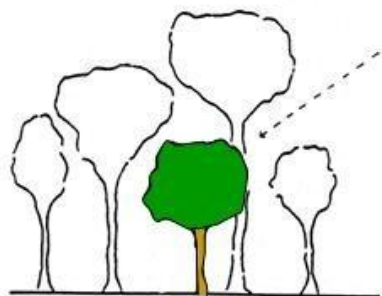
Annexe 1 : Indice de Dawkins



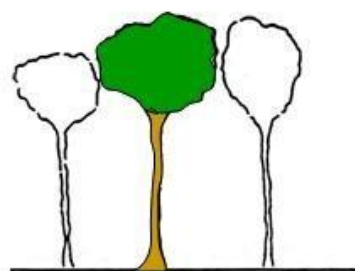
1 - pas d'éclairement direct



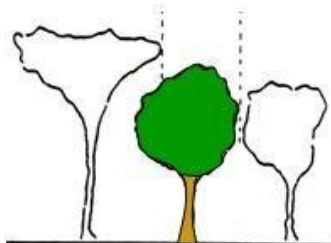
5 - plein éclairement vertical et latéral



2 - éclairement latéral partiel



4 - plein éclairement vertical



3 - éclairement vertical partiel

Annexe 2 : Calcul de surfaces initiales

Cet annexe présente le mode opératoire utilisé pour calculer les surfaces initiales des échantillons de bois « particuliers » (disparus ou morts sur pied) que l'on n'aura pas pu prélever à Paracou. Au préalable, on aura calculé la moyenne des rapports entre les surfaces finales de tous les échantillons effectivement prélevés P1/P2, P1/P3 et P2/P3. Ils sont respectivement notés P1P2, P1P3 et P2P3.

- Individus pour lesquels P1 est disparu et aucun prélèvement n'est sur pied :

Calcul surface initiale P1 : on utilise le rapport x du prélèvement P2, c'est à priori le rapport entre DBH minimum et DBH maximum le plus proche de celui du prélèvement P1.

$$\text{Surface initiale P1} = \frac{C^2 \cdot x}{\pi \cdot (1+x)^2}$$

Pour calculer la surface initiale P2, on utilise la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P2} = \frac{\text{Surface initiale P1}}{P1P2}$$

Enfin, pour calculer la surface initiale P3, on utilise la règle de 3 :

$$\text{Surface initiale P3} = \frac{\text{Surface initiale P2} * \text{Surface finale P3}}{\text{Surface finale P2}}$$

- Individus pour lesquels P2 est disparu et aucun prélèvement n'est sur pied :

On utilise le rapport x du prélèvement P1 pour calculer sa surface initiale. On applique ensuite le même raisonnement que précédemment en utilisant le rapport P1P2 pour calculer la surface initiale P2 et la règle de 3 pour calculer la surface initiale P3.

- Individus pour lesquels P3 est disparu et aucun prélèvement n'est sur pied :

On utilise le rapport x du prélèvement P1 pour calculer sa surface initiale. On applique ensuite le même raisonnement que précédemment en utilisant le rapport P1P3 pour calculer la surface initiale P3 et la règle de 3 pour calculer la surface initiale P2.

- Individus pour lesquels P1 et P3 sont disparus et aucun prélèvement n'est sur pied :

Calcul surface initiale P1 : on utilise le rapport x du prélèvement P2. On applique la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P1} = \frac{C^2 \cdot x}{\pi \cdot (1+x)^2}$$

Ensuite, pour calculer les surfaces initiales P2 et P3, on a :

$$\text{Surface initiale P2} = \frac{\text{Surface initiale P1}}{P1P2}$$

$$\text{Surface initiale P3} = \frac{\text{Surface initiale P2}}{P2P3}$$

- Individus pour lesquels P2 et P3 sont disparus et aucun prélèvement n'est sur pied :

On utilise le rapport x du prélèvement P1 pour calculer sa surface initiale. Ensuite, pour calculer les surfaces initiales P2 et P3, on applique les 2 formules ci-dessus en s'aidant des rapports P1P2 et P2P3.

- Individus pour lesquels P1 est sur pied et aucun prélèvement n'est disparu :

Calcul surface initiale P1 : on utilise le rapport x du prélèvement P2. On applique la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P1} = \frac{C^2 \cdot x}{\pi \cdot (1+x)^2}$$

Pour calculer la surface initiale P2, on utilise la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P2} = \frac{\text{Surface initiale P1}}{P1P2}$$

Enfin, pour calculer la surface initiale P3, on utilise la règle de 3 :

$$\text{Surface initiale P3} = \frac{\text{Surface initiale P2} * \text{Surface finale P3}}{\text{Surface finale P2}}$$

Pour estimer la masse restante P1, on applique la formule suivante :

$$\text{Masse restante P1} = \frac{\text{Masse restante P2} * \text{Surface initiale P1}}{\text{Surface initiale P2}}$$

On affecte au prélèvement P1 les épaisseurs du prélèvement P2 qui est la référence pour P1.

- Individus pour lesquels P1 et P2 sont sur pied et aucun prélèvement n'est disparu :

Calcul surface initiale P1 : on utilise le rapport x du prélèvement P3. On applique la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P1} = \frac{C^2 \cdot x}{\pi \cdot (1+x)^2}$$

Ensuite, pour calculer les surfaces initiales P2 et P3, on a :

$$\text{Surface initiale P2} = \frac{\text{Surface initiale P1}}{P1P2}$$

$$\text{Surface initiale P3} = \frac{\text{Surface initiale P2}}{P2P3}$$

Pour estimer les masses restantes P1 et P2, on applique les formules suivantes :

$$\text{Masse restante P1} = \frac{\text{Masse restante P3} * \text{Surface initiale P1}}{\text{Surface initiale P3}}$$

$$\text{Masse restante P2} = \frac{\text{Masse restante P3} * \text{Surface initiale P2}}{\text{Surface initiale P3}}$$

Enfin, on affecte aux prélèvements P1 et P2 les épaisseurs du prélèvement P3 qui est la référence pour P1 et P2.

- Individus pour lesquels P1 est sur pied et P3 est disparu :

Calcul surface initiale P1 : on utilise le rapport x du prélèvement P2. On applique la formule suivante :

$$\text{Surface initiale P1} = \frac{C^2 \cdot x}{\pi \cdot (1+x)^2}$$

Ensuite, pour calculer les surfaces initiales P2 et P3, on a :

$$\text{Surface initiale P2} = \frac{\text{Surface initiale P1}}{P1P2}$$

$$\text{Surface initiale P3} = \frac{\text{Surface initiale P2}}{P2P3}$$

Pour estimer la masse restante P1, on applique la formule suivante :

$$\text{Masse restante P1} = \frac{\text{Masse restante P2} * \text{Surface initiale P1}}{\text{Surface initiale P2}}$$

On affecte à P1 les épaisseurs du prélèvement-référence P2.