
Installation d'un dispositif permanent de suivi de la dynamique forestière au Gabon

Auteur : Van Hoef, Yorick

Promoteur(s) : Doucet, Jean-Louis; Fayolle, Adeline

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7755>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



INSTALLATION D'UN DISPOSITIF PERMANENT DE SUIVI DE LA DYNAMIQUE FORESTIÈRE AU GABON

YORICK VAN HOEF

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE
L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER BIOINGÉNIEUR
EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS



Année académique 2018-2019

Co-promoteurs : DOUCET J.-L. ET FAYOLLE A.

© Any reproduction of this document, by any means whatsoever, may only be made with the authorization of the author and the academic authority of Gembloux Agro-Bio Tech.

This document is the sole responsibility of its author.

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

INSTALLATION D'UN DISPOSITIF PERMANENT DE SUIVI DE LA DYNAMIQUE FORESTIERE AU GABON

YORICK VAN HOEF

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

CO-PROMOTEURS: DOUCET J-L. ET FAYOLLE A.

Résumé

Contexte Les forêts tropicales d’Afrique Centrale sont aujourd’hui sujettes à différentes pressions entravant l’assurance d’un futur prospère pour ces écosystèmes. L’exploitation forestière durable pourrait être un des leviers d’action permettant la sauvegarde de ces grandes étendues boisées. C’est dans ce contexte que le projet européen P3FAC vise à améliorer la compréhension globale sur la dynamique des forêts tropicales d’Afrique afin de rendre le plus durable possible leur exploitation.

Objectifs Les objectifs de ce travail sont de sélectionner des parcelles d’inventaire pour l’étude de la dynamique forestière à long terme au sein d’une concession forestière et de décrire l’état initial de ce dispositif en établissant une description (structure et diversité) de la zone d’étude permettant de la comparer avec d’autres régions.

Localisation Sud-est du Gabon ; zone de forêt dense humide sempervirente comprise au sein de l’Unité Forestière d’Aménagement 2, de l’Unité Forestière de Gestion 4 et de l’Assiette Annuelle de Coupe 2017 de la concession forestière de *Precious Woods Gabon - Compagnie Equatorial des Bois S.A.* à Bambidie, Gabon.

Méthodes Le travail a consisté en une démarche d’analyse de la zone d’étude permettant de choisir les emplacements des parcelles d’inventaire, de l’installation de parcelles ainsi que de leur inventaire complet. A partir d’un seuil d’inventaire de 10 cm, tous les arbres compris dans les parcelles ont été identifiés, référencés dans l’espace, mesurés par rapport à leur diamètre et décrits par rapport à leur conformation. Des mesures de hauteurs et de projections de houppier ont été effectuées sur un sous-échantillonnage des parcelles.

Résultats 9 parcelles de 4 ha ont été sélectionnées sur la zone d’étude. Parmi ces parcelles, 3 ont été installées et inventoriées. Au total, 4465 arbres ont été inventoriés permettant d’analyser structure et diversité. De légères différences structurales sont observées à l’échelle des 3 parcelles. De fortes corrélations sont observées entre les attributs structuraux, architecturaux et la biomasse. Une corrélation est observée entre un indicateur de diversité et la biomasse.

Conclusions Il reste peu de zones de forêt intact dans les concessions forestières du Gabon. Même si de légères différences apparaissent au sein des parcelles, elles sont représentatives de la forêt du bassin du Congo. La diversité au sein des forêts renforce le stockage de carbone.

Mots-clés Forêts tropicales, Afrique centrale, Gabon, dynamique forestière, inventaire forestier, dendrométrie, floristique, allométrie, foresterie durable

Abstract

Context The tropical forests of Central Africa are today subject to various pressures that hinder the assurance of a prosperous future for these ecosystems. Sustainable forestry could be one of the levers for action to safeguard these large wooded areas. It is in this context that the European P3FAC project aims to improve the global understanding of the dynamics of tropical forests in Africa in order to make their exploitation as sustainable as possible.

Objectives The objectives of this work are to select inventory plots for the study of long-term forest dynamics within a forest concession and to describe the initial state of this system by establishing a description (structure and diversity) of the study area to compare it with neighbouring regions.

Location South east Gabon ; evergreen dense rainforest area included in Forest Management Unit 2, Forest Management Unit 4 and Annual Cutting Plate 2017 of the *Precious Woods Gabon - Compagnie Equatorial des Bois S.A.* forest concession in Bambidie, Gabon.

Methods The work consisted of an analysis of the study area in order to choose the locations of the inventory plots, the installation of 3 plots of 4 ha and their complete inventory. From an inventory threshold of 10 cm, trees were identified, spatially referenced, measured in relation to their diameter and described in relation to their conformation. Height and crown projection measurements were taken on a subsampling of the plots.

Results 9 plots of 4 ha were selected in the study area. Of these plots, 3 have been installed and inventoried. A total of 4465 trees were inventoried to analyse structure and diversity. Slight structural differences are observed at the scale of the 3 plots. Strong correlations are observed between structural, architectural and biomass attributes. A correlation is observed between a diversity indicator and biomass.

Main conclusions There are few areas of intact forest left in Gabon's forest concessions. Although slight differences appear between the plots, they are representative of the Congo Basin forest. Diversity within forests enhances carbon storage.

Keywords Tropical forests, Central Africa, Gabon, forest dynamic, forest inventory, dendrometry, floristics, allometry, sustainable forestry

Remerciements

Ce travail de fin d'études marque la fin de belles années d'études à Gembloux et de quelques mois de travail intense. Il n'aurait pu aboutir sans l'aide et la participation de nombreuses personnes que je tiens à remercier.

Premièrement et de toute évidence, j'aimerais souligner l'encadrement de qualité dont j'ai eu la chance de bénéficier lors de ce travail, de la part de mes co-promoteurs Jean-Louis Doucet et Adeline Fayolle. Votre confiance et votre soutien m'ont permis d'avancer aussi bien lorsque j'étais au Gabon que lors de mes réflexions sur la structuration de mon travail en Belgique. Merci Adeline pour les encouragements et la positivité communiquée lors de nos entrevues, votre énergie et vos conseils m'ont permis d'avancer de manière sereine dans mes analyses. Merci Jean-Louis pour le soutien sans faille et dont l'expérience en Afrique et la rigueur scientifique m'ont permis de prendre nombre de décisions lors de mon travail. Merci pour votre énergie investie dans le module tropical, qui participe à être une source de vocation. Merci pour la passion des forêts tropicales que vous m'avez tous deux communiqué, vous êtes à la fois une source d'inspiration et de motivation.

J'aimerais également remercier la société Precious Woods - CEB et plus particulièrement Mr. Frédéric OBER et Philippe JEANMART, pour l'intérêt porté à mes travaux et l'accueil au sein de l'entreprise. C'est une chance inouïe pour un étudiant de pouvoir passer plusieurs mois au sein d'une entreprise forestière comme la CEB. Merci à Philippe pour avoir partagé son expérience sans modération. Mon travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide de Handy BOUNDA et Romaric NDONDA, à la base des coordinations des sorties sur le terrain. Il en est de même pour l'équipe sylviculture et recherche Nature+/CEB, avec qui j'ai partagé 3 mois en campement. Augustin, Jean-Bosco, Christellin et les journaliers qui nous ont accompagnés, encore une fois merci. Ce travail est également le votre. Merci à Raoul NIANADUMA et Yves ISSEMBE, pour vos transmissions de savoirs sur la forêt gabonaise. Pensées particulières pour mes collègues suisses Vincent et Thibaud, qui ont ambiancé avec brio mon séjour à la base vie. Guillaume également, quelle chance d'avoir partagé mes weekends à la base vie avec toi, une belle amitié en perspective. Finalement, merci à Jeff, avec qui j'ai démarré l'aventure en mars. Tes conseils, ton expérience et ta bonne humeur ont amélioré grandement ma mission! Un grand merci à toutes les personnes du bureau de l'unité tropicale qui m'ont aidés et accueillis.

A toute la bande de bras-cassés du "bureau tffistes forestiers" : Val, Guillaume², Guidoss, Edouard, Thomas, Damien, J-P et les autres, merci pour l'ambiance folle partagées ces derniers mois.

Pour terminer, j'aimerais dédicacer ce travail à mes parents, Luc et Bénédicte. Votre confiance et votre soutien depuis le début, m'ont permis d'atteindre mes objectifs. Merci de croire en moi et de

toujours être présents, enclins à partager votre expérience, vos conseils et soutenir mes passions. Merci de m'avoir fait connaître l'Afrique, je pense que j'y ai laissé un bout de moi là-bas. La fraterie Zoé, Rowan et Darius, merci pour votre amour et le partage sans mesures. Les magnifiques artistes que vous êtes, sont une source d'inspiration intarissable pour moi. Merci particulier à Sasha, qui partage mon quotidien tout en lumière, je pense à toi.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Remerciements	iii
Table des matières	v
Acronymes	viii
I Introduction	1
1 Contexte général	2
2 Cadre de l'étude et objectifs	7
2.1 Projet P3FAC	7
2.2 CEB - Precious Woods	8
2.3 Objectifs	9
3 Présentation de la zone d'étude	11
3.1 Localisation, climat et autres facteurs abiotiques et biotiques	11
II Pré-inventaire	15
4 Matériel et méthodes	17
4.1 Données de pré-inventaire	17
4.2 Analyses de données	18
4.2.1 Structure	18
4.2.2 Composition	18
4.3 Identification des perturbations	20
5 Résultats	21
5.1 Données de pré-inventaire	21
5.2 Structure spatiale et diamétrique	22
5.3 Composition	25
5.3.1 Dominance	25
5.3.2 Gradient floristique	26

5.3.3	Dissimilarité	28
5.4	Identification des perturbations	29
5.5	Résultat final : sélection des parcelles d'inventaire du projet P3FAC	30
6	Discussions	32
6.1	Données de pré-inventaire	32
6.2	Structure spatiale et composition	32
6.3	Structures diamétriques du Plan d'Aménagement	33
6.4	Perturbations et forêt secondaire	35
III	Inventaire	37
7	Matériels et méthodes	39
7.1	Sélection des parcelles	39
7.2	Protocole expérimental	39
7.2.1	Délimitation des parcelles	39
7.2.2	Positionnement des arbres	42
7.2.3	Marquage et identification des arbres	42
7.2.4	Mesures	43
7.2.5	Équipe et matériel	46
7.3	Encodage - OpenForis	46
7.4	Analyse des données	47
7.4.1	Structure	47
7.4.2	Composition et diversité	48
7.4.3	Analyses statistiques	48
8	Résultats	49
8.1	Rendements de la mission	49
8.2	Données d'inventaire	49
8.3	Description des peuplements	51
8.3.1	Structure	51
8.3.2	Attributs structuraux	54
8.3.3	Composition floristique	55
8.3.4	Lien entre structure et diversité	61
9	Discussion	63
9.1	Le dispositif P3FAC dans un contexte de forêt tropicale	63
9.2	Hétérogénéité au sein des parcelles	67
9.3	Diversité vs Structure	67
IV	Conclusion générale	68
10	Conclusion	69
	Bibliographie	70

V Annexes	76
A Pré-inventaire	77
A.1 Distribution spatiale et diamétrique des essences commerciales du projet P3FAC	77
A.2 Analyse de la composition par rapport à la surface terrière	83
B Inventaire	84
B.1 Manuel Open Foris Collect	84
B.2 Liste des espèces	97
C Mission	101
C.1 Rapports de mission	101

Acronymes

AAC Assiette Annuelle de Coupe. 11, 17

AFC Analyse Factorielle des Correspondance. 48

AFRITIMB Reproduction et flux de gènes des arbres commerciaux d’Afrique - vers une gestion forestière durable. 17

ATIBT Association Technique Internationale des Bois Tropicaux. 7

CEB Compagnie Equatoriale des Bois. 11–13, 16, 17

CFAD Concession Forestière d’Aménagement Durable. 11, 13

Cirad Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. 7

COMIFAC Commission des Forêts d’Afrique Centrale. 7

FFEM Fonds Français pour l’Environnement Mondial. 7

FSC Forest Stewardship Council. 5, 8

GDF Gestion Durable des Forêts. 4, 6

ITTO Organisation Internationale pour les Bois Tropicaux. 5

NSCA Analyse Non Symétrique des Correspondances. 19, 26

ONFI Office National des Forêts Internationales. 17

P3FAC Partenariat Public Privé pour gérer durablement les Forêts d’Afrique Centrale. 7–9, 11, 12, 16–18, 38, 49, 63

PAFC Pan African Forest Certification. 8

PW-CEB Precious Woods Gabon - Compagnie Equatoriale des Bois S.A.. 8, 9, 17, 29, 33, 38, 49

RCA République Centre Africaine. 7, 32

RDC République Démocratique du Congo. 3, 4, 6, 7

TGI Tropical Gabon Industrie. 8

UFA Unité Forestière d’Aménagement. 11

UFG Unité Forestière de Gestion. 11

Première partie

Introduction

Chapitre 1

Contexte général

Forêts tropicales Les forêts tropicales forment des paysages boisés répartis sur la région dite *intertropicale* — située de part et d'autre de l'équateur terrestre, respectivement entre les tropiques du Cancer (23,27°N de latitude) et du Capricorne (23,27°S de latitude) (Lewis, 2005). Dotées de près de 1 800 millions d'hectares (FAO, 2015), soit l'équivalent de 6% des surfaces terrestres et de 45 à 50% des forêts du globe (Keenan et al., 2015), elles tiennent une place majeure dans la matrice paysagère de notre planète. Cependant, elles sont surtout reconnues pour leurs caractéristiques particulières et les nombreux rôles qu'elles portent à l'échelle de la Terre.

Ces larges massifs forestiers sont caractérisés par un climat présentant une alternance de périodes pluvieuses et de saisons sèches plus ou moins marquées, répartis de manière inéquitable par régions et continents (Schneider et al., 2014). De plus, les régions tropicales présentent des ensoleillements plus forts en intensité du fait que le soleil passe au zénith deux fois par an sur l'équateur. Ces conditions climatiques particulières, couplées à de grandes variations régionales des conditions pédologiques (Malhi et al., 2004; Fayolle et al., 2012) influencent de manière directe les composantes de ces systèmes et font des forêts tropicales des zones riches en diversité spécifique par rapport aux autres forêts du monde (Bergonzini and Lanly, 2000).

Les forêts tropicales jouent un rôle clé aussi bien en termes d'accueil de la biodiversité, possédant entre 50-80% de la biodiversité mondiale (Slik et al., 2015; Sullivan et al., 2017), que de stockage de carbone avec 40-50% du carbone végétal terrestre (Lewis et al., 2009; Mitchard, 2018). En plus d'être une source de biodiversité génétique incroyable, elles rendent également un nombre important de services écosystémiques à l'humanité (Prance, 2002), estimés à hauteur équivalente d'environ 4 billions de dollars par an (Costanza et al., 1997), soit 11% de la valeur mondiale moyenne des services écosystémiques annuels. Leurs services rendus à une échelle locale, sont d'ailleurs primordiaux pour la survie de nombreuses populations en étant pourvoyeurs de denrées alimentaires ainsi que de bois énergie (Ruitenbeek, 1990).

Afrique Centrale Les forêts du bassin du Congo en Afrique centrale (figure 1.2) forment le second plus grand massif forestier continu pluvial du monde (De Wasseige et al., 2012), après celui du bassin Amazonien et possèdent 20% de la surface totale des forêts tropicales (FAO, 2015). Ce massif s'étend sur six pays : le Cameroun, le Gabon, la Guinée Equatoriale, la République du Congo, la République Centre Africaine et la République Démocratique du Congo (Laporte et al., 2007). Selon les chiffres de FAOSTAT (2017), la majorité des 100 millions de personnes vivant dans la région en dépendent

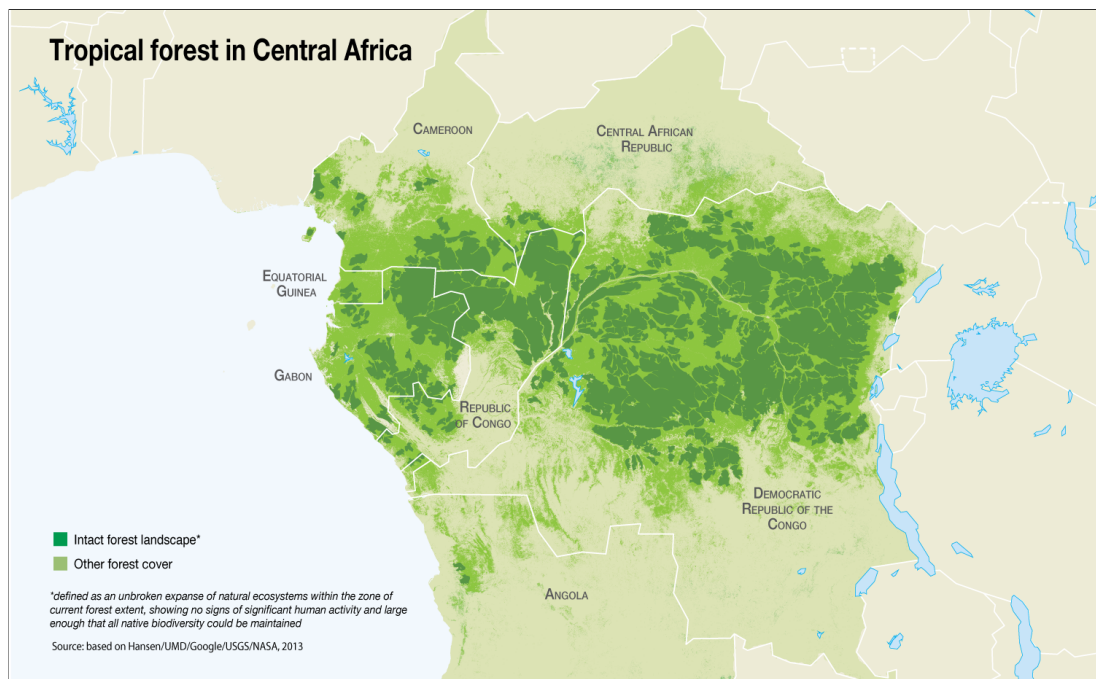


FIGURE 1.1 – Carte des forêts tropicales en Afrique Centrale

pour leur subsistance, 50% d'entre eux vivant directement de la ruralité. Les services d'approvisionnement sont les services écosystémiques rendus par la forêt reconnus comme étant le plus perçu par les populations locales (Lhoest et al., 2019).

Pressions sur les forêts d'Afrique centrale Même si pendant longtemps la déforestation dans le bassin du Congo a été considérée comme relativement faible par rapport à d'autres grandes régions de forêts tropicales humides (Laporte et al., 2007; Potapov et al., 2008; Zhang et al., 2005; Achard et al., 2002; Marien et al., 2014), en partie parce que des décennies d'instabilité politique et de conflit ont empêché les forêts de faire l'objet d'une exploitation industrielle majeure (Lassagne, 2005), différentes pressions sont aujourd'hui en hausse et leurs impacts se font ressentir sur le fonctionnement de l'écosystème (Bamba et al., 2010; Newbold et al., 2014; Laurance et al., 2006; Ripple et al., 2016).

Le changement climatique actuel d'origine anthropique (Rosenzweig et al., 2008) induit de fortes perturbations sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, qui jouent un rôle majeur dans l'équilibre du climat en séquestrant du carbone (Bonan, 2008). Comme démontré par Lewis et al. (2011), l'apparition de sécheresses anormales peut faire passer les forêts tropicales d'un rôle de mitigateur d'une augmentation de CO₂ à un rôle d'accélérateur, ce qui entraîne des répercussions importantes sur le cycle du carbone global. Les rétroactions positives du changement climatique étant plus fréquentes et intenses dans l'hémisphère sud (Rosenzweig et al., 2001), les nombreux services que ces forêts assument pourraient être rapidement mis en déclin. En Afrique de l'ouest, les changements climatiques sont déjà perceptibles (Lobell et al., 2008).

En parallèle aux perturbations dues au changement climatique, la région connaît des taux élevés de croissance démographique, en lien avec une croissance économique elle aussi en hausse (Frankema and van Waijenburg, 2018). Un exemple marquant est celui de la capitale de la République Démocratique du Congo, Kinshasa, dont la population inexorablement grandissante exerce une pression considérable

sur les ressources ligneuses périphériques à la mégapole (Vermeulen et al., 2010; Marien et al., 2014; Vermeulen and Karsenty, 2015). Liée aux activités humaines comme l'agriculture paysanne et la collecte de bois de feu, cette forme de déforestation est en relation directe avec la taille de la population (Defourny et al. (2011), cité dans Vermeulen and Karsenty (2015)).

Par ailleurs, la demande en protéines animales croît de manière générale sur l'Afrique (Delgado, 2003) et en particulier, celle de viande de brousse pour l'Afrique centrale (Wilkie et al., 2005; Fa and Brown, 2009). Les villages forestiers exercent alors une chasse forte en pression sur la faune, de manière à pouvoir subvenir aux demandes urbaines (van Vliet and Mbazza, 2011). A long terme, cette pression impacte de manière irréversible les cycles de reproduction de certaines espèces qui participent pourtant considérablement au maintien des forêts et leur régénération (Wang et al., 2007) via différents mécanismes comme la dispersion des semences (Stoner et al., 2007). De cette manière, la chasse intensive de viande de brousse est considérée comme étant une des principales menaces sur la biodiversité en Afrique (Brashares et al., 2011; Lhoest et al., 2018). In fine, c'est également l'effondrement du grand réservoir de biodiversité génétique que forment les forêts tropicales, qui accompagnerait le déclin de ces écosystèmes.

Exploitation forestière durable La Gestion Durable des Forêts (GDF) à l'échelle industrielle a été largement promue par la communauté internationale comme étant un mécanisme clé pour lutter contre la déforestation tropicale (Zimmerman and Kormos, 2012; Nasi et al., 2006). La GDF est, manifestement depuis une dizaine d'années, au centre des débats sur l'état des forêts d'Afrique centrale et leur conservation (Rice et al., 1997; Sizer et al., 2000; Laurance et al., 2006). Elle est mise en avant comme étant un des meilleurs moyens de lutte contre la déforestation et donc de conservation des espèces mais également de maintien du carbone fixé dans l'écosystème (Prance, 2002; Guariguata et al., 2012).

Selon l'étude réalisée à long terme de Gourlet-Fleury et al. (2013), les forêts tropicales montrent une certaine résilience face à des perturbations liées à des opérations sylvicoles, même sous des niveaux intenses d'exploitation (maximum quatre arbres par ha). Leurs résultats illustrent des taux de reconstitution de la biomasse particulièrement élevés en comparaison avec des forêts non exploitées.

Malgré le fait que l'exploitation forestière ne corresponde pas à la définition du terme "déforestation" (Schoene et al., 2007), elle est à maintes reprises désignée à tort par des organismes internationaux comme en étant la première cause de déforestation (Haurez et al., 2017). Les perturbations les plus fortes créées par l'exploitation forestière durable sont en générales dues à des causes secondaires comme l'expansion de l'agriculture et du braconnage via le réseau de routes aménagées par les sociétés (Laurance et al., 2006; Laporte et al., 2007). Dans une région du centre-nord de la RDC, le taux d'aménagement des routes a progressé de 336 km par an (1986-1990) à 456 km par an (2000-2002) (Laporte et al., 2007).

La Gestion Durable des Forêts a été définie avec précision par Picard and Gourlet-Fleury (2008) : "[...] la gestion durable des forêts de production signifie que les règles et pratiques d'exploitation peuvent assurer la pérennité des ressources et des services fournis par les forêts tout en générant des bénéfices économiques". Les auteurs précisent de plus que "cette gestion durable nécessite un équilibre entre les prélèvements réalisés par l'exploitation forestière et la croissance des peuplements, équilibre recherché à travers l'élaboration de plans d'aménagement forestiers permettant une planification de la gestion sur

le long terme et dont le calcul de reconstitution de la ressource est basé sur le potentiel de bois d'œuvre initialement exploitable".

Malheureusement, la réalité de l'exploitation forestière selon l'Organisation Internationale pour les Bois Tropicaux (ITTO), est que dans tous les pays membres producteurs, seulement 4,5% des domaines forestiers permanents sont gérés de manière durable (certificats FSC, OLB et VLC) (FRM, 2018). Si l'on s'intéresse aux chiffres présentés par le label environnemental garantissant la gestion durable des forêts le plus célèbre, le Forest Stewardship Council (FSC), on observe qu'ils sont relativement faibles eux aussi, en ce qui concerne les forêts africaines. En 2016, la surface de concessions certifiées durable était de 5 473 393 ha (FSC, 2019), ce qui représente un peu moins de 36% des surfaces totales sous concessions forestières — environ 15 millions ha (FRM, 2018). Malheureusement, on observe également une fluctuation des surfaces totales certifiées lorsque l'on compare les différents chiffres présentés annuellement dans les rapports du FSC, avec une tendance à diminuer actuellement — 7.4 millions ha en juillet 2015 (FSC, 2015).

De manière générale, la plupart des concessions forestières en Afrique sont exploitées comme s'il ne s'agissait pas d'une ressource naturelle renouvelable (Putz et al., 2008). Un faible taux de formation est observé parmi les employés des entreprises comme les abatteurs ou les conducteurs de débusqueurs et les travaux sont souvent effectués sans l'utilisation de cartes topographiques (Blaser et al., 2005). De plus, rares sont les pays qui implémentent des incitations financières pour réduire les effets néfastes sur l'environnement causés par les activités comme les dégâts liés au sol (Karsenty et al., 2008; Blaser

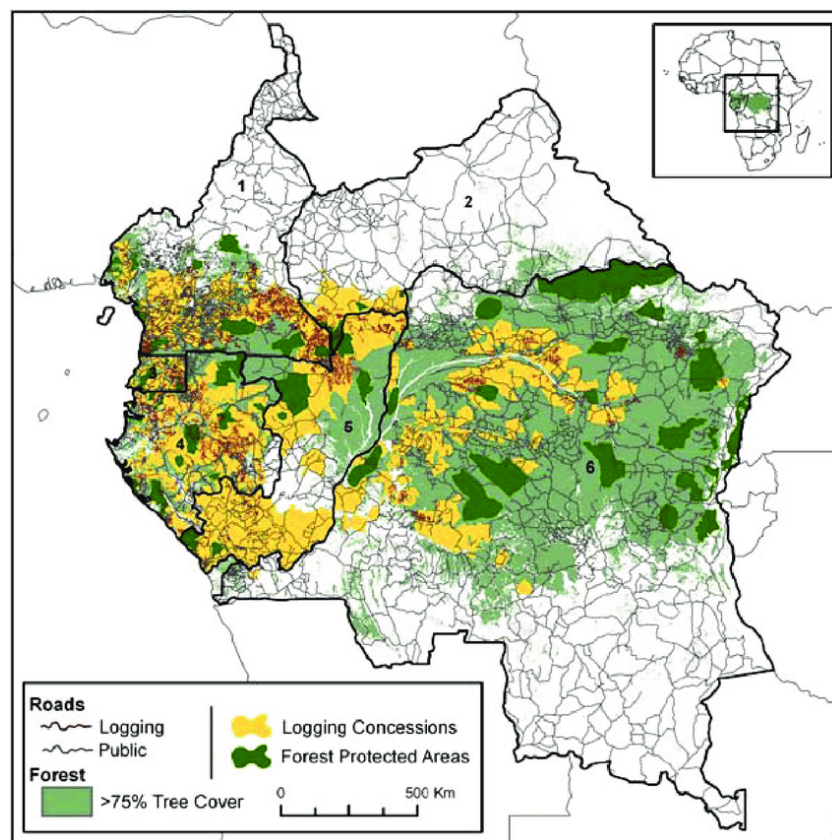


FIGURE 1.2 – Carte des concessions forestières et des routes en Afrique centrale Cameroun (sur la carte en 1), République Centraire Africaine (2), Guinée Equatoriale (3), Gabon (4), République du Congo (5), et République Démocratique du Congo (6). (Source : Laporte et al. (2007))

et al., 2005; Repetto, 1987). Une grande marge de progression existe donc encore sur l'amélioration des pratiques d'exploitation en Afrique centrale. Une promotion accrue de l'exploitation durable, qui elle montre des signes d'amélioration (Putz et al., 2008), irait dans ce sens.

Actuellement, le nombre de concessions certifiées est faible en forêt tropicale en raison de certaines contraintes. La principale raison identifiée est que les économies annoncées, associées à la GDF, par rapport à l'exploitation conventionnelle, ne sont souvent pas réalisées (Putz et al., 2000). L'investissement mis en place par les sociétés pour atteindre les normes de certification est d'ailleurs très élevé et n'est pas récupéré par la plus-value promise, les marchés internationaux demandent actuellement peu de bois certifiés. Des contraintes comme l'interdiction d'exploiter dans les pentes fortes ou par temps de fortes intempéries affaiblissent encore davantage les efforts de promotion de la GDF. Une assistance internationale, telle que des fonds de compensation carbone et d'autres incitations financières, est nécessaire pour promouvoir l'exploitation durable des forêts sous les tropiques (Laurance, 2001).

Ecosystème complexe et méconnu Les forêts tropicales forment les écosystèmes les plus complexes sur Terre (Clark and Sunderland, 2004) et restent de manière générale, fort méconnues (Grainger, 2010). Particulièrement, les mécanismes régissant les forêts d'Afrique centrale ont été moins étudiés que ceux des forêts d'Amérique ou d'Asie (Lewis et al., 2009; Groenendijk et al., 2014), en grande partie par manque d'infrastructure et d'accès à l'information (Bonan, 2008). Les informations écologiques de base sur les espèces commerciales sont généralement obtenues à partir des mesures des arbres dans les parcelles d'inventaire permanent. Malheureusement, la contribution de ces parcelles à la production de ces informations sur les essences forestières africaines reste très limitée (Groenendijk et al., 2014) car elles sont encore trop rares en Afrique et trop petites (1 ha) (Verbeeck et al., 2011). Or, de grandes parcelles sont nécessaires pour capter le rôle de l'exploitation sur la dynamique. Par ailleurs, les parcelles présentes en Afrique centrale sont réparties de manière hétérogène, avec un nombre particulièrement faible en RDC, ce qui empêche d'avoir des informations à l'échelle entière du bassin congolais (Picard et al., 2010).

Différentes sources mentionnent le fait qu'il existe localement des lacunes en termes de données nécessaires à de bonnes prévisions dans les plans d'aménagement — taux de recrutement, taux de mortalité, etc (Picard and Gourlet-Fleury, 2008; Gourlet-Fleury et al., 2013; Groenendijk et al., 2014), et faute de données, des données moyennes issues de la littérature sont utilisées (Picard and Gourlet-Fleury, 2008).

Compte tenu de la grande variabilité des types de forêts à l'échelle de l'Afrique centrale (White et al., 1983), augmenter le nombre de dispositifs de suivi de la dynamique semble nécessaire. L'amélioration des connaissances à une échelle locale du fonctionnement de l'écosystème mais également des espèces individuellement, permettrait d'adapter les directives de GDF d'une forêt à l'autre, ce qui assurerait de manière plus forte la durabilité des exploitations (Putz et al., 2008).

L'installation de nouvelles parcelles de monitoring pour l'étude à long terme prend tout son sens. L'intérêt d'améliorer nos connaissances sur le fonctionnement des forêts humides d'Afrique, est grand. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude.

Chapitre 2

Cadre de l'étude et objectifs

2.1 Projet P3FAC

Financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), le projet **P3FAC** — **Partenariat Public Privé pour gérer durablement les Forêts d'Afrique Centrale** (co-financement : COMIFAC, Cirad, NATURE +, GxABT-ULiège, ATIBT), développe ses activités dans 5 pays d'Afrique centrale : le Cameroun, le Congo, le Gabon, la RCA et la RDC. L'intérêt du projet se porte sur les caractéristiques de ces pays. Ils sont ensemble, couverts par environ 160 millions d'hectares de forêts denses humides. 18,9 millions d'ha étaient aménagés en 2011-2012, soit 55% de la superficie attribuée dans 4 pays. L'Afrique centrale représenterait 10% de la biodiversité mondiale. La flore des forêts de basse altitude compterait plus de 10 000 espèces de plantes supérieures dont 3000 seraient endémiques.

Le projet P3FAC s'inscrit sur une durée de 5 ans (2016-2021), dans la lignée du projet DynAffor (www.dynaffor.org), qui a lui aussi été financé par le FFEM (novembre 2012 à juillet 2017). P3FAC partage de manière globale les mêmes grandes lignes de conduite pour ses objectifs que DynAffor. Le projet DynAffor a par ailleurs été prolongé de deux ans pour cloturer certaines activités scientifiques (fin 2019).

Le projet P3FAC fait travailler en étroite collaboration différents organismes internationaux, qu'ils soient publics ou privés, comme le nom du projet l'indique. Les quatre principaux organismes de recherches bénéficiaires du financement sont le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), la faculté de l'Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, exclusivement consacrée aux sciences du vivant et à l'ingénierie biologique, l'association belge NATURE + (www.natureplus.be), active depuis 2000 et réputée pour son expertise dans la gestion durable des ressources naturelles des milieux tropicaux et l'Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (ATIBT), référent technique et scientifique de la ressource bois tropical et interlocuteur privilégié des professionnels de la filière.

P3FAC est basé sur la mise en oeuvre de 5 composantes techniques : (i) consolider et étendre la stratégie de recherche initiée dans le cadre du projet DynAffor, (ii) évaluer l'impact des activités anthropiques sur la dynamique des populations d'essences productrices de bois d'oeuvre et de produits forestiers non-ligneux (PFNL), (iii) proposer des pratiques sylvicoles et d'aménagement adaptées à différents types forestiers, (iv) intégrer les résultats scientifiques sur la dynamique des forêts d'Afrique

centrale dans les décisions politiques et (v) assurer un échange d'informations entre les trois bassins tropicaux (Afrique, Amérique et Asie).

In fine, ce projet permettra d'améliorer la durabilité des aménagements forestiers en déterminant de nouvelles normes d'exploitation, afin de maintenir un potentiel de régénération et d'adaptation des espèces suffisant après l'exploitation.

2.2 CEB - Precious Woods

Precious Woods Gabon - Compagnie Equatoriale des Bois S.A. (PW-CEB) est un des organismes privés partenaires du projet P3FAC. PW-CEB est une entreprise d'exploitation du bois qui a été créée en 1946 à Doussala dans le sud du Gabon. Elle s'est ensuite déplacée en 1987 à Bambidie, dans la région de Lastoursville. En 2007, elle a été intégrée au Groupe Suisse Precious Woods, après avoir appartenu au Groupe Thanry pendant 18 ans. Le groupe Precious Woods possède également une filiale bois au Brésil (Precious Woods Amazon).

En 2007, le groupe acquiert Tropical Gabon Industrie (TGI), une unité de transformation de bois située près de Owendo. Les deux sociétés sont basées à Libreville et emploient environ 830 personnes. Dans l'est du Gabon, la PW-CEB gère une concession forestière de 596 800 hectares et récolte environ 240 000 mètres cubes de grumes an⁻¹. PW-CEB possède également une unité de transformation sur leur site de Bambidie qui comporte une scierie à okoumés (SOK) et une scierie bois divers (SBD) ainsi qu'une future scierie pour l'azobé (fin 2019).

Precious Woods Gabon a été la première entreprise au Gabon à opérer selon les principes de la foresterie durable. Comme Precious Woods Amazon, Precious Woods Gabon a joué un rôle de premier plan dans ce domaine. La société a élaboré le premier plan global de gestion forestière en Afrique centrale, qui a d'ailleurs influencé le code forestier national.

Precious Woods Gabon fournit à son personnel et à leurs familles un logement, de l'électricité, de l'eau, des services médicaux de base, ainsi que des possibilités d'achats et des activités de loisirs simples. En outre, les communautés locales reçoivent des contributions financières en fonction de la quantité de bois exportée. Les membres de la communauté évaluent les besoins locaux les plus importants et développent des projets qui sont ensuite soutenus par Precious Woods.

La société a reçu le certificat du Forest Stewardship Council (FSC) mi-octobre 2008, qui garantit une gestion durable des forêts. Depuis fin 2017, PW-CEB possède également le certificat de Pan African Forest Certification (PAFC), reconnu par le PEFC. Depuis 2009, toute la chaîne de production de PW-CEB et TGI est certifiée FSC.



PRECIOUS WOODS



2.3 Objectifs

L'objectif global de cette étude est d'implanter un dispositif robuste de suivi de la dynamique des forêts sempervirentes gabonaises et établir une description de l'état initial de la structure, de la composition et de la diversité forestière.

D'après Picard and Gourlet-Fleury (2008), l'installation d'un tel dispositif doit rencontrer les normes suivantes :

1. être installé dans une zone d'étude de minimum 400 ha ;
2. cumuler un total d'une vingtaine d'hectares sous la forme d'une ou de plusieurs parcelles permanentes (4 ha, 6.25 ha ou 9 ha), permettant d'accéder à une première estimations des paramètres de dynamique ;
3. être situé dans une forêt vierge de toute exploitation.

Cette dernière condition est aujourd'hui très difficile à atteindre au Gabon. En effet, une large majorité des forêts est attribuée à des exploitants forestiers. La plupart ont déjà été exploité par le passé sous différentes formes de permis. Il était donc primordial pour le projet P3FAC de définir une zone non perturbée récemment, localisée dans une concession sous gestion durable et dont l'attributaire acceptait un sacrifice d'exploitation de 400 ha. En outre, une partie du dispositif doit passer en exploitation dans les années à venir afin de quantifier les impacts de l'exploitation. La seule entreprise répondant à tous ces critères était PW-CEB, plus précisément l'AAC 2017, située dans l'UFA 2 et l'UFG 4.

Pour pouvoir répondre à l'objectif global, le travail ayant des objectifs et activités différents mais complémentaires, il s'est articulé en deux parties. Ces deux parties et leurs objectifs sont :

1. Partie II : Pré-inventaire

L'objectif principal de cette partie est de réaliser un plan d'échantillonnage dans une zone historiquement perturbée par l'exploitation forestière. Étant donné que peu d'étude spécifie la manière de prendre en compte les perturbations dans l'installation d'un dispositif, cette démarche est très utile pour la foresterie tropicale actuelle. Afin de répondre à l'objectif, les activités à suivre sont :

- a) Établir une description détaillée de l'état initial de la zone d'étude comprenant :
 - i. l'étude de la structure spatiale et diamétrique des essences commerciales basée sur les données de pré-inventaire ;
 - ii. la caractérisation de la composition (dominance et gradient floristique) ;
 - iii. l'identification des perturbations ;
- b) Établir l'identification des zones représentatives et la sélection finale des parcelles qui seront suivies pour la dynamique.

2. Partie III : Inventaire

L'objectif principal de cette partie est d'établir une description approfondie de l'état initial des parcelles de suivi de la dynamique sur la zone d'étude. En répondant à cette finalité, cette étude participe à la caractérisation des forêts tropicales humides africaines, encore trop méconnues localement aujourd'hui. Les activités spécifiques de ce travail sont :

- a) Établir une description complète de la forêt échantillonnée via :
 - i. la description de la structure forestière (allométrie et attributs) ;
 - ii. la caractérisation de la composition et de la diversité au sein des peuplements ;
 - iii. l'établissement des liens entre la structure et la diversité.
- b) Comparer les résultats obtenus localement pour les parcelles avec d'autres références régionales.

Chapitre 3

Présentation de la zone d'étude

Les parties II et III s'articulant toutes les deux autour de la même zone d'étude, ce chapitre comprend une description générale de cette zone, servant de référence pour les deux parties du travail.

3.1 Localisation, climat et autres facteurs abiotiques et biotiques

La zone d'étude du projet P3FAC est située dans la province de l'Ogooué-Lolo, au sud-est du Gabon. Cette zone allouée au projet est localisée au coeur de la Concession Forestière d'Aménagement Durable (CFAD) de la CEB; plus précisément :

- au sein de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) 2 d'Okandja ;
- au sein de l'Unité Forestière de Gestion (UFG) 4 ;
- au sein de l'Assiette Annuelle de Coupe (AAC) 2017.

La zone P3FAC couvre une surface de 839 ha — 429 ha pour le bloc-nord et 410 ha pour le bloc-sud (voir Tableau 3.1).

TABLE 3.1 – Surface de la zone d'étude et des subdivisions de la CFAD

Zone	Surface (ha)	% de la CFAD
Bloc-Sud	410	0.06%
Bloc-Nord	429	0.07%
Zone P3FAC	839	0.14%
AAC 2017	8 185	1.3%
UFG 4	42 964	7.2%
UFA 2	198 734	33%
CFAD	596 822	100%

Située en plein coeur de la zone intertropicale, la CFAD est caractérisée par un climat équatorial humide avec hiver sec de type Aw selon la classification des climats de Köppen-Geiger (Beck et al., 2018). La région subit une alternance de deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches (dont la "petite" est une simple perforation des précipitations) avec une pluviométrie annuelle variant entre 1 600 et 1 800 mm par an pour le nord et le sud de la CFAD respectivement (Gonmadje et al., 2012). Les précipitations manifestent deux pics (de février à mai et de septembre à novembre), séparés par un relativement important (de juin à août) et un moins long (de décembre à janvier) intervalle sec. Les

précipitations moyennes mensuelles sont de manière générale inférieures à 100 mm mais leur distribution tout au long de l'année sont peu uniformes, avec des décalages annuels de l'ordre d'un mois pour le début des saisons des pluies (White et al., 1983). Les températures moyennes annuelles oscillent entre 21°C et 28°C.

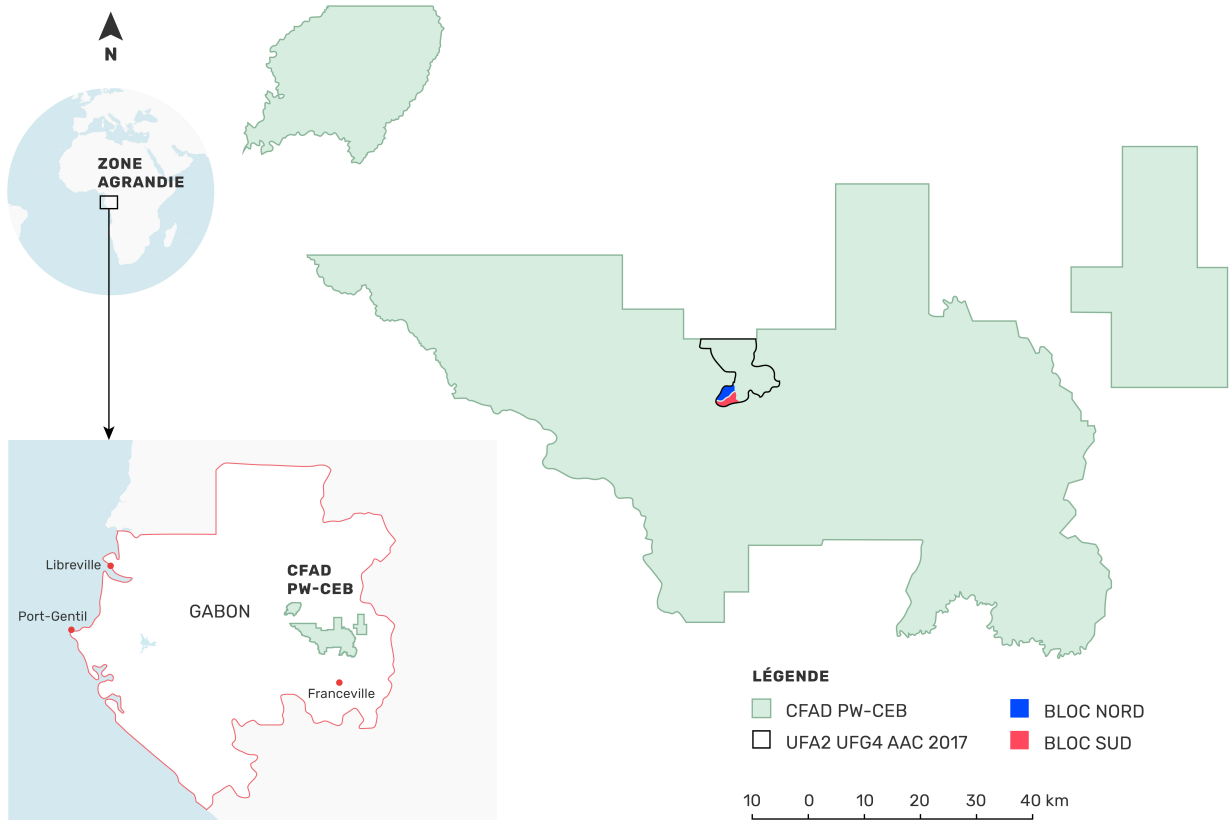


FIGURE 3.1 – Localisation de la zone d'étude composée du bloc sud et nord au sein de la CFAD CEB-PW.

La zone P3FAC repose sur l'assise précambrienne supérieure (Protérozoïque) du bassin de Franceville (Teisserenc and Villemin, 1989) qui recouvre une aire de 35 000 km² environ, entre la région de Lastourville et Franceville (Weber, 1968). Ce bassin est bien connu par l'industrie minière pour ses riches quantités en manganèse et en uranium, qui ont été formées pendant le Paléoprotérozoïque dans les roches métasédimentaires et ultramafiques archéennes (Bouchot et Feybesse, 1996 cités par Milesi et al. (2006)). La concession de la CEB se trouve à cheval entre les types de sol cambisol et Ferralsol (Jones et al., 2013). Selon Jones et al. (2013) :

- les **cambisols** sont de jeunes sols généralement dépourvus d'horizons distincts et ne présentant que de légères traces de processus de formation du sol. Des minéraux argileux y sont dominants ;
- les **ferralsols** sont des sols fortement lessivés qui ont perdu la quasi-totalité de leurs minéraux altérables. Leur composition est dominée par des oxydes d'aluminium, des oxydes de fer et de la kaolinite qui leur confèrent leur couleur typique rouge-jaune.

D'après Gillet (2017), les sols sur lesquels se situe la zone P3FAC sont des sols ferralitiques peu profonds, argileux, à gravolites de concrétions et de plaquettes (Guichard and Layaud, 1980) et les sols

dominants de la CFAD correspondent aux types de sols dominants associés à la forêt sempervirente à okoumé du Gabon.

La topographie de la région est relativement accidentée, constituée d'un ensemble de plateaux et de collines, qui ont été creusés au fil du temps par les nombreux cours d'eau les traversant comme l'Ogooué, la Lékoni, la Sébé, la Lassio, etc (Jeanmart and Demarquez, 2018). Les altitudes de la région oscillent entre 500 et 1000 mètres (Jones et al., 2013). La CFAD de la CEB présente de nombreuses crêtes et pentes fortes qui sont prises en grande considération lors des activités de prélèvement de bois de l'entreprise (Neve, 2019).

Le site se trouve au sein de la forêt tropicale humide sempervirente et est caractérisé par l'abondance particulière des espèces (i) *Scyphocephalum manni* de la famille des Myristicaceae et (ii) *Aucoumea klaineana* de la famille des Burseraceae (Demarquez et Jeanmart, 2004; cités par Haurez et al. (2014)). Selon les types floristiques du Gabon définis par Caballe, la CFAD se situe au sein de la forêt sempervirente de la zone centrale, caractérisée par les espèces comme *Aucoumea klaineana* (Burseraceae), *Julbernardia pelligriniana* (Caesalpinaceae), *Scyphocephalum manni* (Myristicaceae), *Pycnanthus angolensis* (Myristicaceae) et *Pentaclethra eetveldeana* (Mimosaceae) (Caballe, 1978; cité par Doucet (2003)). La végétation de la région appartient au groupe floristique "Afrique Central Humide" (*Wet CA*) définis par Fayolle et al. (2014).

La superficie de la concession étant relativement vaste à l'échelle du paysage, on y retrouve différents types de forêts décrits dans le plan d'aménagement de la CFAD en 2004. Sept types différents forestiers y sont décrits. La zone d'étude se trouve au sein du type forestier "forêt âgée à okoumé", qui est le type forestier majoritaire de la CFAD (figure 3.2).

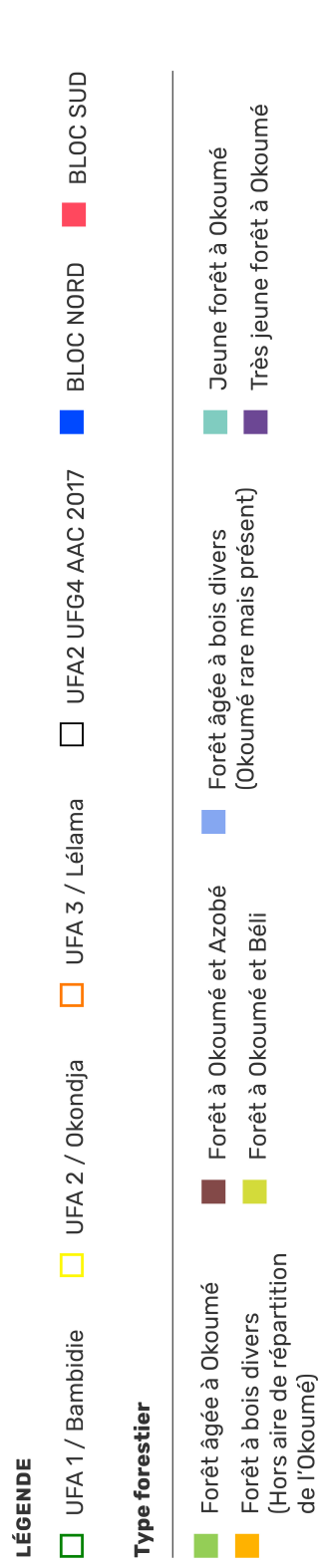
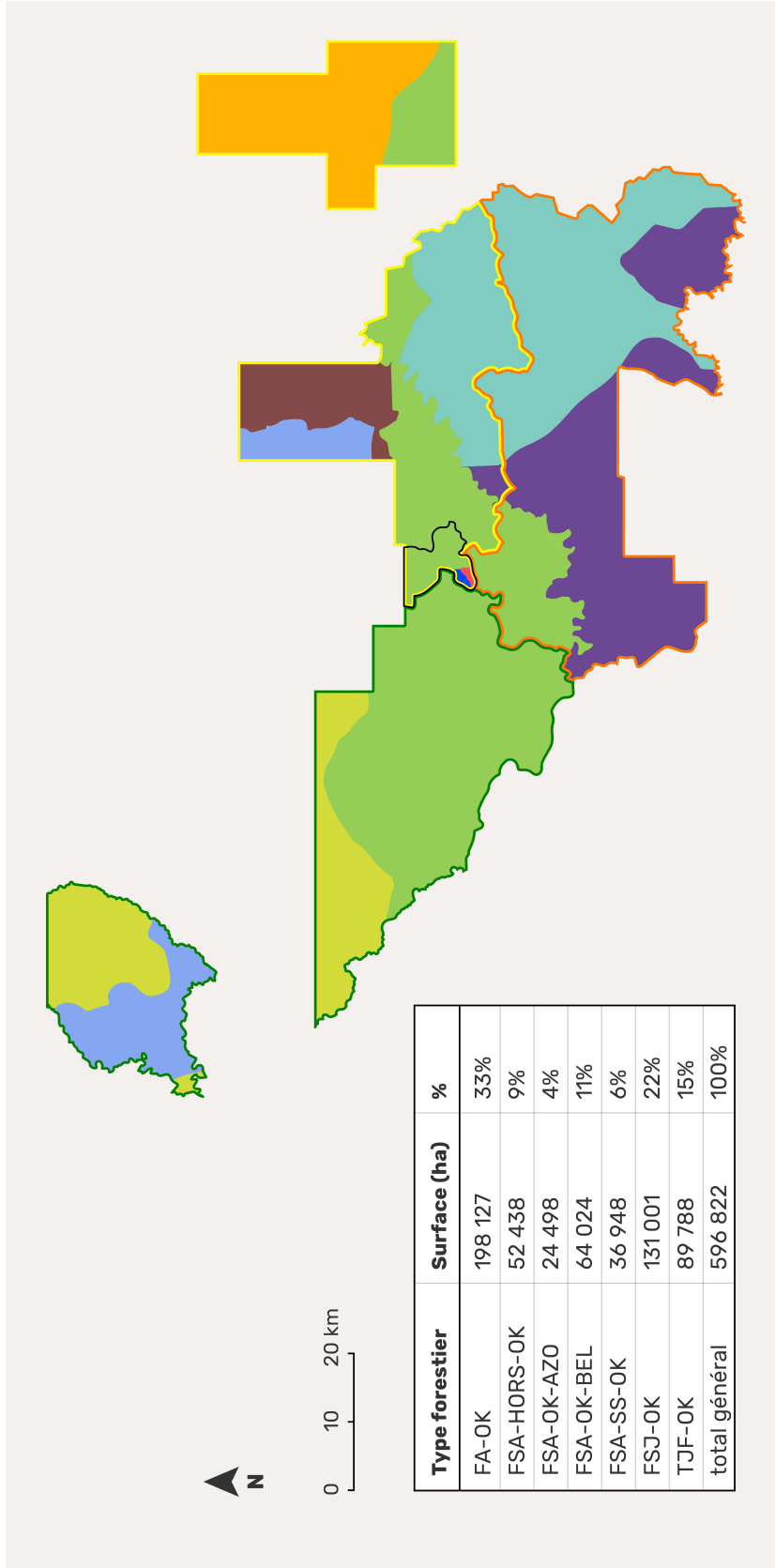


FIGURE 3.2 – Stratification forestière et délimitation des UFA de la CFAD PW-CEB (Source :Jeanmart and Demarquez (2018))

Deuxième partie

Pré-inventaire

Préambule

Installée depuis 1987 à Bambidie au Gabon, la Compagnie Equatoriale des Bois (CEB) réalise déjà sa deuxième rotation, qui équivaut au deuxième passage de l'exploitation sur un même massif forestier naturel. Partenaire du projet P3FAC, la société a alloué une zone d'environ 800 ha qui permettra d'installer un dispositif d'inventaire permanent à long terme amenant à étudier la dynamique de la forêt ainsi que les impacts de l'exploitation sur cette dynamique. La zone P3FAC est divisée en deux blocs équisurfaces dont, respectivement, l'un sera exploité fin de l'année 2019 et le deuxième ne subira plus de passage d'exploitation durant la période complète du projet (2019-2024). Les deux blocs compteront le même nombre de parcelles au sein de leur aire et les données pourront être comparées entre zone exploitée vs zone non exploitée. De manière quantitative, l'influence de l'exploitation forestière sélective sur la dynamique de la forêt pourra être modélisée.

L'état initial des parcelles d'inventaire se veut être le plus intact possible afin de représenter une forêt "naturelle". Dans cette perspective, toutes traces de perturbation doivent être identifiées afin d'être exclues de la sélection des zones d'inventaire.

Ces perturbations ont différentes origines. Elles peuvent être (i) anthropiques — traces d'exploitation comme pistes de débardages, ou (ii) résultats de phénomènes naturels — zone de chablis, zone d'accumulation d'eau, etc. Toutefois, les perturbations naturelles ne sont identifiées et exclues que si elles forment une zone singulière au sein de la matrice générale du paysage.

Cette deuxième partie traite des différentes méthodes mises en oeuvre afin de répondre à l'objectif principal de cette partie qui est de réaliser un plan d'échantillonnage dans une zone historiquement perturbée par l'exploitation forestière.

Chapitre 4

Matériel et méthodes

4.1 Données de pré-inventaire

Dans le cadre du projet P3FAC, un pré-inventaire complet de la zone d'étude a été réalisé par Sylvafrica-Gabon, une filiale de l'ONFI, spécialisée dans la prestation de services liés à la gestion des écosystèmes forestiers d'Afrique Centrale. La mission de l'équipe de Sylvafrica, dirigée par son administrateur Laurent Tellier, a été de réaliser un inventaire complet de la zone d'étude pour 34 essences définies par le projet P3FAC et AFRITIMB, avec un seuil d'inventaire de 10 cm à hauteur de poitrine. Des corrections ont ensuite été apportées par l'équipe recherche-sylviculture de PW-CEB, encadrée par Dr. Jean-François Gillet (expert désigné pour le projet AFRITIMB). L'équipe composée de 11 personnes, a eu pour mission (i) d'identifier chaque pied correspondant à une des essences d'intérêt en clouant une étiquette sur le bas du tronc, (ii) de géoréférencer chacun des pieds au sein de la zone d'étude grâce à un GPS et (iii) de mesurer le diamètre de chacun de ces pieds à hauteur de poitrine (130 cm).

Cet inventaire a débuté le 26 janvier 2018 pour se clôturer en janvier 2019. Un nombre total de 23 386 arbres pour 34 essences différentes a été fourni par l'inventaire de Sylvafrica sur la zone P3FAC. Pour chacun de ces arbres, un numéro d'étiquette unique a été attribué et le diamètre mesuré à 130 cm de hauteur (ou au dessus des contreforts).

Différents éléments de **cartographies** ont également été fournis par la société Sylvafrica. Les éléments suivants ont été identifiés lors de l'inventaire et fournis sous format *shapefile* (.shp) :

- l'emprise générale des routes et pistes de débardages traversant la zone P3FAC ;
- la position de tous les pieds inventoriés ;
- l'emprise des blocs nord et sud de la zone d'étude.

A ces données de Sylvafrica ont été assemblées les données fournies par la CEB :

- l'emprise des limites de l'AAC 2017 ;
- l'emprise du réseau hydrographique ;
- l'emprise des zones de marécages ;
- l'emprise des routes secondaires.

4.2 Analyses de données

Le traitement et l'analyse des données ont été menés dans les environnements *Open Source* que sont le langage R et RStudio (Version 1.1.456 – © 2009-2018 RStudio, Inc) ainsi que QGIS (2.18.23 with GRASS 7.4.1).

Les packages *rgdal* et *rgeos* ont été utilisés pour l'analyse spatiale des données sur RStudio. Pour les analyses de composition, les packages *reshape*, *ade4* ainsi que *vegan* ont été utilisés.

4.2.1 Structure

Distribution spatiale et diamétrique des espèces La distribution spatiale ainsi que la structure diamétrique ont été examinées pour chacune des 34 espèces inventoriées dans le pré-inventaire.

Pour la **distribution spatiale**, la densité en tiges des espèces commerciales (n=34) a été calculée pour l'ensemble de la zone P3FAC inventoriée par l'équipe Sylvafrica. Grâce aux données GPS assignées à chacun des arbres, leur projection spatiale a pu être réalisée sur la zone d'étude. Ensuite, la surface terrière **G** a pu être calculée pour chaque arbre sur base du diamètre mesuré et sommée ensuite à l'échelle de la zone (839 ha) pour obtenir la surface terrière à l'hectare. La formule 4.1 est associée au calcul de la surface terrière **G** :

$$G = \frac{\pi}{4} \sum_{n=1}^N (d_i)^2 \quad \text{Surface terrière (4.1)}$$

, où **G** est la surface terrière totale de la zone inventoriée (m²), **N** est le nombre total d'arbres sur la zone et **d** le diamètre mesuré à hauteur de poitrine.

Pour la **structure diamétrique** des espèces commerciales de la zone, des classes de diamètres de 10 cm d'amplitude ont été attribuées à chacun des arbres à partir du seuil d'inventaire de 10 cm. La dernière classe regroupe les arbres dont le diamètre est supérieur à 100 cm.

4.2.2 Composition

Le nombre d'espèces de l'inventaire étant défini et limité par le cadre du projet, une analyse de la composition complète de la zone ne peut être réalisée sur base du pré-inventaire. Cependant, un bilan général de la composition parmi les espèces sélectionnées par le projet peut être réalisé et rentrer dans le processus décisionnel du choix de l'emplacement des parcelles. Il est nécessaire d'identifier les carrés de 1 ha qui sont le plus représentatifs de la zone pour construire les parcelles de 4 ha.

Afin d'analyser la composition, deux matrices d'abondance ont été construites, une première en fonction de la densité de tige **N** (x carrés de 1 ha * y espèces) et une deuxième en fonction de la surface terrière **G** (x carrés de 1 ha * y espèces). La composition de la zone a chaque fois été étudiée selon ces deux paramètres.

La **dominance** des espèce a été observée. L'essence dominante pour chaque carré de 1 ha a été déterminé sur base de la densité de tiges et de la surface terrière. Ces dominances ont été reprojctées

sur la carte de la zone d'étude.

Pour observer les **gradients floristiques** des données de pré-inventaire, il a été décidé de réaliser une ordination. L'ordination permet de mettre la végétation en relation avec des gradients environnementaux ou encore des axes. Dans notre cas, c'est sur des axes que la contribution des espèces aux relevés va être observée/analysée. Une Analyse Non Symétrique des Correspondances (NSCA) proposée par Lauro et al. (1984) a été utilisée pour l'étude des gradients floristiques. Avec la NSCA, les espèces ont un poids uniforme égal à l'unité, une forte importance est accordée aux espèces abondantes et l'effet des espèces rares est limitée. La NSCA se base sur l'observation de la manière dont les données sont récoltées (les relevés sont choisis par l'observateur alors que les espèces ne le sont pas).

Pour cela, la fonction `dudi.nsc()` du package *ade4* a été utilisée. Elle a été appliquée une fois à la matrice d'abondance en densité de tige **N** et une fois à la matrice d'abondance en surface terrière **G**.

Une **analyse de dissimilarité** a été réalisée sur l'ensemble de la zone à partir des données de pré-inventaire. Cette analyse permet d'exprimer pour chaque carré de 1 ha, son niveau de représentativité par rapport à un carré moyen fictif. Le carré moyen fictif est calculé comme étant le carré type qui représenterait le mieux la zone.

Pour l'analyse de la dissimilarité, l'indice de dissimilarité de *Bray-Curtis* a été employé (Bray and Curtis, 1957). Cet indice permet d'évaluer la dissimilarité entre deux échantillons donnés, en terme d'abondance d'espèces présentes dans chacun de ces échantillons (Bray and Curtis, 1957). La méthode Bray-Curtis consiste en (i) calculer une matrice des distances, (ii) de sélectionner deux points de références (réels ou artificiels) pour déterminer la direction de chacun des axes et de (iii) projeter tous les échantillons sur chacun de ces axes par leur relation respective aux deux points de référence (Beals, 1984). L'indice de Bray-Curtis est un indice robuste pour détecter des gradients écologiques sous-jacents (Faith et al., 1987).

La fonction `vegdist()` du package *vegan* a été employée pour calculer l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis (équation 4.2).

$$d[jk] = \frac{\sum(x[ij] - x[ik])}{\sum(x[ij] + x[ik])} \quad \text{Indice de dissimilarité (4.2)}$$

, où $x[ij]$ et $x[ik]$ font référence à la quantité d'espèces (colonne) i et de sites (lignes) j et k .

Dans sa version binaire, l'équation 4.2 devient :

$$\frac{(A + B - 2 * J)}{(A + B)} \quad \text{Indice dissimilarité binaire (4.3)}$$

La dissimilarité a été compilée sur une carte à l'échelle de la zone d'étude. Chaque carré de 1 ha présente sa valeur de dissimilarité.

4.3 Identification des perturbations

Tous les éléments cartographiques fournis ont été reprojétés sur RStudio dans le système de coordonnées spatiales WGS 84 / UTM zone 33S (EPSG :32733).

Afin de pouvoir travailler à l'échelle de 1 ha, correspondant à l'échelle qui sera utilisée pour les parcelles de 4 ha (formées de 4 carrés de 1 ha), une grille (*grid*) de 100 m * 100 m a été superposée à la zone d'étude. Il a également été décidé de superposer la grille au réseau déjà existant de layon d'inventaire mis en place par la société. De cette manière, il n'y a pas de risque qu'un ancien layon traverse une unité d'échantillonnage d'une parcelle en son milieu. De plus, les layons d'inventaires pré-existant étant espacés de 200 m de l'ouest vers l'est, les parcelles auront soit leur layon central soit leurs layons extérieurs (bordures) déjà ouverts en fonction de leur emplacement, permettant un gain de temps lors de la phase de terrain.

La grille couplée aux autres données cartographiques a permis d'identifier les carrés de 1 ha dits perturbés et ceux dont la surface est inférieure à 1 ha pour ensuite les exclure. Ont été exclus de la grille, (i) toutes les cellules d'un ha ayant une intersection avec les routes, pistes de débardages, (ii) toutes les cellules ayant une superficie inférieure à un ha (les cellules bordant les limites des emprises des blocs sud et nord). Le réseau hydrographique ainsi que les zones de marécages ont également été superposés aux autres informations mais n'ont pas été pris en compte pour l'exclusion systématique de cellules de la grille, leur densité étant trop élevée et éliminant quasi l'intégralité des cellules s'ils sont pris en compte. Ces informations ont néanmoins été prises en considération par rapport au choix final des parcelles, afin qu'elles ne soient pas installées au milieu d'un marécage ou dans un endroit où plusieurs cours d'eau pourraient les traverser.

Chapitre 5

Résultats

5.1 Données de pré-inventaire

Le pré-inventaire des 34 essences définies par le projet a permis le recensement d'un total de 28 386 arbres. La gamme de diamètre varie de 10 cm (seuil d'inventaire) à 200 cm, maximum atteint par un Andoung 66 *Bikinia grisea* Wieringa (Fabaceae - Caesalpinioideae) et un Aiélé *Canarium schweinfurthii* Engl. (Burseraceae). Le diamètre moyen du pré-inventaire est de 42.4 cm et la surface terrière moyenne par arbre est de 0.33 m². La surface terrière à l'hectare moyenne en essences commerciales est de 11.3 m².ha⁻¹ pour la zone d'étude. L'essence dont le diamètre moyen est le plus élevé (100.6 cm) est l'Okan *Cylicodiscus gabunensis* Harms (Fabaceae - Mimosoideae) et pour le plus faible (23.7 cm), le Limbali *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (Fabaceae - Caesalpinioideae). En terme de nombre de tiges, les espèces les plus représentées sont dans l'ordre d'importance les Limbali *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (n=5169), l'Ozigo *Dacryodes buettneri* (Engl.) H. J. Lam (n=4883), l'Omvong *Dialium pachyphyllum* Harms (n=4242), le Béli *Julbernardia pellegriniana* Troupinet (n=2450) et l'Okoumé *Aucoumea klaineana* Pierre (n=2203), cumulant ensemble plus de 50% du nombre de pieds total. La densité moyenne en essences commerciales est de 34 tiges.ha⁻¹. En terme de surface terrière moyenne par hectare, les 3 essences dominantes sont l'Ozigo (1.71 m².ha⁻¹), l'Omvong (1.61 m².ha⁻¹) et l'Okoumé (1.55 m².ha⁻¹) (Tableau 5.1). Les 34 essences du pré-inventaire représentent 31 genres parmi 11 familles botaniques (Fabaceae, Burseraceae, Ochnaceae, Rubiaceae, Meliaceae, Ebenaceae, Myristicaceae, Moraceae, Sterculiaceae, Sapotaceae). Largement devant, les familles les plus représentées sont les Fabaceae et les Burseraceae cumulant 70% du total de tiges de la zone d'étude.

TABLE 5.1 – Essences les plus représentées lors du pré-inventaire en nombre de tige et surface terrière

Abondance	Ordre	Espèce	Famille
en nombre de tige (ha ⁻¹)	1	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (6.2)	Fabaceae
	2	<i>Dacryodes buettneri</i> (5.8)	Burseraceae
	3	<i>Dialium pachyphyllum</i> (5.6)	Fabaceae
en surface terrière (m ² .ha ⁻¹)	1	<i>Dacryodes buettneri</i> (1.71)	Burseraceae
	2	<i>Dialium pachyphyllum</i> (1.61)	Fabaceae
	3	<i>Aucoumea klaineana</i> (1.55)	Burseraceae

5.2 Structure spatiale et diamétrique

Différents types de structure spatiale sont observées parmi les essences du pré-inventaire. Le Limbali est caractérisé par une distribution spatiale très grégaire, la majorité des individus étant répartie sur un faible pourcentage des cellules de la grille (8%) (figure 5.1a). Sa structure diamétrique (Figure 5.1a) suit une courbe dit en "J inversé", montrant une tendance forte en régénération. Les Omvong et les Ozigo montrent eux, une distribution spatiale beaucoup plus homogène sur l'ensemble de la zone d'étude, avec 70% des cellules présentant les deux espèces (Figures 5.1b et 5.1c). Cependant, leurs structures diamétriques suivent au même titre que le Limbali, une courbe en "J inversé".

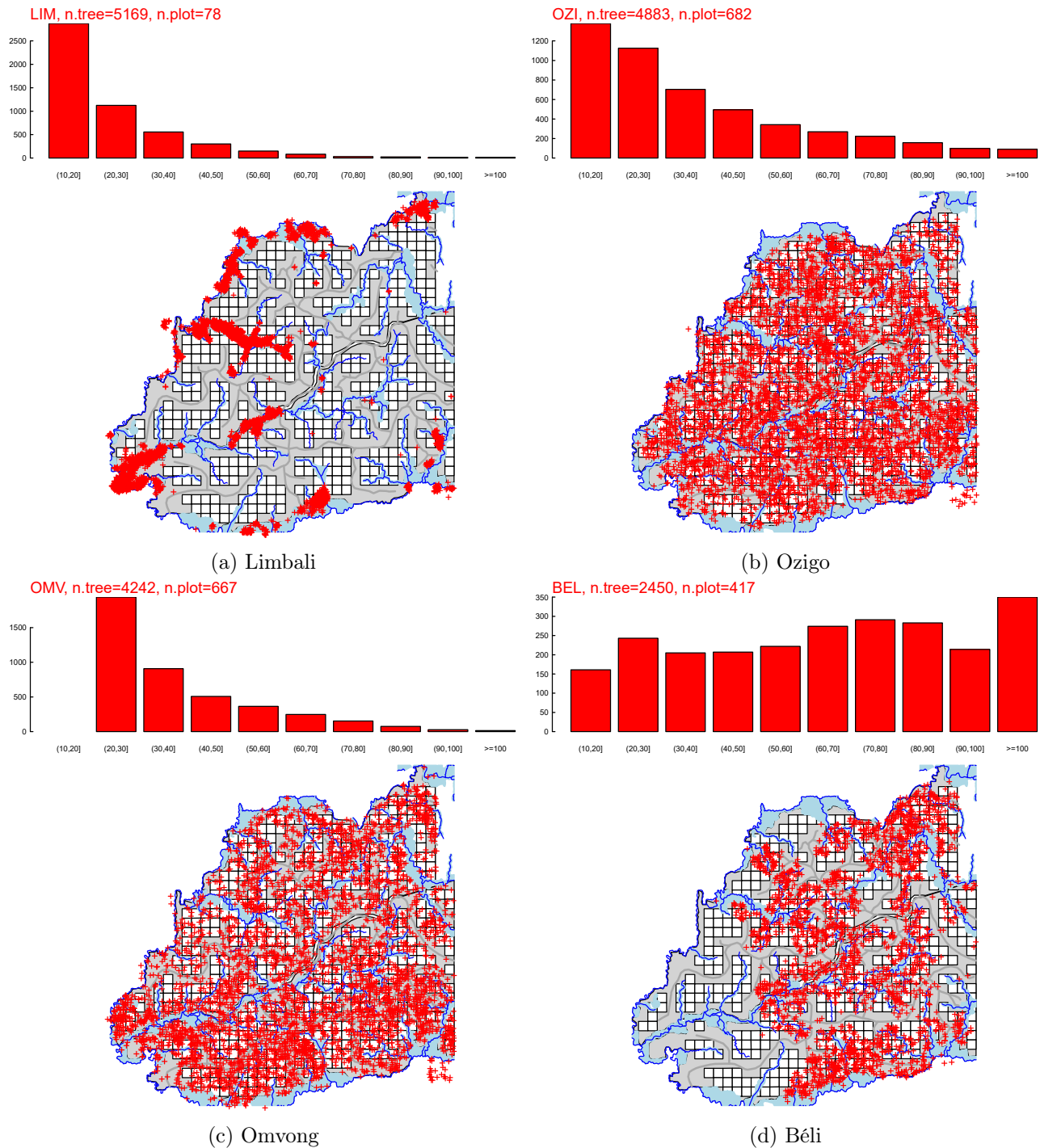


FIGURE 5.1 – Structure spatiale et diamétrique des 4 essences du pré-inventaire les plus abondantes en nombre de tige

Les essences Gombé et Ebiara Minkoul sont fortement liées à la distribution du Limbali sur la zone d'étude (Annexe A1). Leurs structures spatiales forment des agrégats sur les zones humides. De plus, leurs structures diamétriques sont de même type que celle du Limbali.

La structure spatiale du Béli (Figure 5.1d) est particulièrement marquée. L'essence est totalement absente de la pointe ouest, pourtant répartie de manière homogène sur le reste de la zone d'étude. Elle évite cependant particulièrement bien les anciennes pistes de débardage. Sa distribution diamétrique se démarque de celle des 3 essences décrites précédemment, étant relativement uniforme avec un grand nombre de tiges présentes dans la dernière classe de diamètre.

La classe de diamètre (10-20cm] concernant l'Omvong (figure 5.1c) est absente car lors du pré-inventaire, le seuil d'inventaire a été remonté volontairement à 20 cm pour cette espèce extrêmement abondante. L'effectif de l'Omvong est donc sous-estimé. Si l'on compare le nombre de tiges à partir du seuil de 20 cm pour toutes les essences, les essences dominantes en nombre de tiges sont dans l'ordre d'importance l'Omvong ($n=4715$), l'Ozigo ($n=3658$), le Limbale ($n=2511$), le Béli ($n=2311$) et l'Okoumé ($n=2163$). On observe que le Limbali passe de la première position à la troisième. On peut supposer que si l'Omvong avait été inventorié totalement à partir de 10 cm, il aurait été l'essence dominante.

La cinquième essence la plus abondante en nombre de pieds est l'Okoumé, une essence commerciale particulièrement importante au Gabon (Terheggen, 2011). Elle se démarque par sa dominance en nombre de tiges dans les plus grandes classes de diamètres, présentant 725 tiges au dessus de 90 cm de diamètre (33%) (figure 5.2). Sa distribution spatiale est homogène sur toute la zone d'étude (voir Annexe A.1). L'Omvong et le Béli se partagent les classes de diamètres centrales avec une dominance respectivement sur les classes allant de 20 à 60 cm pour l'Omvong et de 60 à 90 pour le Béli (Tableau 5.2). L'Iroko *Milicia excelsa* (Welw.) C. C. Berg (Moraceae) et l'Azobé *Lophira alata* Banks ex C. F. Gaertn. (Ochnaceae) sont les deux essences parmi le pré-inventaire à présenter les plus faibles densités, toutes deux avec 3 pieds seulement sur la zone d'étude complète. Cependant, la plupart des essences en dehors du top 5 présentent un nombre de pieds total proportionnellement faible.

L'analyse de la distribution spatiale et diamétrique a été réalisée pour les 34 essences du projet mais n'est pas détaillée complètement dans ce travail. Les détails pour les autres essences sont disponibles dans l'Annexe A.1 de ce document. L'annexe permet d'avoir une vue d'ensemble de la structure des données du pré-inventaire.

Le tableau 5.2, disponible à la page suivante, reprend les informations sur le nombre de tiges inventoriées pour chaque espèce, pour chaque classe de diamètre. Le nombre de tiges total par espèce est cumulé une fois par rapport à toutes les classes de diamètres (N_{tot}) et une fois à partir du seuil de 20 cm (N_{20}). Les valeurs maximales de chaque classe de diamètre sont soulignées en rouge.

TABLE 5.2 – Distribution des tiges de chaque espèce du pré-inventaire dans chaque classe de diamètre

Code	Nom scientifique	(10,20]	(20,30]	(30,40]	(40,50]	(50,60]	(60,70]	(70,80]	(80,90]	(90,100]	>100	N _{tot}	N ₂₀
A66	<i>Bikinia grisea</i>	42	38	42	39	43	55	53	50	30	70	462	420
ADK	<i>Irvingia gabonensis</i>	69	114	113	87	50	32	22	9	2	2	500	432
AGB	<i>Prioria balsamifera</i>	0	0	0	0	0	3	1	4	0	3	11	11
AIE	<i>Canarium schweinfurthii</i>	4	21	36	44	48	45	34	33	10	17	292	288
AZO	<i>Lophira alata</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	3
BEL	<i>Jubernardia pelligriniana</i>	161	243	205	207	222	274	291	283	214	350	2450	2289
BIL	<i>Naucllea diderrichii</i>	14	14	15	39	25	11	7	3	0	0	128	114
DAB	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	0	6	8	13	17	27	26	13	19	15	144	144
DIB	<i>Lovoa trichilioides</i>	0	1	3	0	1	3	4	4	3	7	26	26
DOB	<i>Afzelia bipindensis</i>	51	25	13	15	4	8	3	1	0	0	120	69
EBE	<i>Diospyros crassiflora</i>	2	8	7	1	1	1	0	0	0	0	20	18
EBM	<i>Berlinia confusa</i>	347	336	223	166	97	51	22	15	2	3	1262	915
EVG	<i>Klainedoxa gabonensis</i>	185	106	50	47	33	29	19	20	11	5	505	320
EVP	<i>Klainedoxa trillesii</i>	134	68	51	42	54	39	30	21	15	18	472	338
GOM	<i>Didelotia tetouzei</i>	325	244	130	55	36	9	7	2	1	1	810	485
ILO	<i>Pycnanthus angolensis</i>	4	22	10	25	47	55	31	21	12	1	228	224
IRO	<i>Miticia excelsa</i>	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3	3
IZO	<i>Testulea gabonensis</i>	109	87	64	65	78	69	32	5	2	0	511	402
KEV	<i>Guibourtia tessmannii</i>	1	2	3	1	7	6	6	10	11	9	56	55
KOS	<i>Entandrophragma candollei</i>	1	1	0	0	0	2	2	1	0	3	10	9
KOT	<i>Nesogordonia papaverifera</i>	3	5	7	12	5	2	0	0	0	0	34	31
LIM	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	2870	1125	557	301	149	82	31	24	15	15	5169	2299
MOA	<i>Baillonella toxisperma</i>	4	3	3	2	1	0	1	4	2	3	23	19
MOV	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	17	60	87	88	119	81	58	24	6	4	544	527
NIO	<i>Staudtia kamerunensis</i>	215	418	241	155	87	68	20	6	4	1	1215	1000
OKA	<i>Cylicodiscus gabunensis</i>	0	1	2	0	2	10	16	23	41	90	185	185
OKO	<i>Aucoumea klaineana</i>	55	169	207	183	171	172	257	264	216	509	2203	2148
OMV	<i>Dialium pachyphyllum</i>	NA	1940	908	508	365	248	153	76	29	15	4242	4242
OZI	<i>Dacryodes buettneri</i>	1378	1125	704	495	342	270	223	157	98	91	4883	3505
PAD	<i>Pterocarpus soyauzii</i>	66	55	43	29	36	50	61	38	27	41	446	380
PAO	<i>Bobgunnia fistuloides</i>	3	5	14	13	11	2	0	1	0	1	50	47
SAP	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	2	5	2	1	1	0	1	0	0	1	13	11
TAL	<i>Erythrophloeum suaveolens</i>	0	3	4	12	18	13	18	15	7	3	93	93
TCH	<i>Prioria oxiphylla</i>	106	137	143	104	95	71	55	33	24	21	789	683

5.3 Composition

La composition a été étudiée afin de localiser les zones les plus représentatives et y insérer les potentielles parcelles du projet. Comme mentionné dans les méthodes, la composition a été étudiée selon la densité de tige et la surface terrière. Les deux méthodes expriment les mêmes tendances, seuls les résultats par rapport à la densité de tige seront illustrés dans cette partie composition. Les résultats par rapport à la surface terrière sont disponibles à titre d'information dans l'Annexe A.2 de ce document.

5.3.1 Dominance

Premièrement, les essences dominantes pour chaque carré de 1 ha ont été identifiées. Les 3 essences le plus souvent identifiées comme dominantes sont dans l'ordre d'importance, l'Ozigo (n=243 carrés, 35% de la surface), l'Omvong (n=192 carrés, 27% de la surface) et le Béli (n=109 carrés, 15% de la surface). Ces résultats confirment les structures spatiales observées et décrites dans le point précédent pour les essences les plus abondantes (cf. 5.2). La dominance pour chaque carré a été compilée spatialement sur une carte (figure 5.2).

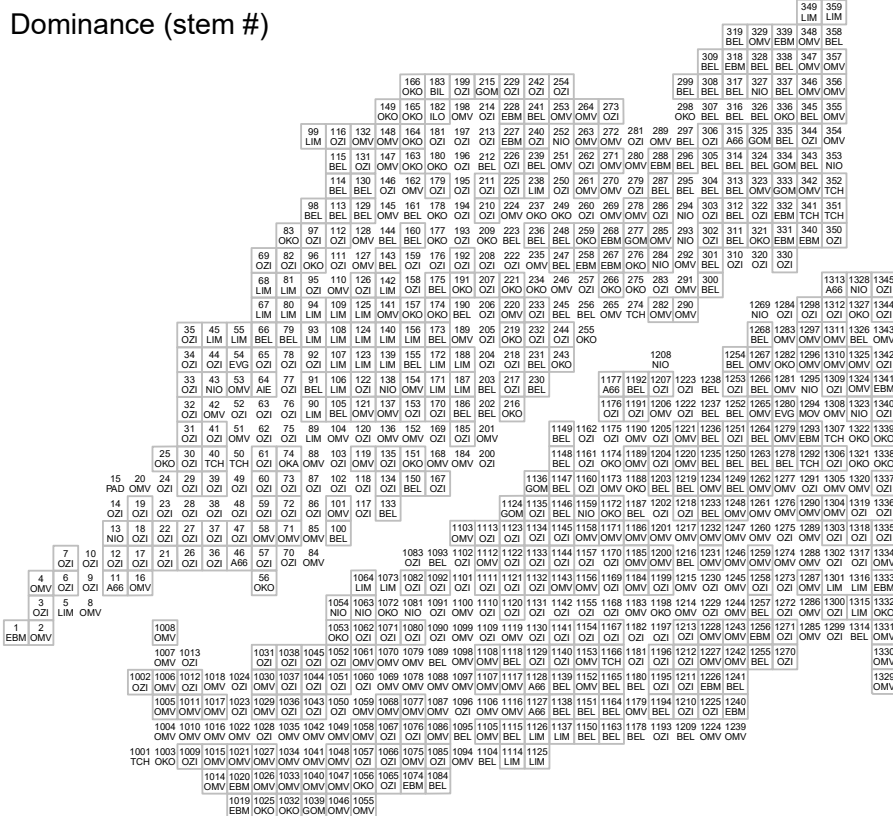


FIGURE 5.2 – Carte des essences dominantes pour chaque hectare de la zone d'étude

Vu la distribution spatiale grégaire du Limbali, observée au point 5.2, il a été décidé d'analyser plus précisément comment se répartissait la dominance du Limbali. Pour construire la carte, la dominance du Limbali a été définie lorsque l'essence était identifiée en tant que première ou deuxième essence dominante. Le Limbali étant une essence liée aux zones hydromorphes (Kambale et al., 2016), il a été décidé de définir des zones dites *Terra Firme* (TF) et *Non Terra Firme* (NTF), ces dernières qui représentent les zones dominées par le Limbali et par ailleurs hydromorphes. De la même manière que pour la carte 5.2, une carte représentant à quel type (TF vs NTF = Limbali) appartenait chaque carré

de 1 ha de la zone d'étude a été réalisée (figure 5.3).

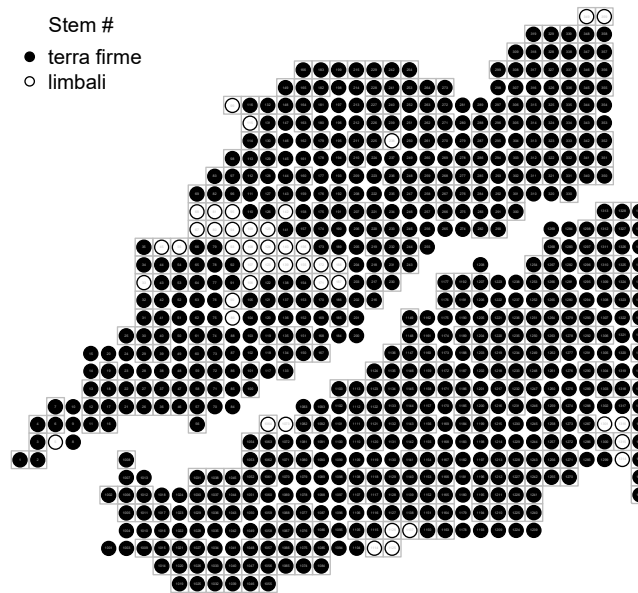


FIGURE 5.3 – Carte Terra Firme vs Non Terra Firme pour chaque hectare de la zone d'étude

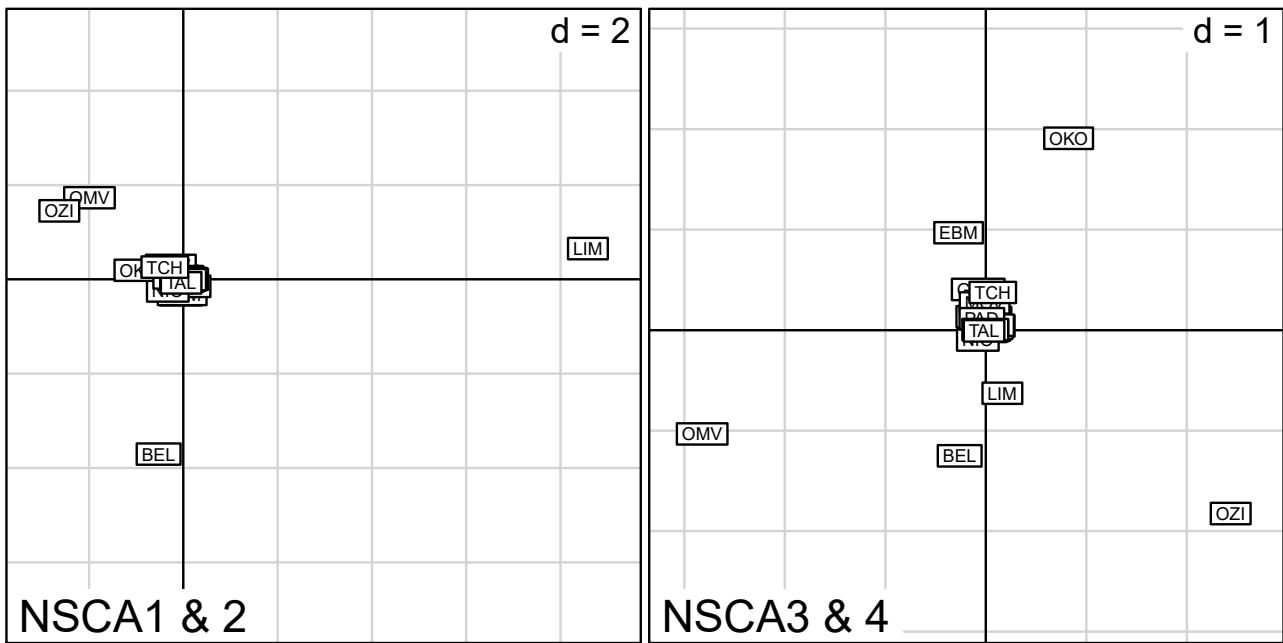
La dominance du Limbali apparaît clairement sur la carte 5.3 et fait le lien avec la distribution grégaire de l'essence. Les conglomérats de cercles blancs sur la carte 5.3, correspondent aux zones de fortes densité de Limbali observées sur la carte 5.1a et aux hectares dominés par le Limbali de la carte 5.2. Le Limbali est dominant sur 44 carrés dont 39 en tant que première essence et 5 en tant que deuxième. La zone *Non Terra Firme* représente au final 6% de la zone d'étude.

5.3.2 Gradient floristique

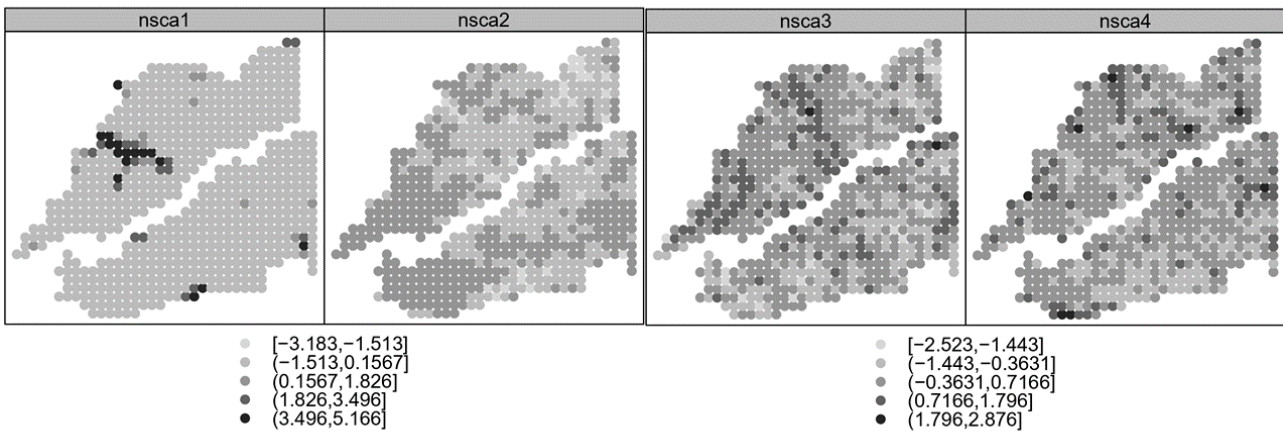
Pour observer les liens entre les différentes essences, une ordination a été réalisée. Une Analyse Non Symétrique des Correspondances (NSCA) a été appliquée sur la matrice d'abondance. Les résultats de l'ordination sont visibles sur la figure 5.4.

Quatre axes d'inertie ont été retenus pour observer l'ordination, ceux-ci expliquant 81,45% de la variabilité. Le premier axe explique à lui seul 53,11% de la variabilité. Il est tiré principalement et positivement par l'essence Limbali (LIM). L'opposition du Limbali sur l'axe 1 aux autres essences confirme sa répartition en agrégats denses en nombre de pied qui s'opposent aux répartitions homogènes sur la zone d'étude des autres essences. Plus le Limbali est présent, moins les autres essences seront abondantes. L'axe 2 explique lui 12,2% de la variabilité totale et est principalement tiré par le Béli (BEL) (négativement). Cette opposition du Béli aux autres essences correspond à sa différence de répartition très marquée entre la pointe ouest de la zone d'étude, où il est totalement absent, et le reste de la zone. Les axes 3 et 4 expliquent eux respectivement 9 et 7% de la variabilité totale. L'axe 3 est tiré de manière opposée par les Omvong (OMV) et les Ozigo (OZI), qui étaient pourtant réunis ensemble sur les axes 1 et 2. L'axe 4 est tiré par l'Okoumé d'un côté et le trio Ozigo, Béli, Omvong de l'autre. Toutes les autres essences sont de manière générale, réunies ensemble sur les ordinations.

Les valeurs des NSCA ont été projetées spatialement sur la zone d'étude (figure 5.4b) de telle manière que chaque hectare de la carte reprend la valeur de l'ordination respectif à l'axe concerné. Ces 4



(a)



(b)

FIGURE 5.4 – Résultats de la NSCA par rapport au nombre de tige (carrés de 1 ha * espèces inventoriées) sur les données du pré-inventaire. (a) Projection des essences sur les 4 premiers axes d’inertie et (b) Projection spatiale des valeurs des 4 axes de la NSCA sur la zone d’étude.

cartes permettent des faire le lien avec les résultats de la figure 5.1. Sur la NSCA 1 de la figure 5.4b, les valeurs les plus élevée de l’axe 1 représentée par les zone noires, coïncident avec une forte distribution du Limbali à cet endroit (Figure 5.1a). De la même manière, les valeurs les plus positives sur la NSCA 2 correspondent aux zones où le Béli est absent (figure 5.1d). Sur la NSCA3, les zones les plus foncées (positives) correspondent aux zones à forte densité en Ozigo et les zones les plus claires (négatives), aux zones à forte densité en Omvong. Les valeurs les plus positives de la NSCA 4 correspondent aux zones à forte densité en Okoumé.

À nouveau, les patrons spatiaux observés sur l’ordination (figure 5.4) correspondent aux observations faites précédemment sur la structure spatiale et sur la dominance des essences commerciales. Les patrons spatiaux sont surtout très marqués concernant les poches à Limbali et la zone d’absence du Béli.

5.3.3 Dissimilarité

Afin d'affiner notre analyse de la composition, une matrice de dissimilarité a été construite. Pour identifier les zones représentatives de la zone d'étude, comme définies par Picard et Gourlet-Fleury (2008), une référence moyenne doit être calculée. Dans notre cas, deux références nommées "ref" et "ref_non_lim" ont été calculées. Les références correspondent aux densités moyennes de chaque essence sur un carré de 1 ha. La référence "ref" a été calculée à partir de tous les carrés de la zone d'étude tandis que "ref_non_lim" a été calculée à partir des carrés de type *Terra Firme*. On peut observer sur la figure 5.5a le nombre de tige de chaque essence que l'on retrouverait sur un carré représentatif, dans les deux types de scénarios. À nouveau, les essences les plus abondantes correspondent aux essences dominantes identifiées dans les résultats de la partie 5.2 : l'Ozigo, l'Omvong, le Limbali et l'Okoumé. Seul le nombre de Limbali varie en fonction de la référence, prouvant qu'elle est quasi totalement exclu des zones *Terra Firme*.

L'analyse de dissimilarité a été réalisée sur tous les carrés deux à deux. On retrouve dans la matrice de dissimilarité la valeur de dissemblance de chaque carré par rapport au carré avec lequel il a été comparé selon l'indice de Bray-Curtis. Dans notre cas, c'est la dissemblance des carrés par rapport aux carrés de référence ("dissim_ref" et "dissim_ref_non_lim") ont été reprojctées respectivement sur deux cartes (figure 5.5b). Plus la valeur est proche de 1, plus le carré est dissimilaire à la référence et moins il est proche du carré le plus représentatif de la zone en terme de composition. Les zone les plus dissemblables (Figure 5.5b), correspondent à nouveau avec les zones à forte densité en Limbali. Les deux références exprimant les mêmes tendances, l'analyse selon "ref" est conservée pour la sélection des parcelles.

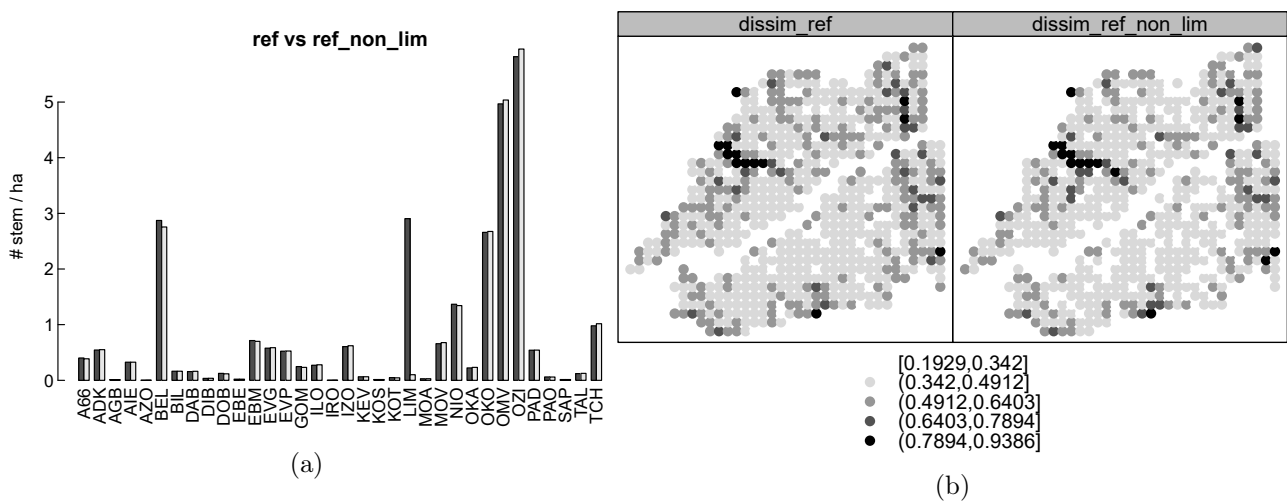


FIGURE 5.5 – Résultats dissimilarité. (a) Nombre de tiges de chaque essences dans les carrés de référence "ref" et "ref_non_lim" (b) Carte des valeurs de dissimilarité de chaque hectare par rapport aux deux carrés de référence.

5.4 Identification des perturbations

Le travail sur les données cartographiques et GPS fournis par les équipes de Sylvafrica et de PW-CEB a permis d'élaborer une carte (Figure 5.6) présentant toutes les perturbations recherchées. Chaque carré de 1 ha de la carte possède un identifiant unique. On observe les zones de marécages en bleu clair, les rivières en bleu foncé et le réseau d'anciennes pistes de débardage en orange. Les valeurs de dissimilarité de chaque hectare ont également été ajoutées sur la carte. Elles permettent d'observer directement quels carrés sont les moins représentatifs de la zone.

Par rapport à la grille de maille 100 m * 100 m appliquée sur la zone d'étude, 47% des carrés ont été exclus après soit l'identification de leur intersection avec une piste de débardage ou si leur surface était inférieure à 1 ha. 291 cellules ont été identifiées comme ayant une intersection avec les pistes et 220 comme étant inférieure à 1 ha en surface, soit 30% et 22% respectivement de la grille de départ. Les marécages couvrent une surface totale de 91.9 ha sur les deux blocs, soit environ 10% de la zone d'étude. Un total de 32.6 km de réseau hydrographique a été relevé. Les rivières intersectent avec 273 carrés, soit 61% de la grille finale. Entre les blocs nord et sud passe 5.45 km de route et la zone d'étude présente un total de 19.4 km de pistes de débardages.

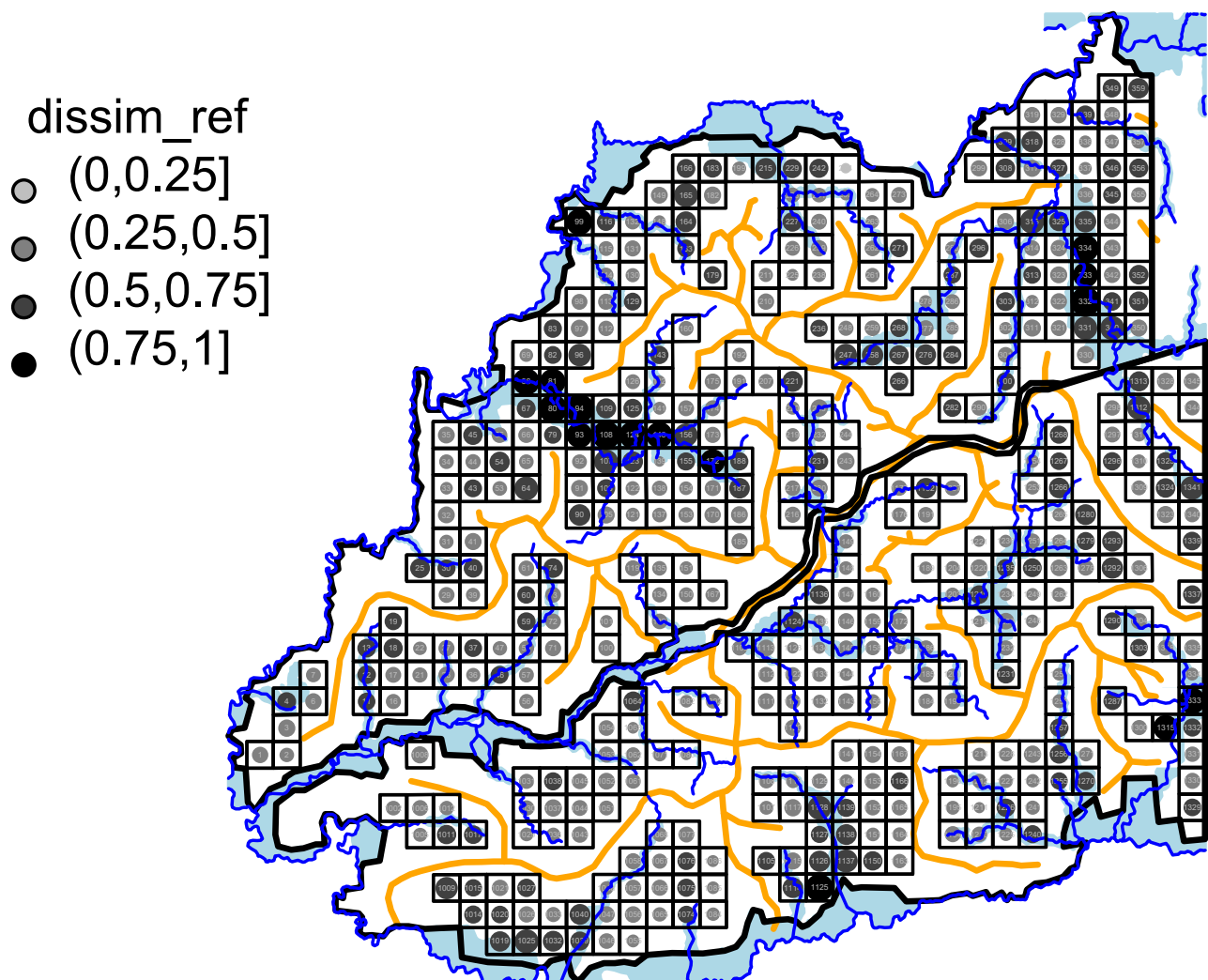
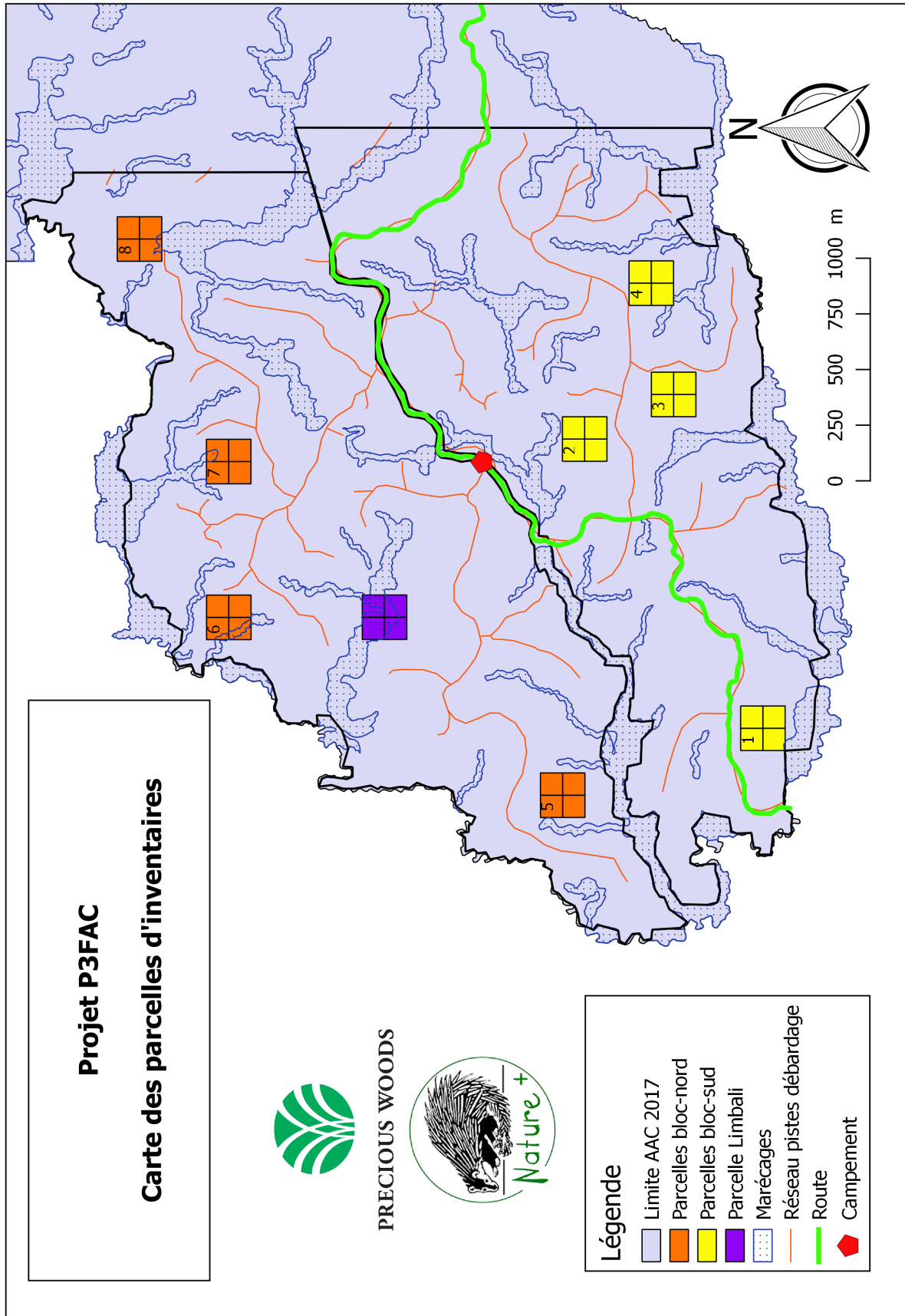


FIGURE 5.6 – Carte des perturbations et valeurs de dissimilarité des carrés de la zone d'étude.

5.5 Résultat final : sélection des parcelles d'inventaire du projet P3FAC

La sélection finale des parcelles de suivi à long terme de la dynamique du projet P3FAC a été réalisée sur la carte de la figure 5.6. Les choix ont été pris pragmatiquement, en tenant compte des différentes informations liées aux contraintes présentes sur la zone. Les deux objectifs principaux étaient de (i) éviter les zones perturbées et (ii) choisir les parcelles les plus représentatives de la zone d'étude. Toutes les combinaisons de 4 carrés conjoints deux à deux, évitant les perturbations et présentant les plus faibles valeurs de dissimilarité ont été retenus. La carte présentant la sélection des parcelles est disponible à la page suivante (figure 5.7).

Au total, 9 parcelles ont été choisies : quatre pour le bloc sud, quatre pour le bloc nord et une supplémentaire située dans le bloc nord. Cette parcelle supplémentaire est la parcelle "Limbali". Cette parcelle est installée en zone marécageuse afin de pouvoir obtenir des données de dynamiques sur ce milieu particulier, dominé par le Limbali. Les parcelles 1 et 5 sont placées dans la zone où le Béli est absent pour avoir des données sur ce milieu particulier de la zone. Toutes les parcelles à l'exception de la parcelle "Limbali" sont situées sur des zones *Terra Firme*. Effectivement, le projet voulant étudier l'impact de l'exploitation sur la dynamique, il faut que les parcelles soient situées là où les machines peuvent théoriquement passer pour extraire le bois. Pour rappel, le bloc sud sera exploité fin d'année 2019 tandis que le bloc nord restera vierge d'exploitation, en guise de témoin. La comparaison des données provenant des deux blocs permettra de quantifier l'impact de l'exploitation sur la dynamique des peuplements.



Chapitre 6

Discussions

6.1 Données de pré-inventaire

Les résultats observés sur les données de pré-inventaire montrent une forte abondance concernant certaines essences commerciales importantes comme l’Okoumé, le Béli, le Niové, l’Izombe, etc. Parmi ces essences, certaines montrent des signes de **déficit de régénération**. Une essence comme l’Okoumé présente une population déséquilibrée, avec un déficit en juvéniles et une accumulation d’individus de grand diamètre (voir Annexe A.1). Cette observation rejoint les résultats présentés par Engone Obiang et al. (2011) concernant l’Okoumé au Gabon. Les autres essences du pré-inventaire montrant un déficit de régénération sont l’Okan, le Kévazingo *Guibourtia tessmannii* (Harms) J. Léonard et le Dabéma (Annexe A.1). Toutes sont des Fabaceae, étant soit héliophile longévive ou semi-héliophile. Leurs structures sont comparables à celle obtenue par Bourland (2013), pour une autre Fabaceae, également à tempérament héliophile et longévive — l’Assaméla/Afromosia *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen.

Certaines essences du pré-inventaire présentent une abondance très faible. Cette observation peut être expliquée par le fait qu’elles se situent sur la **limite de leurs aires de distributions optimales**. Les essences faisant partie de la famille des Meliaceae sont particulièrement faibles en abondance sur la zone d’étude : seulement 3 pieds pour le Dibétou *Lovoa trichilioides* Harms, 10 pour le Kossipo *Entandrophragma candollei* Harms et 13 pour le Sapelli *Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Sprague. Ces espèces sont présentes dans les forêts denses humides sempervirentes mais en beaucoup plus faible abondance que dans les forêts semi-décidues, situées plus au nord. La densité relative de cette famille est plus élevée en RCA, au Cameroun et Sao-Tomé (Doucet, 2003), contrairement au Gabon où les Fabaceae (sous-famille Caesalpinioideae) sont dominantes. Le faible nombre de pieds de Moabi *Baillonella toxisperma* Pierre (Sapotaceae) est expliqué par la même raison (Meunier et al., 2015; Doucet et al., 2009). Malgré une aire de répartition très large et couvrant tout le Gabon pour l’Iroko (Moraceae) (Daïnou et al., 2012), seulement 3 pieds sont retrouvés sur la zone d’étude. À nouveau, les abondances les plus élevées pour cette essence sont observées au niveau des forêts humides semi-décidues (Meunier et al., 2015). Engone Obiang et al. (2011) décrit également une hétérogénéité spatiale très forte concernant la densité de l’Iroko.

6.2 Structure spatiale et composition

L’observation la plus marquante de cette partie est la **mono-dominance de l’essence Limbali** sur certaines zones marécageuses de la zone d’étude. Ces observations confirment cette tendance aujour-

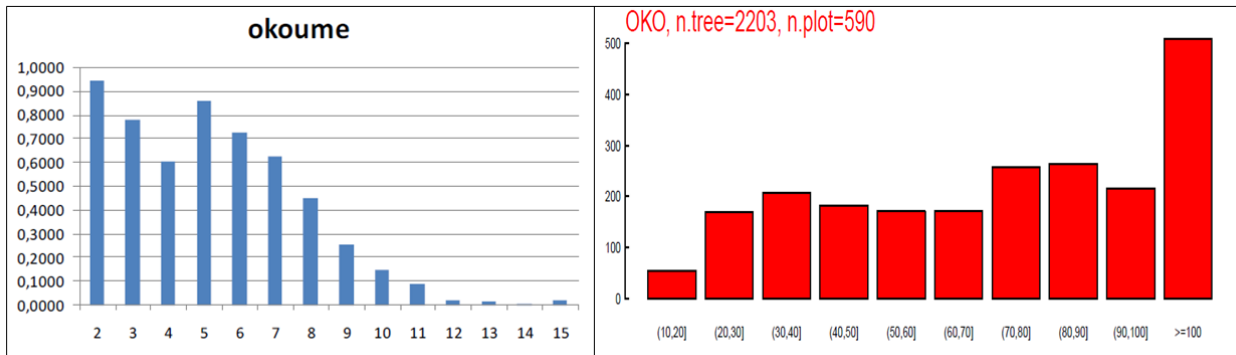
d'hui bien connue et décrite par différentes recherches (Hart, 1995; Peh et al., 2011; Katembo et al., 2018). Le Limbali est une espèce grégaire qui a tendance à être mono-spécifique sur certaines zones. On la retrouve généralement à proximité des cours d'eau et sur sols inondables (Meunier et al., 2015), comme c'est le cas sur la zone d'étude P3FAC. Deux essences sont particulièrement liées au Limbali : le Gombé *Didelotia letouzeyi* Pellegr. et l'Ebiara Minkoul *Berlinia confusa* Hoyle — toutes deux appartiennent à la sous-famille des Caesalpinioideae. Les deux espèces sont souvent présentes sur les bords de rivière et dans les bas-fonds (Meunier et al., 2015). L'Ebiara Minkoul forme au même titre que le Limbali, des peuplements grégaires. Cependant, le Gombé n'est pas caractérisé comme étant une espèce grégaire (CJB, 2019).

La **distribution scindée du Béli** entre l'ouest et l'est de la zone d'étude est également une observation intéressante ressortant de l'analyse de la structure spatiale. Le Béli est décrit comme une essence semi-héliophile, dont les fruits sont des gousses ligneuses et dont le mode de dispersion des graines est la ballochorie (autochorie) (Doucet, 2003). Ce mode de dissémination rend la dispersion de l'espèce limitée. On pourrait supposer que le gradient de colonisation de l'espèce est lent dû à son mode de dispersion, ce qui expliquerait l'absence total du Béli dans la pointe ouest de la zone d'étude. Les données récoltés sur les parcelles 1 et 5 donneront sans doute des éléments de réponse à cette question.

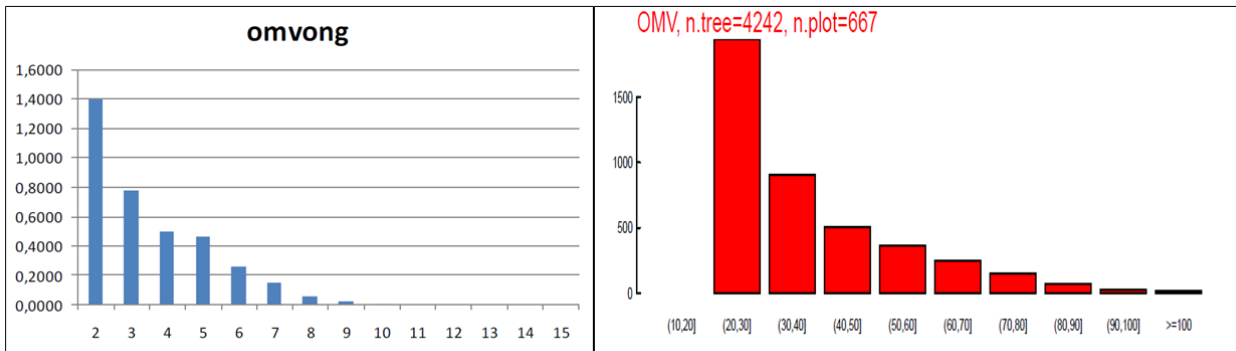
En termes de composition, quelques espèces dominent à nouveau la zone. Le Limbali par son caractère grégaire domine quelques poches. Les Omvong, les Béli et les Ozigo sont également dominants, fait cohérent compte tenu du type de forêt qui défini par Caballe (1978) (cité par Doucet (2003)) comporte beaucoup d'espèces de la sous-famille des Caesalpinioideae et de la famille des Burseraceae. Le Limbali est l'essence qui tire le plus le gradient floristique (NSCA et dissimilarité), à nouveau par son caractère grégaire.

6.3 Structures diamétriques du Plan d'Aménagement

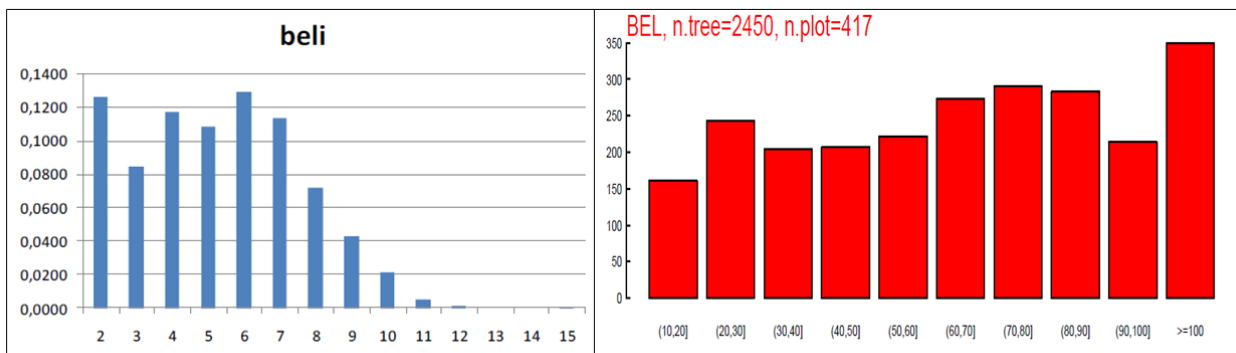
Lorsque l'on s'intéresse au Plan d'Aménagement de PW-CEB pour l'UFA 2 d'Okandja, on peut comparer les structures diamétriques qui y sont présentées pour quelques essences d'intérêt commercial. Quelques essences décrites dans le Plan d'Aménagement pour l'UFA 2 et communes avec le pré-inventaire P3FAC sont décrites à la figure 6.1.



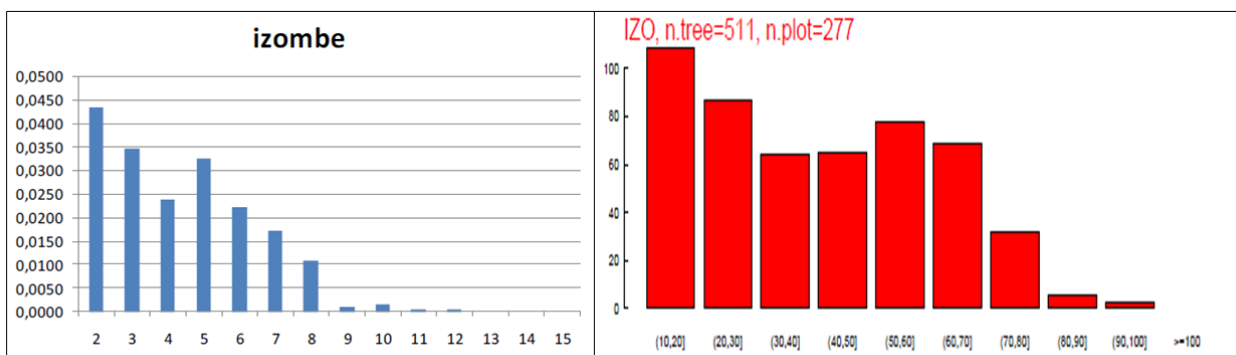
(a) Structure diamétrique de l'Okoumé



(b) Structure diamétrique de l'Omvong



(c) Structure diamétrique du Béli



(d) Structure diamétrique de l'Izombe

FIGURE 6.1 – Structure diamétrique de 4 essences commerciales du plan d'aménagement (bleu) vs pré-inventaire P3FAC (rouge)

La figure 6.1a présente la structure diamétrique de l'**Okoumé** pour l'UFA 2 et celle de la zone d'étude P3FAC. La structure présentée par la zone d'étude montre un déséquilibre dans la population, avec un déficit de régénération. Cependant, la structure diamétrique pour l'UFA 2 montre plutôt un stock important de petits diamètres, reflétant une quantité importante d'Okoumé juvéniles sur l'UFA 2. Elle montre également un stock important dans les classes de diamètres moyens. La zone d'étude ne semble donc pas représentative de l'UFA 2 pour l'Okoumé. Cette observation est tout à fait logique compte tenu que la surface de l'UFA 2 soit composée à $\pm 50\%$ par de la forêt âgée à Okoumé et $\pm 50\%$ par de la de la jeune forêt à Okoumé (figure 3.2). La distribution diamétrique de la zone d'étude est représentative de la forêt âgée à Okoumé, puisqu'elle présente une proportion importante de tiges de grand diamètre.

L'**Omvong** présente la même distribution diamétrique dans l'UFA 2 et la zone d'étude P3FAC (figure 6.1b) : une courbe en J inversé, fréquente chez les essences schiaphiles et tolérantes à l'ombrage comme l'Omvong. Ce type de distribution est associé à une bonne régénération mais une mauvaise reconstitution de l'essence, ce qui est un désavantage sur le court terme. La distribution diamétrique de l'Omvong pour la zone d'étude est représentative de celle de l'UFA 2.

Le **Béli** qui est une essence abondante sur la zone d'étude, présente une distribution diamétrique relativement similaire à celle associée à l'UFA 2 (figure 6.1c). Dans les deux cas, la distribution des diamètres est relativement uniforme. La courbe pour l'UFA 2 est légèrement différente par le fait que l'abondance diminue pour les plus grandes classes de diamètre, alors que sur la zone d'étude, la dernière classe de diamètre est forte en nombre de tiges. Cette distribution relativement uniforme peut-être expliquée par le fait que le Béli, étant une espèce grégaire, forme parfois des peuplements très denses (Meunier et al., 2015). La zone d'étude est représentative par rapport à l'UFA 2 pour le Béli.

Finalement, l'**Izombe** dans la zone d'étude présente une distribution diamétrique très similaire à celle de l'UFA 2 : une structure de population décroissante avec un léger déficit en tiges dans une ou plusieurs classes de diamètre. Ce type de structure indique également une régénération naturelle abondante. L'Izombe étant une essence pionnière longévive, elle germe et croit aux profits de trouées dans la canopée mais est capable de survivre longuement à l'ombre du sois-bois. L'exploitation d'une essence présentant ce type de structure ne devrait pas affecter son maintien sur le long terme. La distribution diamétrique de l'Izombe dans la zone d'étude est bien représentatif de celle de l'UFA 2.

Des différences et des similitudes de distribution diamétrique sont observées entre la zone d'étude P3FAC et l'UFA 2 dans laquelle elle est située. Les différences sont principalement dues au fait que l'UFA soit située à cheval sur deux types de forêt et que la distribution des diamètres de certaines essences (comme l'Okoumé particulièrement) réponde de manière différentes en fonction de ces types. Cependant, d'autres essences présentent une distribution diamétrique similaire comme l'Izombe ou l'Omvong dont la distribution diamétrique est indépendante des types de forêts de l'UFA 2.

6.4 Perturbations et forêt secondaire

Finalement, les perturbations couvrent une grande proportion de la zone d'étude. Les **traces d'exploitation** comme l'ancienne route et les anciennes pistes de débardages sont des vestiges du premier

passage de l'exploitation. On observe que la zone d'étude est relativement fort fragmentée, malgré que le type d'exploitation soit sélectif. Cette fragmentation de la forêt intacte a d'ailleurs conduit à décider d'installer des parcelles d'inventaire de 4 ha et non de 9 ha, comme sur le dispositif d'inventaire à MBaïki au Congo, où la dynamique des peuplement ligneux a également été étudiée (Semboli, 2017).

Les structures diamétriques et les essences dominantes de la zone d'étude sont caractéristiques des forêts secondaires. Ce type de forêt correspond en général à des anciennes traces d'activités humaines comme l'agriculture sur brûlis. L'Okoumé étant une essence pionnière longévive, elle suit l'activité des humains qui par l'agriculture et le brûlis, créent des mises en lumière, lui permettant de s'y régénérer. Des traces de charbons de bois anthropiques ont été retrouvés à différentes profondeurs par le travail de caractérisation des sols de la zone d'étude Freycon (2017).

Troisième partie

Inventaire

Préambule

La **Partie II - Pré-inventaire** de ce travail nous a amené à finaliser le choix des emplacements de parcelles d'étude de la dynamique de la forêt, représentative de la zone d'étude. Cette nouvelle partie, **Partie III - Inventaire**, décrit le travail de terrain qui a découlé logiquement du travail réalisé sur la sélection des parcelles.

Une fois l'analyse des données pré-inventaire terminée, une mission de 3 mois sur la zone d'étude au Gabon a été envisagée de manière à démarrer l'installation ainsi que l'inventaire des parcelles du projet P3FAC. La mission a commencé le 9 mars 2019 pour se clôturer le 27 mai 2019. La mission a été accueillie par la société Precious Woods Gabon - Compagnie Equatoriale des Bois S.A. (PW-CEB), au sein de ses infrastructures à Bambidie et avec l'équipe NATURE+/PW-CEB, en charge du projet P3FAC. Durant toute la durée de la mission, à raison de 22 jours par mois de campement dans la zone d'étude, l'équipe PW-CEB et l'étudiant mémorant Yorick Van Hoef ont réalisé l'installation ainsi que l'inventaire de 3 parcelles, soit l'équivalent de 12 ha en plein.

Cette troisième partie illustre le travail réalisé sur le terrain mais également les analyses, les résultats et conclusions qui ont découlés de ces 3 mois de mission au Gabon et qui permettent de répondre à l'objectif principale de cette partie qui est, pour rappel, d'établir une description approfondie de l'état initiale des parcelles de suivi de dynamique de la zone d'étude.

Chapitre 7

Matériels et méthodes

7.1 Sélection des parcelles

L'analyse des données du pré-inventaire a permis de sélectionner les parcelles d'inventaire. Le travail décrit dans ce rapport a concentré ses efforts sur l'installation de parcelles dans le bloc sud du projet, qui est le bloc qui passera en exploitation fin d'année 2019.

Une visite de terrain sous la forme de prospection est effectuée en premier lieu, afin de vérifier la relative "homogénéité" des parcelles. Les parcelles sont vérifiées une à une. Cette prospection permet d'identifier si les parcelles choisies ne présentent pas une anomalie qui n'aurait pu être identifiée à partir des données de pré-inventaire et de la cartographie. Ces anomalies sont des chablis extrêmes, créant une zone de forêt particulière et non représentative ou des zones affectées par le biais "*forêt majestueuse*" (Phillips et al., 2004), également non-représentatives. Une traversée nord-sud de 200 mètres grâce aux anciens layons de pré-inventaire traversant la parcelle est effectuée. Sur ces transects, les zones de chablis et zones marécageuses sont identifiées et répertoriées. La parcelle est éliminée si elle présente un nombre trop important de ces caractéristiques. Le cas échéant, la parcelle est validée.

7.2 Protocole expérimental

Les parcelles d'inventaire ont été installées en suivant un protocole largement inspiré du Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo de Picard et Gourlet-Fleury (2008). L'installation des parcelles a suivi 2 grandes étapes : (i) l'ouverture des layons et matérialisation des quadrats et (ii) l'inventaire des parcelles. Une préparation préalable des outils d'encodage a été réalisé et est décrite au point 8.3.

7.2.1 Délimitation des parcelles

Les parcelles sélectionnées doivent être délimitées afin de matérialiser physiquement leur position. Les limites de ces parcelles sont définies à partir du quadrillage de maille 1 ha effectué pour l'étape d'emplacement des parcelles. La typologie des parcelles d'inventaires a été définie comme suit : chaque parcelle de 4 ha est divisée en 4 carrés de 1 ha, qui sont eux-mêmes divisés en 25 quadrats de 400 m² (figure 7.1).

Premièrement, l'équipe de délimitation se rend au coin sud-ouest de la parcelle avec les informations GPS. A partir de la position de ce point, l'équipe observe si ce coin se situe sur un layon de

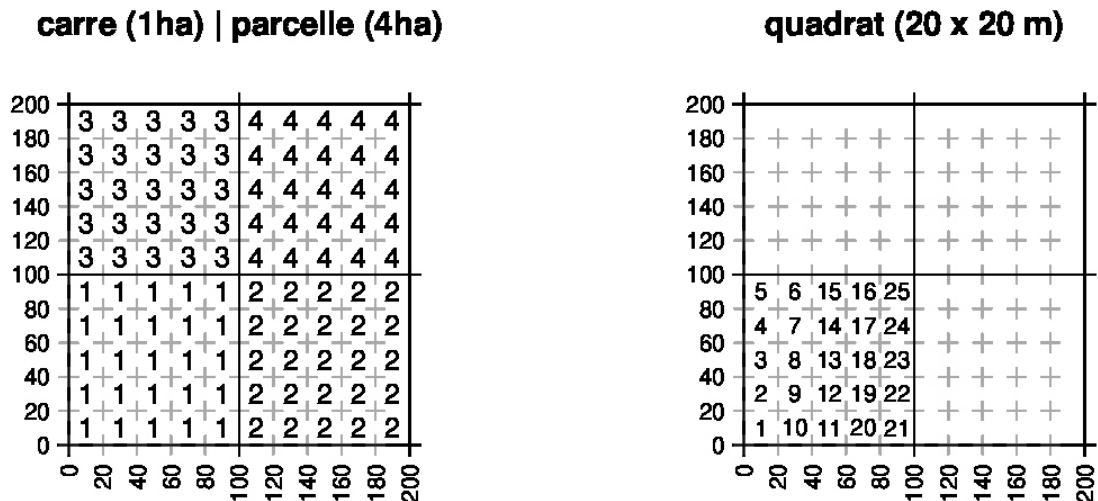


FIGURE 7.1 – Schéma du design des parcelles.

pré-inventaire nord-sud ou non. Si oui, le layon nord-sud est utilisé comme référence sur 200 mètres pour être la bordure ouest de la parcelle. Le cas échéant, l'équipe se déplace de 100 mètres vers l'est pour rencontrer le layon d'inventaire qui servira de référence comme layon central de la parcelle. Cette méthode permet d'assurer le fait que les anciens layons ne traversent pas les unités d'échantillonnage des parcelles. Dans le premier scénario, l'équipe délimite le reste des bordures de la parcelle en ouvrant perpendiculairement au layon de référence un layon de 200 mètres, à partir du coin sud-ouest et nord-ouest respectivement (figure 7.2 Scénario 1). Elle ouvre ensuite un layon nord-sud qui passe au centre de la parcelle. La même chose est réalisée pour le layon central ouest-est. Dans le deuxième scénario (figure 7.2 Scénario 2), l'équipe démarre l'ouverture à partir de l'extrémité nord ou sud du layon central. A partir de là, elle ouvre perpendiculaire au layon central, sur 100 mètres la végétation (une fois vers l'est et une fois vers l'ouest). La délimitation de la parcelle est ensuite terminée comme dans le premier scénario. Afin d'effectuer ces ouvertures avec précision, une boussole *Topochaix* est utilisée. Des layons secondaires orientés sur l'axe sud-nord sont également ouverts tous les 20 m (figure 7.2). Ces layons doivent être moins larges que les layons principaux. Ils permettent de délimiter les quadrats situés dans les carrés. Des jalons sont positionnées tous les 20 m sur ces layons secondaires pour compléter cette délimitation.

Afin de pérenniser la matérialisation de la parcelle, les quatre coins extérieurs de la parcelle sont indiqués par des fosses, profondes d'environ 60 cm. La subdivision de la parcelle de 4 ha en 4 sous-parcelles de 1 ha est également matérialisée à l'aide de fosses qui prendront cette fois, des formes de "croix" (pour l'intersection centrale des 4 sous-parcelles) et de "T" (pour les contacts extérieurs des sous-parcelles). Ces différentes fosses serviront de points de repère permanents et aideront au repérage rapide des parcelles (Figure 7.3). Le sommet de la fosse en T indique la parallèle au layon de bordure, alors que le tronc du T indique la direction vers le centre de la parcelle (vers la croix centrale). Les coins sont localisés à l'aide d'un GPS.

Lors de cette étape de délimitation, une attention particulière doit être portée aux pentes. Afin de ne pas introduire de biais lors de l'analyse des données (spatialement) et lors d'une future étude par la

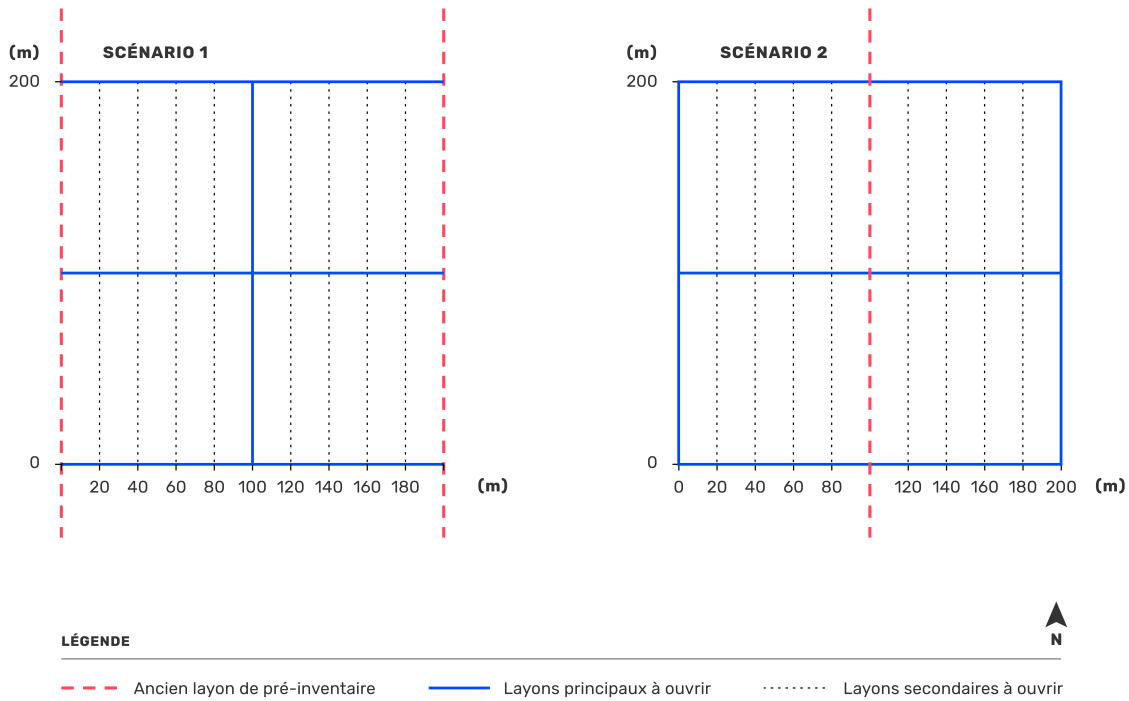


FIGURE 7.2 – Schéma d'ouverture des layons des parcelles.

téledétection, une **correction de pente** doit être effectuée. Il faut s'assurer que toutes les distances soient projetées à l'horizontale. Pour les pentes inférieures à 5° , ces corrections ne doivent pas être effectuées, le biais étant minime (Alder and Synnott, 1992). Même si des méthodes de correction via des formules permettent d'assurer cette tâche, une méthode plus pratique est utilisée pour ce projet. Les distances d'avancées étant de 20 m pour l'ouverture des layons, le décamètre utilisé pour mesurer cette distance devra toujours être tenu à l'horizontal par les opérateurs. De cette manière, la distance mesurée sera toujours horizontale. Cette méthode plus simple, présente une précision suffisante et surtout un gain de temps pour l'équipe d'installation.

Des numéros d'identification sont attribués aux carrés et quadrats des parcelles. La numérotation des carrés se fait de l'ouest vers l'est et pour les quadrats, du sud vers les nord puis du nord vers le sud, par virées (figure 7.1). Les numéros des quadrats pour chaque carré vont de 1 à 25.

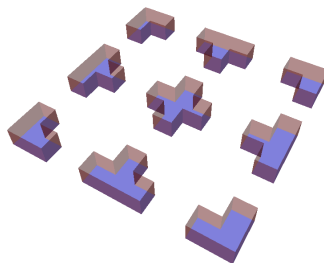


FIGURE 7.3 – Schéma des fossés délimitant les extrémités de la parcelle ainsi que des sous-parcelles. (Source : Picard N. Gourlet-Fleury S., 2008)

7.2.2 Positionnement des arbres

Le positionnement avec précision des arbres se base sur un quadrillage de maille de 20 m * 20 m, correspondant aux quadrats, lui-même superposé sur le quadrillage de maille de 1 ha, correspondant aux carrés (Figure 7.1).

Le positionnement des arbres aux seins des quadrats est réalisé de la manière suivante (figure 7.4) :

1. Deux décamètres sont positionnés au sol, en x (direction ouest-est) et en y (direction sud-nord), le long des layons intermédiaires. Une personne A se déplace au sein du quadrat et passe d'arbre en arbre ;
2. Deux personnes B et C se placent avec une boussole respectivement le long des deux décamètres ;
3. B (respectivement C) vise l'arbre X désigné par la personne A en se déplaçant jusqu'à ce que la droite XB (respectivement XC) soit perpendiculaire à la direction du layon sur lequel est superposé le décamètre ;
4. La lecture de la projection sur le décamètre donne la valeur x ou y relativement à l'origine du quadrat.

Cette méthode fournit directement les coordonnées cartésiennes des arbres avec précision. L'origine est toujours considérée au coin sud-ouest (pour la parcelle, les carrés et les quadrats). Les positions des arbres relatives aux quadrats seront ensuite compilées par rapport à la parcelle entière. De cette manière, la position finale de chaque arbre au sein de la parcelle sera disponible.

7.2.3 Marquage et identification des arbres

Le marquage des arbres permet de pérenniser leur identification sur le terrain. Les arbres suivis sont tous identifiés avec un numéro unique qui permet de suivre l'individu au long des années. Pour des raisons pratiques, la numérotation est dépendante des carrés. De cette manière, les numéros identifiant ne dépassent pas 3 chiffres, ce qui est un gain de temps. Afin de matérialiser le numéro d'identification des arbres, des pochoirs en zinc numérotés de 0 à 9 doivent être employés de sorte de pouvoir y

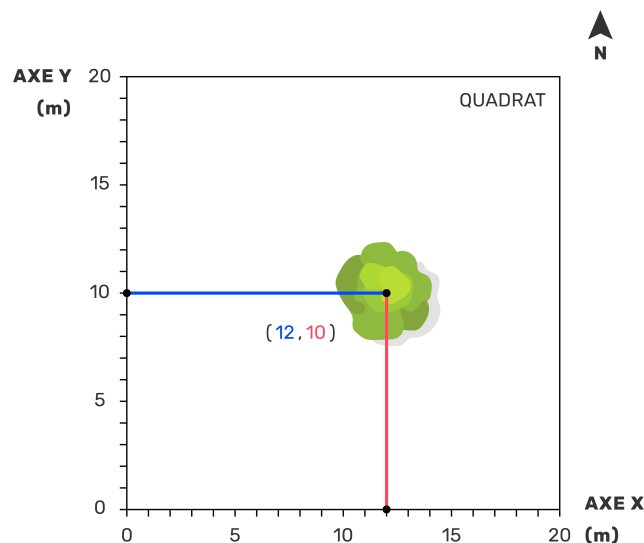


FIGURE 7.4 – Schéma de positionnement des arbres sur un quadrat.

appliquer de la peinture proprement. Quelques précautions sont à prendre pour rendre le marquage le plus durable possible :

- Utiliser une peinture à l'huile plutôt qu'à l'eau ;
- Brosser le tronc sur la zone de marquage afin d'éviter que la peinture soit entraînée par la chute de l'écorce ;
- Repasser sur les arbres tous les deux ans afin de rafraîchir la peinture.

7.2.4 Mesures

Les **identifications botaniques** sont réalisées dans la mesure du possible avec la présence d'un botaniste professionnel. Dans le cadre du projet, un partenariat entre le projet et l'Herbier National du Gabon a pu voir le jour. Cette collaboration a permis que l'équipe d'installation soit accompagnée par un botaniste qualifié (Yves ISSEMBE et Raoul NIANADUMA). Lorsque qu'une espèce n'est pas identifiée sur le terrain, un échantillon botanique est pris et sert à l'identification en laboratoire. Le botaniste transmet ensuite l'identification.

Tous les arbres rencontrés vivants et de plus de 10 cm dbh doivent être mesurés. Les **mesures de diamètres** sont réalisées à l'aide d'un ruban souple, gradué de manière à indiquer directement le diamètre. Le ruban doit être positionné avec précision sur le trait de peinture indiquant la hauteur de mesure et le plus perpendiculairement possible à l'axe du tronc. Pour les plus gros diamètres, deux personnes sont nécessaires pour placer correctement le ruban. Une échelle ainsi qu'une perche à encoche sont utilisés pour les mesures plus hautes que la hauteur de référence. Une attention particulière doit être portée au maintien de l'échelle afin que le mesureur évite toute chute. Il faut également veiller à renouveler régulièrement les rubans pour éviter l'introduction d'erreurs dans les mesures, dues à l'usure du matériel.

L'emplacement exact de l'endroit où doit être positionné le mètre ruban sur le tronc pour la mesure est indiqué par un trait de peinture. Ce trait représente le **niveau de mesure de l'arbre** et est positionné perpendiculairement à l'axe du tronc, à hauteur de référence (1.30 m). Pour être propre et uniforme, le trait de peinture est réalisé entre les deux traits de craie forestière que le mesureur trace lorsqu'il place son ruban (figure 7.5).



FIGURE 7.5 – *Positionnement du trait de peinture entre les deux traits de craie forestière.*(Source : Yorick Van Hoef)

Lorsque l'arbre présente des conformations physiques empêchant la mesure à la hauteur de référence, différents choix s'offrent à l'opérateur qui mesure. Une clé de mesure a été réalisée par le Pr. Doucet et Eric Forni afin d'assurer le travail sur le terrain en fonction des nombreux cas complexes pouvant se présenter à l'équipe d'installation.

La **clé pour le choix de la hauteur de mesure** est la suivante :

- Tronc circulaire entre 1m30 et 4m50 : aller à **1**
 - Tronc non circulaire entre 1m30 et 4m50
 - Prendre la mesure à 1m30 ou au-dessus des contreforts ou racines échasses (marquer l'anneau en pointillés). Si les contreforts ou racines échasses dépassent 4m50, estimer le diamètre au-dessus ainsi que la hauteur de mesure.
 - **1**
 - Espèce sans contreforts ou racines échasses : aller à **2**
 - Espèce avec contreforts ou racines échasses : aller à **3**
 - **2**
 - Tronc circulaire à 1m30 (± 5 cm)
 - * Poser l'anneau de mesure à 1m30 (± 5 cm)
 - Tronc circulaire entre 1,30m (± 5 cm) et 4m50 (± 5 cm)
 - * Poser l'anneau de mesure à la hauteur la plus basse où le tronc est circulaire
 - **3**
 - Espèce dont les contreforts ou racines échasses dépasseront théoriquement 4m50 : aller à **4**
 - Espèce dont les contreforts ou racines échasses ne dépasseront théoriquement pas 4m50
 - * Poser l'anneau 1m au-dessus de l'extrémité du contrefort ou de la dernière racine échasse
 - **4**
 - Tronc circulaire à 4m50
 - * Poser l'anneau de mesure à 4m50 (± 5 cm) et prendre une mesure au-dessus des contreforts ou de la dernière racine échasse en notant la hauteur de mesure.
 - Tronc non circulaire à 4m50
 - * Poser l'anneau de mesure à la hauteur la plus élevée où le tronc est circulaire et prendre une mesure au-dessus des contreforts ou de la dernière racine échasse en notant la hauteur de mesure.
-

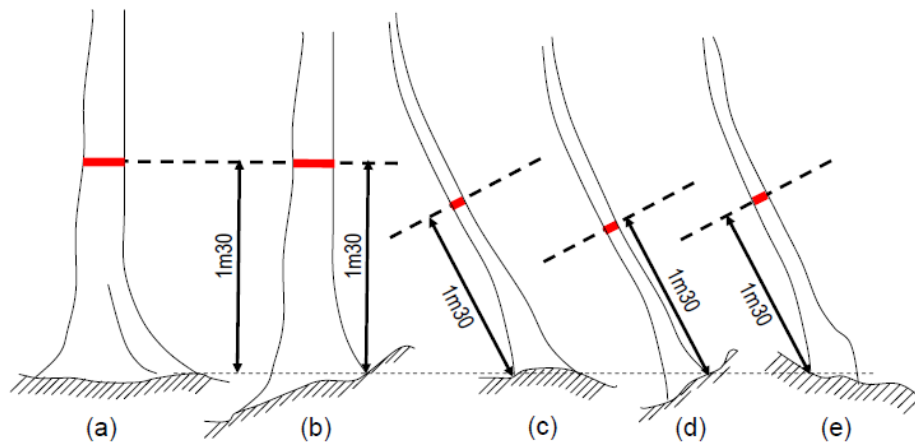


FIGURE 7.6 – Positionnement du trait de peinture à la hauteur de référence. (a) Arbre droit, terrain plat. (b) Arbre droit, sur une pente. (c) Arbre penché, terrain plat. (d) et (e) Arbre penché, sur une pente. (Source : Picard and Gourlet-Fleury (2008))

Si l'arbre est fourchu, des mesures particulières doivent également être prises.

- Si l'arbre est fourchu et que :
 - La fourche démarre en-dessous de 1.30 m :
 - * les traits de peintures sont appliqués sur chacun des brins issus de la fourche à 1.30 m et deux numéros consécutifs décimaux (ex. : 164.1 et 164.2) leur sont attribués ;
 - La fourche se situe proche de la hauteur de référence :
 - * le trait de peinture sera décalé vers le haut, si possible dans une limite de 50 cm sur le tronc là où la conformation est la meilleure.

Des conventions doivent également être respectées pour le niveau de mesure des arbres penchés et la position du trait de peinture en fonction du tronc. Les traits de peinture doivent être posés perpendiculairement à l'axe du tronc. La figure 7.6 illustrent les différents cas rencontrés.

Pour pouvoir réaliser la description allométrique des arbres, différentes **mesures de hauteurs** ont été réalisées sur un sous-échantillon des parcelles. Les mesures réalisées sur chaque arbre sélectionné sont les hauteurs de la première et deuxième ramification et la hauteur de la feuille la plus haute (mesurée depuis 2 points de vue différents). Pour la hauteur totale, la mesure est effectuée à une distance minimale équivalente à la hauteur de l'arbre. La moyenne des deux mesures de hauteur est utilisée pour les analyses. Une projection horizontale du diamètre de la couronne a également été relevée pour chaque arbre. Le sous-échantillonnage des arbres a été réalisé de manière à être représentatif de toutes les classes de hauteur. Dans chaque parcelle (4 ha), les 10 arbres présentant le plus large diamètre sont sélectionnés ainsi que 40 arbres répartis de manière équitable dans les classes de diamètres. Les mesures sont prises grâce à un dendromètre Vertex IV, en prenant soin de bien noter l'identifiant de chaque individu mesuré.

7.2.5 Équipe et matériel

Les tâches de l'équipe du projet sont nombreuses. Elle doit installer/matérialiser les parcelles, positionner et identifier chaque arbres au dessus du seuil d'inventaire et mesurer les diamètres. Une équipe composée de 7 membres est un minimum pour avancer à bonne vitesse et espérer rentrer dans les délais (en tenant compte des malades, des journées de fortes pluie), 8 étant l'idéal.

La répartition des rôles dans l'équipe de 8 personnes est la suivante :

- 3 mesureurs (2 pour les arbres mesurables à hauteur de poitrine et 1 sur l'échelle pour mesure à 450 cm) ;
- 2 peintres (1 sur les chiffres, 1 les bandes de mesures) ;
- 1 porte-échelle (déplacement et maintien de l'échelle pour la sécurité lorsque quelqu'un monte) ;
- 1 botaniste ;
- 1 encodeur.

Dans le cas d'une équipe de 7 personnes, les mesureurs sont restreints à 2, l'un d'eux alternant mesure normale et mesure sur échelle. L'équipe doit se munir d'un nombre suffisant de machètes.

7.3 Encodage - OpenForis

Dans un contexte d'analyse de données à grande échelle, la méthode d'encodage a été réfléchié pour être la plus pratique possible sur le terrain mais également pour pouvoir être aisément reproductible par la suite/sur d'autres projets. Pour éviter de devoir concevoir une application d'encodage et tomber dans des complications, le projet s'est tourné vers l'application *opensource* "**Open Foris Collect**". Le choix de cette méthode d'encodage a été motivé par un intérêt réel dans le gain de temps sur le terrain et d'une volonté d'uniformiser la récolte de donnée.

Open Foris est un ensemble d'outils logiciels libres et gratuits qui facilitent la collecte, l'analyse et le reporting de données de manière flexible et efficace. Ils ont été développés par la FAO et sont disponibles sur le site <http://www.openforis.org/>. Open Foris Collect est l'un de ces logiciels disponibles en ligne. Il est le principal point d'entrée des données collectées dans les inventaires de terrain. Il offre un moyen rapide, facile et flexible de mettre en place une enquête avec une interface conviviale. Open Foris Collect gère plusieurs types de données et des règles de validation complexes, le tout dans un environnement multilingue. Le logiciel permet de réaliser différents types de monitoring : enquêtes socio-économiques, évaluation de la biodiversité, mesure de l'utilisation, du changement d'affectation des terres, etc.

Différents éléments de matériels ont du être achetés pour adapter cette méthode d'encodage sur le terrain : tablette endurcie, panneau-solaire et batterie externe.

Un manuel utilisateur a été réalisé dans le cadre du projet, pour que les successeurs installant des parcelles puissent prendre l'application rapidement en main. Il est consultable dans l'Annexe B.1.

7.4 Analyse des données

7.4.1 Structure

Diamétrique Pour la structure diamétrique, des classes de diamètres de 10 cm d'amplitude ont été attribuées à chacun des arbres à partir du seuil d'inventaire de 10 cm. La dernière classe regroupe les arbres dont le diamètre est supérieur à 100 cm. Une analyse factorielle des correspondances a été appliquée à la matrice (carrés*classes de diamètre) pour étudier la structure diamétrique.

Relation HD et allométrie Trois modèles hauteur-diamètre non-linéaires de types puissance et asymptotiques (Michaelis Menten, Weibull) ont été générés sur base des mesures de hauteurs réalisées sur un sous-échantillon des parcelles. Ces modèles ont permis d'estimer une hauteur pour chaque arbre du jeu de données ($H_{\text{prédite}}$, m). La sélection du modèle à utiliser se base sur la plus faible erreur standard résiduelle et la plus faible valeurs au critère d'information d'Akaike (AIC).

La biomasse aérienne de chaque arbre a pu être estimée grâce aux hauteurs prédites et le modèle pantropicale de Chave et al. (2014). La formule utilisée pour estimer la biomasse aérienne est :

$$AGB_{\text{est}} = 0.0673 * (\rho DH)^{0.976} \quad \text{Biomasse aérienne (7.1)}$$

, où ρ est la densité du bois (g.cm^{-3}), D est le diamètre mesuré de l'arbre et H est la hauteur totale estimée de l'arbre prédite par le modèle allométrique hauteur-diamètre. La densité du bois ρ pour chaque arbre a été extraite depuis la base de données internationale de Chave et al. (2009) en utilisant le package R *BIOMASS* (Réjou-Méchain et al., 2017).

Attributs Structuraux La structure forestière des parcelles et des carrés a été analysée par rapport à différents attributs. Ils permettent de caractériser la forêt aussi bien horizontalement que verticalement. Les paramètres calculés sont : la densité de tiges \mathbf{N} , calculée par hectare (ha^{-1}), la densité en tiges supérieures à 70 cm de diamètre \mathbf{N}_{70} (ha^{-1}), la surface terrière à l'hectare \mathbf{G} ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), la surface terrière des arbres dépassant 70 cm en diamètre \mathbf{G}_{70} ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), le diamètre quadratique moyen \mathbf{D}_g (cm), la densité moyenne du bois \mathbf{WD} (g.cm^{-3}) et la hauteur de Lorey $\mathbf{H}_{\text{Lorey}}$ (m). La biomasse aérienne \mathbf{AGB} de chaque arbre a également été estimée et compilée à l'hectare ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$), la proportion tenue par les arbres dépassant 70 cm de diamètre \mathbf{AGB}_{70} de la même manière.

Pour le calcul de la surface terrière \mathbf{G} , la même formule 4.1 décrite dans la partie II a été utilisée. Pour le diamètre quadratique moyen \mathbf{D}_g , la formule suivante est utilisée :

$$D_g = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{N}} \quad \text{Diamètre quadratique moyen (7.2)}$$

, où N est égal au nombre d'arbre et d le diamètre mesuré sur chaque arbre.

A partir de ces hauteurs prédites (et hauteurs réelles pour les arbres mesurés), la hauteur de Lorey a pu être calculée. La hauteur de Lorey est égale à la hauteur pondérée en fonction de la surface terrière de tous les arbres. La pondération de la surface terrière des hauteurs d'arbres augmente l'importance des arbres les plus grands sur pied et représente en général la hauteur dominante du peuplement (Lefsky, 2010). Elle est intéressante à utiliser pour des peuplements irréguliers. Pour calculer H_{Lorey} , le

package `R` `sitreeE` a été utilisé. La fonction `lorey.height()` calcule la hauteur via la formule suivante :

$$H_{\text{Lorey}} = \frac{\sum (g_i * h_i)}{G_{\text{tot}}} \quad \text{Hauteur de Lorey (7.3)}$$

, où h_i et g_i sont respectivement la hauteur et la surface terrière de l'arbre et où G_{tot} représente la somme des surfaces terrières sur la surface considérée.

7.4.2 Composition et diversité

La **richesse spécifique** S a été calculé grâce à la fonction `specnumber` du package `vegan`. Cet indice représente selon Marcon (2015) : "[...] simplement le nombre d'espèce représentées dans le taxocène considéré" (les arbres dans notre cas). La richesse spécifique a été calculé grâce à la fonction `specnumber()` du package `vegan`. les fonctions `specaccum()` et `rarecurve()` ont également été utilisées pour observer respectivement les courbes d'accumulation et de raréfaction des espèces.

Deux estimateurs non-paramétriques ont été utilisés pour estimer le nombre d'espèces non observées. **Chao1** estime le nombre d'espèces non-observées à partir de celles observées 1 ou 2 fois. **Jack2** est l'estimateur de second ordre de la méthode de *Jackknife*. Cette méthode permet selon Marcon (2015) : "[...] de réduire le biais d'un estimateur en considérant des jeux de données dans lesquels on a supprimé un certain nombre d'observations (ce nombre est l'ordre de la méthode)". Différents **indices de diversité** ont été compilés grâce à la fonction `diversity()` du package `vegan`. Les formules des différents indices sont les suivantes :

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_b p_i \quad \text{Shannon (7.4)}$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad \text{Simpson (7.5)}$$

où p_i est la proportion d'espèce i , S est le nombre d'espèces de manière à ce que $\sum_{i=1}^S p_i = 1$, et b est la base du logarithme telle que $b = 2$. L'équation (7.4) représente l'indice de Shannon. L'indice de Shannon permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu (Peet, 1974). Il varie de 0 à $\log_2 S$. L'équation (7.5) permet de calculer de l'indice de Simpson, qui est un indice mesurant la probabilité que deux individus sélectionnés consécutivement au hasard appartiennent à la même espèce (Hunter and Gaston, 1988). Finalement, le paramètre α de la série logarithmique de Fisher a également été calculé en tant qu'indice de diversité (Fisher et al., 1943).

L'étude de la **composition** des parcelles a été effectuée grâce à une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), ordination adaptée pour l'analyse de deux variables qualitatives (espèces*carrés). La formule `dudi.coa()` du package `ade4` a été utilisée.

7.4.3 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été menées en utilisant le langage `R` ainsi que le packages de base `stats` pour l'analyse de la variance, les modèles linéaires et les corrélations. Les packages `graphics` et `ggplot2` ont été utilisés pour créer les graphiques.

Chapitre 8

Résultats

8.1 Rendements de la mission

Trois parcelles de végétation de 4 ha ont été matérialisées et inventoriées lors de la mission afin de répondre aux objectifs du travail. Cet accomplissement a été rendu possible par le travail conjoint de l'équipe NATURE+/PW-CEB ainsi que Gembloux Agro-Bio Tech avec l'étudiant Yorick VAN HOEF. Le tableau 8.1 renseigne les dates d'installation ainsi que le nombre de personnes y ayant participé.

TABLE 8.1 – Chronologie des opérations d'installations des parcelles P3FAC

Parcelle	Dates de début d'installation	Composition de l'équipe
P2	13/03/2019	6
P3	09/04/2019	6
P4	09/05/2019	8

La prospection des parcelles a été réalisée en 2 journée de terrain. Une équipe de 3 personnes s'est rendue sur la zone d'étude pour prospecter les parcelles 1, 2, 3 et 4.

Les trois parcelles inventoriées entre les 11 mars 2019 et 24 mai 2019 se situent dans le bloc-sud de la zone d'étude P3FAC. Elles correspondent aux parcelles n°2, 3 et 4 (figure 5.7). Les distances maximales les séparants sont de 300 mètres et la parcelle la plus proche du campement, se situe également à cette distance. Le réseau créé par les layons d'inventaire ainsi que les anciennes pistes de débardages permet de se déplacer de manière relativement aisée entre le campement et les différentes parcelles. La parcelle 2 la plus proche se situant à environ 10 minutes de marche et la plus éloignée, la parcelle 4, à environ 25 minutes de marche.

Les rendements d'installations des parcelles sont disponibles dans les rapports de mission en Annexe C.

8.2 Données d'inventaire

Au total, 4465 arbres ont été identifiés et mesurés par rapport à leur diamètre. A partir d'un seuil d'inventaire de 10 cm à hauteur de poitrine, la gamme de diamètres mesurés s'étale de 10 cm à 161.6 cm, maximum atteint par un Andoung *Bikinia grisea*. Le diamètre estimé maximum s'élève à 200 cm pour un Okoumé. Des mesures de hauteur ont été effectués sur un sous-échantillon de 107 arbres, au

sein des parcelles 2 et 3. La gamme de hauteur varie de 9.3 m pour un Afan *Panda oleosa* jusqu'à 60.05 m, atteint par un Okoumé. D'un point de vue composition végétale, un total de 220 espèces a été observé, appartenant à 131 genres répartis à travers 38 familles botaniques (classification basée sur celle du Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève). En terme de nombre de tiges, les 3 familles les plus représentées sont les *Fabaceae* (43.5%), les *Burseraceae* (13.6%) et les *Euphorbiaceae* (7.4%), cumulant presque 70% du nombre de tige. En terme de surface terrière, les 3 familles dominantes sont les *Fabaceae* (40%), les *Myristicaceae* (17.4%) et les *Burseraceae* (16%). Parmi les 4465 arbres inventoriés, uniquement 16 ont été identifiés jusqu'au genre (0.35%). Les espèces les plus abondantes en nombre de tiges ainsi qu'en surface terrière sont affichées dans le tableau 8.2.

TABLE 8.2 – Arbres les plus représentés sur le dispositif en nombre de tiges et surface terrière

Abondance	Ordre	Espèce	Famille
en nombre de tiges (ha^{-1})	1	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (48.5)	Fabaceae
	2	<i>Santiria trimera</i> (39.7)	Burseraceae
	3	<i>Scorodophloeus zenkeri</i> (22.6)	Fabaceae
	4	<i>Dialium pachyphyllum</i> (21)	Fabaceae
	5	<i>Scyphocephalum mannii</i> (15.7)	Myristicaceae
en surface terrière ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)	1	<i>Scyphocephalum mannii</i> (4.77)	Myristicaceae
	2	<i>Santiria trimera</i> (1.69)	Burseraceae
	3	<i>Aucoumea klaineana</i> (1.68)	Burseraceae
	4	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (1.66)	Fabaceae
	5	<i>Scorodophloeus zenkeri</i> (1.6)	Fabaceae



FIGURE 8.1 – Numérotation d'un arbre à la peinture.

8.3 Description des peuplements

Afin de caractériser les différentes parcelles/carrés et d'évaluer les variations locales entre les parcelles et avec d'autres références régionales, différents paramètres et attributs structuraux ont été calculés. La structure spatiale (horizontale et verticale), la composition, l'architecture ainsi que la biomasse aérienne ont été évaluées à travers les différentes parcelles.

8.3.1 Structure

Structure diamétrique Suite au regroupement des arbres en classes de diamètres, une distribution en "J inversé" (figure 8.2) a été obtenue pour les structures diamétriques des 3 parcelles. La première classe de diamètre est prédominante chez les trois parcelles, avec pour chacune environ 50% de leur nombre total de tiges compris dedans. La parcelle 3 présente le plus fort pourcentage de tiges dans la première classe de diamètre (55%), tandis que la parcelle 2, le plus fort pourcentage de tiges dans la dernière classe de diamètre (2%). Les populations inventoriées des parcelles présentent une forte régénération.

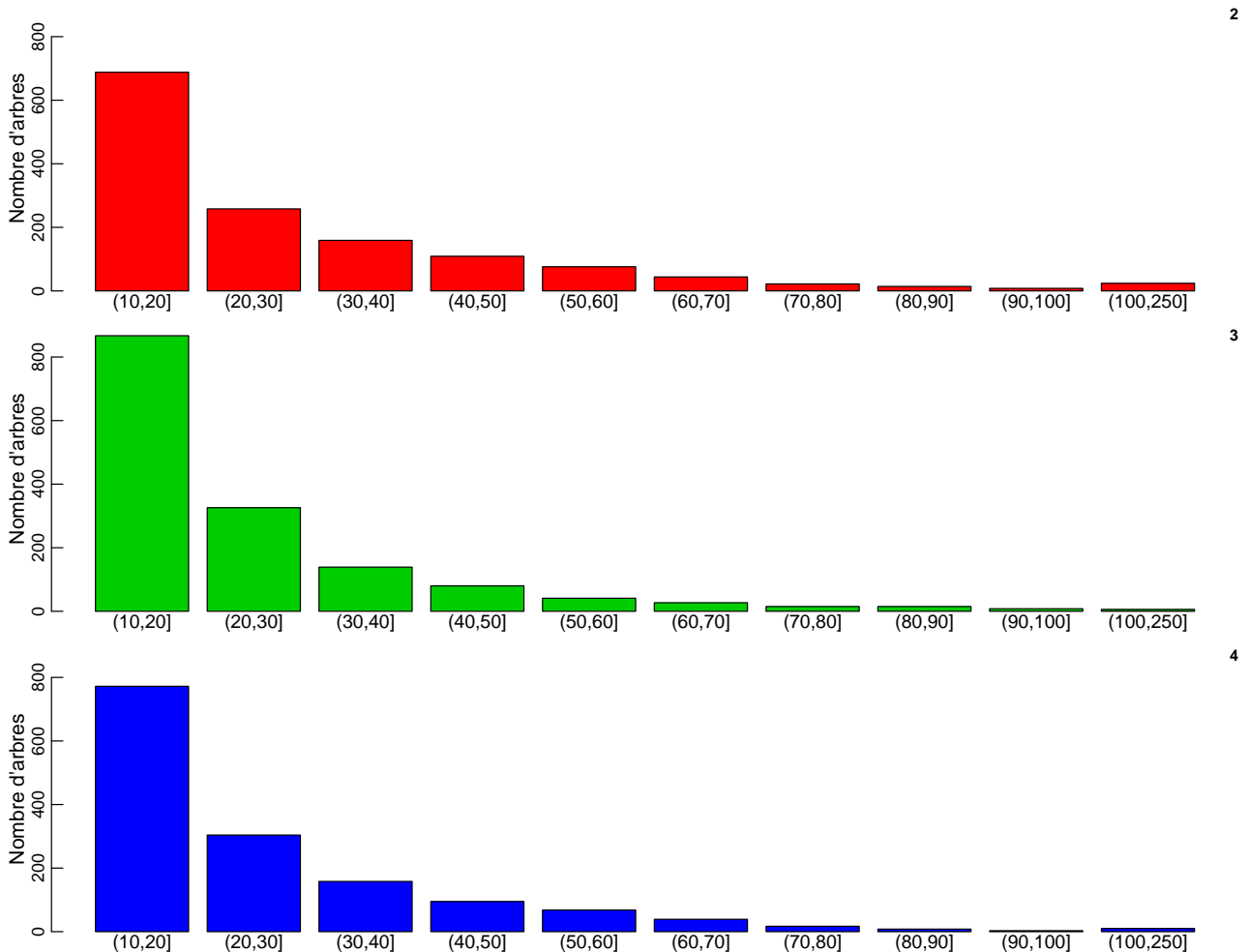


FIGURE 8.2 – Histogrammes de la structure diamétrique des parcelles

Une analyse factorielle des correspondances a été réalisée sur le tableau de contingence contenant les deux variables catégorielles "relevés" et "classes de diamètre". La variable "relevés" correspondant aux carrés des parcelles, afin de permettre de travailler à l'échelle de l'hectare. L'AFC permet d'observer

ver l'intensité de similitude des relevés entre eux. Dans un premier temps, un test χ^2 d'indépendance a été appliqué au tableau de contingence pour vérifier s'il existe bien une dépendance statistique entre les deux variables. Le résultat du test est hautement significatif ($P = 0.00521$), traduisant une dépendance hautement significative entre les deux variables.

Un cercle de corrélation sur les classes de diamètre ainsi qu'un graphique des coordonnées des parcelles sur deux axes ont été générés (figure 8.3). L'axe 1 (horizontale) exprime 42.68% de la variabilité et l'axe 2 (verticale) 17.22%. Ces deux axes d'inertie expliquent ensemble deux tiers de la variance des données diamétriques. On observe sur le cercle de corrélation que la classe de diamètre (100,250] est la plus corrélée négativement à l'axe 1 alors que la classe (90,100] est la classe la plus corrélée positivement à l'axe 2. Les classes de diamètres les plus faibles (10,20] et (20,30] sont les seules variables corrélées positivement à l'axe 1, de manière relativement faible. On peut déduire de ces résultats que plus il y a de petits diamètres, moins il y aura de gros diamètres.

La projection des relevés sur les deux axes forment 3 groupes distincts, correspondant aux 3 parcelles. On observe que les relevés de la parcelle 2 tirent négativement l'axe 1 tandis que les relevés de la parcelle 4 se retrouvent au centre et ceux de la parcelle 3 à droite, positivement sur l'axe 1. Si l'on met les relevés en parallèle avec le cercle de corrélation, on observe que les carrés de la parcelle 2 présentent une forte présence d'arbres compris dans la classe de diamètre maximale (100,250] tandis que

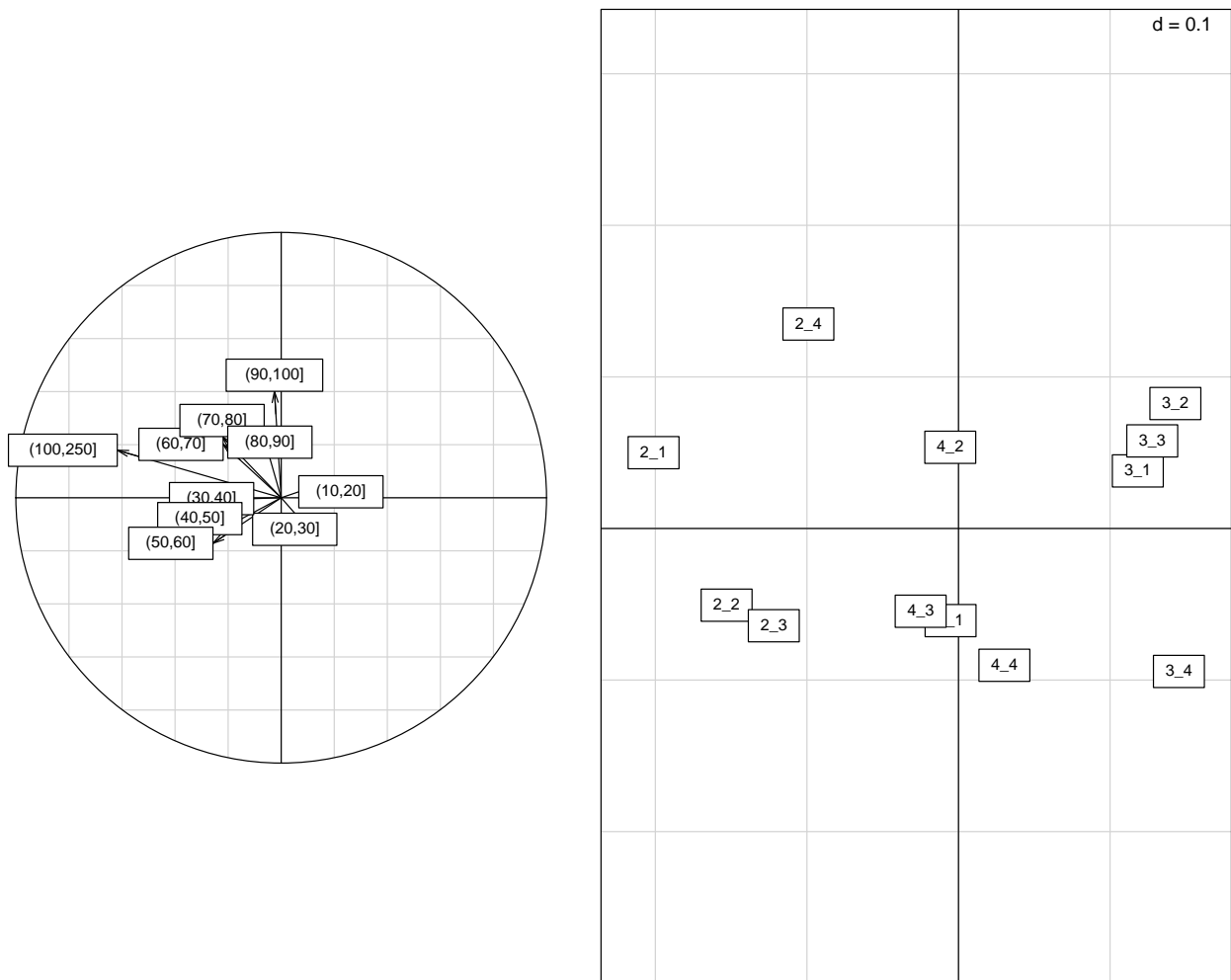


FIGURE 8.3 – Analyse factorielle des correspondances **AFC** sur la matrice parcelles*classes de diamètre.

les parcelles 4 et 3 présentent respectivement des arbres compris dans des petites classes de diamètre.

Relation HD et allométrie Les mesures de hauteur prises sur le terrain ($n = 107$) et les modèles non linéaires de type puissance et asymptotique qui leur ont été appliqués, ont permis de prédire les hauteurs pour tous les arbres de l'inventaire. La relation allométrique liant hauteur et diamètre au sein de notre peuplement a été trouvée grâce à ces modèles. Sur les 3 modèles testés, un seul a cependant été retenu pour générer les hauteurs prédites. Le modèle de Weibull est le modèle retenu, compte tenu du critère d'information d'Akaike (AIC) le plus bas, en plus de l'erreur standard résiduelle la plus faible (figure 8.4). Il a donc été choisi pour estimer la hauteur des arbres pour lesquels il manquait des mesures de hauteur.

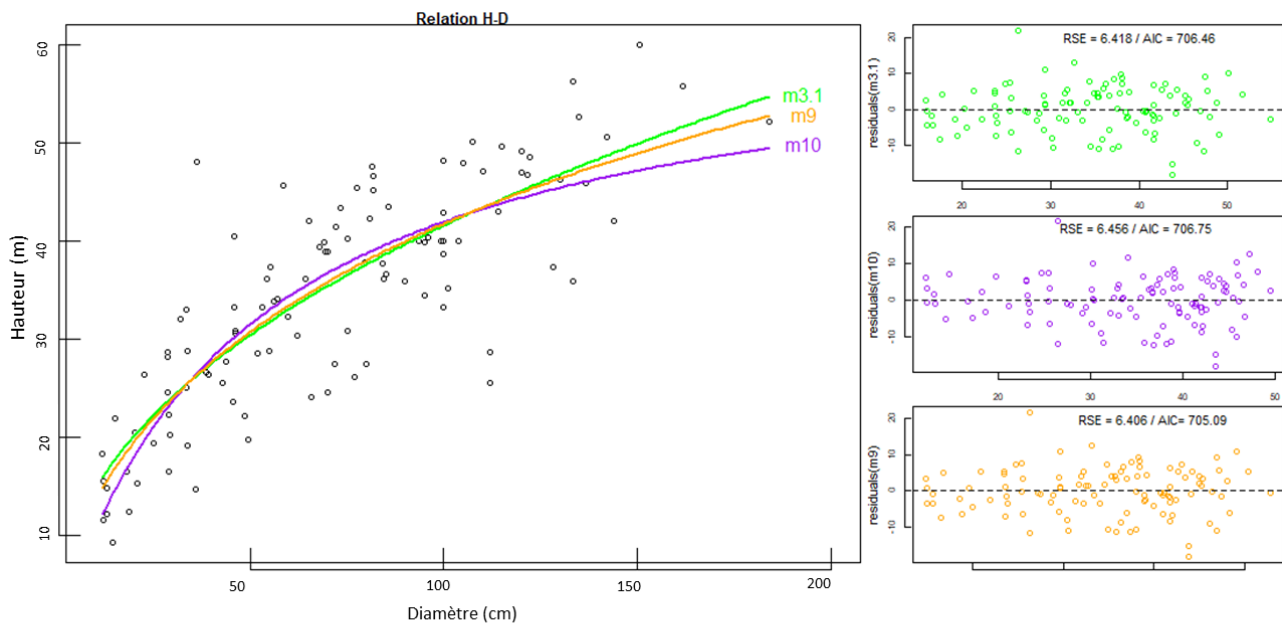


FIGURE 8.4 – Relations Hauteur-Diamètre pour les trois modèles testés.

Les valeurs des hauteurs mesurées ont été conservées et seuls les arbres dont la hauteur n'avait pas été mesurées, ont été assignés d'une hauteur estimée. A partir des hauteurs mesurées et prédites, la gamme de hauteur pour les 3 parcelles varie de 9.3 m à 60.05 m avec une moyenne de 20.96 m (pour une gamme diamétrique variant de 10 cm à 200 cm). Pour la parcelle 4 sur laquelle aucune mesure n'avait été faite, toutes les hauteurs correspondent aux hauteurs correspondantes prédites par le modèle.

La **biomasse aérienne AGB** a été compilée pour chaque arbre selon le modèle pantropicale de Chave et al. (2014), utilisant la hauteur prédite, la densité de bois et le diamètre mesuré. Les biomasses aériennes de tous les arbres ont été sommées à l'hectare. La biomasse aérienne individuelle moyenne vaut 1.06 Mg et varie de 0.02 à 51.3 Mg.

8.3.2 Attributs structuraux

Les attributs structuraux ont été décrit à l'échelle de l'hectare, c'est à dire des carrés des parcelles. Le tableau 8.5 reprend tous les valeurs des attributs.

Densité en tige La densité en tiges \mathbf{N} ainsi que la densité en tiges supérieures à 70 cm de diamètre \mathbf{N}_{70} ont été calculés à l'hectare. Une densité moyenne de 372 tiges à l'hectare a été calculée à travers les douze relevés (tableau 8.5). La gamme de densité variant de 334 tiges à l'hectare pour le relevé 2_3 à 410 tiges à l'hectare pour le relevé 3_3. La densité moyenne par parcelle la plus élevée est observée pour la parcelle 3. En ce qui concerne la densité de tiges supérieur à 70 cm de diamètre, une densité moyenne de 12.5 tiges à l'hectare est observée, avec une gamme allant de 7 tiges pour le carré 4 de la parcelle 4 à 23 tiges pour le carré 1 de la parcelle 2.

Surface terrière La surface terrière à l'hectare \mathbf{G} ainsi que la surface terrière à l'hectare des arbres de plus de 70 cm de diamètre \mathbf{G}_{70} ont été calculés à travers les différents carrés. La valeur moyenne obtenue pour \mathbf{G} est de $30.23 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ et varie de $24.5 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ à $41 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ à travers les différents carrés. Quant à la valeur moyenne pour \mathbf{G}_{70} , elle vaut $9.27 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ et varie de $3.98 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ à $18.27 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$. L'égalité des variances et la normalité de la distribution des individus dans les parcelles n'étant pas respectés, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été employé pour observer s'il existait une différence significative entre les parcelles par rapport à la surface terrière des arbres. Suite au test, il existe une différence très hautement significative ($P = 4.3.10^{-6}$, $\chi^2 = 24,731$) entre les parcelles. Une inégalité des médianes étant mise en évidence, les médianes sont structurées à l'aide du test de Mann-Whitney au niveau de confiance 95%. Il ressort de ce test une différence très hautement significative entre les parcelles 2-3 ($P = 2.2.10^{-6}$), hautement significative entre 2-4 ($P = 0,006$) et significative ($P = 0.036$) entre les parcelles 3-4, toutes deux à deux.

Diamètre quadratique moyen Le diamètre quadratique moyen \mathbf{D}_g obtenu pour les parcelles est de 32.2 cm et varie de 28.3 cm à 38.15 cm à travers les différents carrés des parcelles. La parcelle présentant le diamètre quadratique moyen le plus élevé est la parcelle 2 avec 35.7 cm. Les deux autres parcelles présentent un \mathbf{D}_g inférieur à la moyenne (29,2 et 31,5 cm).

Densité du bois La densité de bois \mathbf{WD} à travers les parcelles a pour valeur moyenne 0.6916 g.cm^{-3} et varie de 0.6678 g.cm^{-3} à 0.7114 g.cm^{-3} . Le test de Kruskal-Wallis sur la densité de bois des arbres ne fait pas apparaître de différence significative entre les parcelles.

Hauteur de Lorey Grâce aux prédictions de notre modèle HD, le paramètre hauteur de Lorey $\mathbf{H}_{\text{Lorey}}$ a pu être construit. La valeur moyenne de $\mathbf{H}_{\text{Lorey}}$ à travers les carrés des parcelles est de 31.6 m, variant de 29.3 m à 34.7 m. La parcelle 2 présente la hauteur de Lorey moyenne la plus élevée (33.4 m). Par ailleurs, une différence très hautement significative ($P = 4,9\text{e-}06$, $\chi^2 = 24,444$) entre les parcelles apparaît quand on applique le test de Kruskal-Wallis aux hauteurs des arbres. La structuration des médianes de Mann-Whitney permet d'identifier une différence très hautement significative ($P = 2.4.10^{-6}$) entre les parcelles 2-3, hautement significative ($P = 0.008$) entre 2-4 et significative ($P = 0.027$) entre 3-4.

Biomasse aérienne La biomasse aérienne AGB_{estim} a été compilée à l’hectare et ajoutée aux attributs structuraux. La biomasse aérienne moyenne observée sur les carrés des parcelles est de 395.61 Mg.ha⁻¹, variant de 289.45 Mg.ha⁻¹ jusqu’à un maximum 567.25 Mg.ha⁻¹.

TABLE 8.3 – Contribution AGB_{70} à AGB_{estim}

Carré	AGB_{70} (Mg.ha ⁻¹)	% de AGB_{estim}
2_1	284.86	50.2
2_2	153.59	34.2
2_3	197.42	41.9
2_4	215.74	44.2
3_1	111.92	33
3_2	137.78	41.5
3_3	138.06	37.9
3_4	79.83	27.5
4_1	63.28	19.6
4_2	133.22	35.4
4_3	157.57	38.9
4_4	63.25	18.3

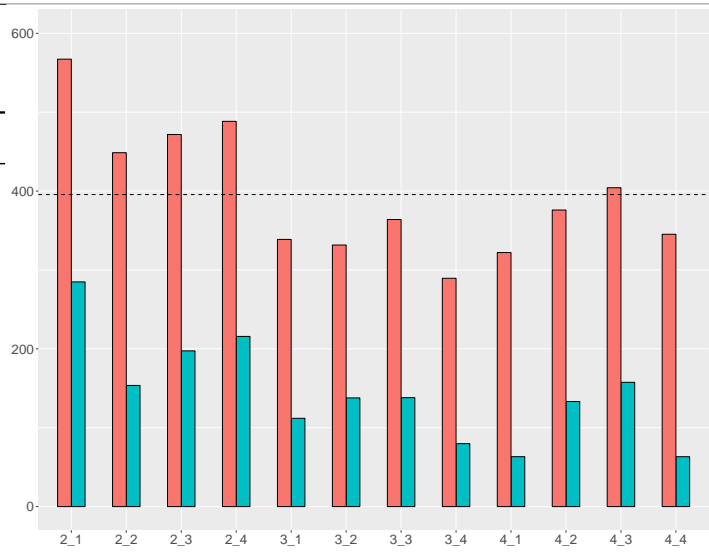


FIGURE 8.5 – AGB_{estim} (rose) et AGB_{70} (bleu) par carré

La biomasse aérienne pour les tiges dont le diamètre est supérieur à 70 cm AGB_{70} a également été calculée. La valeur moyenne observée est de 144.72 Mg.ha⁻¹, variant de 63.25 Mg.ha⁻¹ à 284.87 Mg.ha⁻¹ en fonction des carrés. L’analyse de la variance montre les mêmes tendances que celles observées pour AGB_{estim} , mais de manière moins prononcée. Les résultats de l’ANOVA montre qu’il existe une différence significative ($P = 0.015$). Suite à la méthode de Tukey, ce sont à nouveau les parcelles 2-3 ($P = 0.035$) et 2-4 ($P = 0.019$) qui montrent des différences, cette fois significatives. La parcelle 2 se distingue par ses fortes valeurs de biomasse aérienne, supérieures pour chaque carré à la moyenne des 3 parcelles (figure 8.5). De plus, on observe que la contribution de la biomasse aérienne des tiges supérieures à 70 cm en diamètre est importante. Quatre carrés voient leur AGB_{70} contribuer à plus de 40% de la part du AGB_{estim} (Tableau 8.3). Le carré 2_1 voit même plus de 50% de sa biomasse aérienne totale, constitué par des arbres de plus de 70 cm de diamètre. On observe qu’il existe une forte relation ($R^2=85.7\%$) entre la biomasse d’une parcelle et la biomasse des arbres de grands diamètres.

Une différence très hautement significative ($P = 6.694e-06$, $\chi^2 = 23.829$) apparaît lorsque l’on applique le test de Kruskal-Wallis aux biomasse aérienne individuelles des arbres. La structuration des médianes de Mann-Whitney permet d’identifier une différence très hautement significative ($P = 4.10^{-6}$) entre les parcelles 2-3 et hautement significative ($P = 0.004$) entre 2-4. Il n’existe pas de différence significative entre les parcelles 2 et 4.

8.3.3 Composition floristique

A partir des données d’inventaire, les indices de diversité de Shannon, de Simpson et alpha de Fisher et la richesse spécifique ont été estimés. La richesse spécifique étant dans notre cas, une simplification de la réalité (sélectionne les sp au dessus de 10 cm dbh), des indices non-paramétriques comme *Chao* et *Jackknife* ont été passé en revue pour permettre d’estimer la richesse réelle des parcelles. Les valeurs des différents paramètres sont disponibles dans le tableau 8.5.

Richesse spécifique Premièrement, les courbes de raréfaction et d'accumulation (figure 8.6) des espèces ont été générées, permettant de comparer la richesse en espèce observée entre les sites. En (a), le graphe des courbes de raréfaction prédit le nombre d'espèces observées en fonction du nombre d'individus rencontrés. On observe que les carrés de la parcelle 2 présentent de manière générale, un nombre plus élevées d'espèces pour autant d'individus rencontrés que les parcelles 3 et 4. Pour un seuil de 300 arbres, le carré 2_4 présente la richesse la plus élevée avec 80 espèces, le carré 2_2 le suivant avec 79 espèces. Le carré présentant la richesse la plus faible pour ce seuil est le carré 4_1 avec 57 espèces. Les courbes d'accumulation des espèces en (b), nous permettent d'observer l'évolution de la richesse spécifique en fonction de la taille de l'échantillon pour les 3 parcelles. Sur le graphe (b), l'abscisse représente le nombre de carré par parcelle. On peut y observer que la parcelle deux présente pour chaque carré accumulé, une richesse spécifique plus élevée que les parcelles 2 et 3. Ces dernières sont d'ailleurs presque parfaitement superposées, ce qui nous permet de déduire que les deux parcelles présentent une même tendance en terme de richesse spécifique.

Cependant, on observe sur les deux graphes que les courbes de raréfaction et d'accumulation des espèces ne saturent pas. Cette observation montre que l'effort d'échantillonnage n'est pas assez élevé ou que l'hétérogénéité des espèces est très forte.

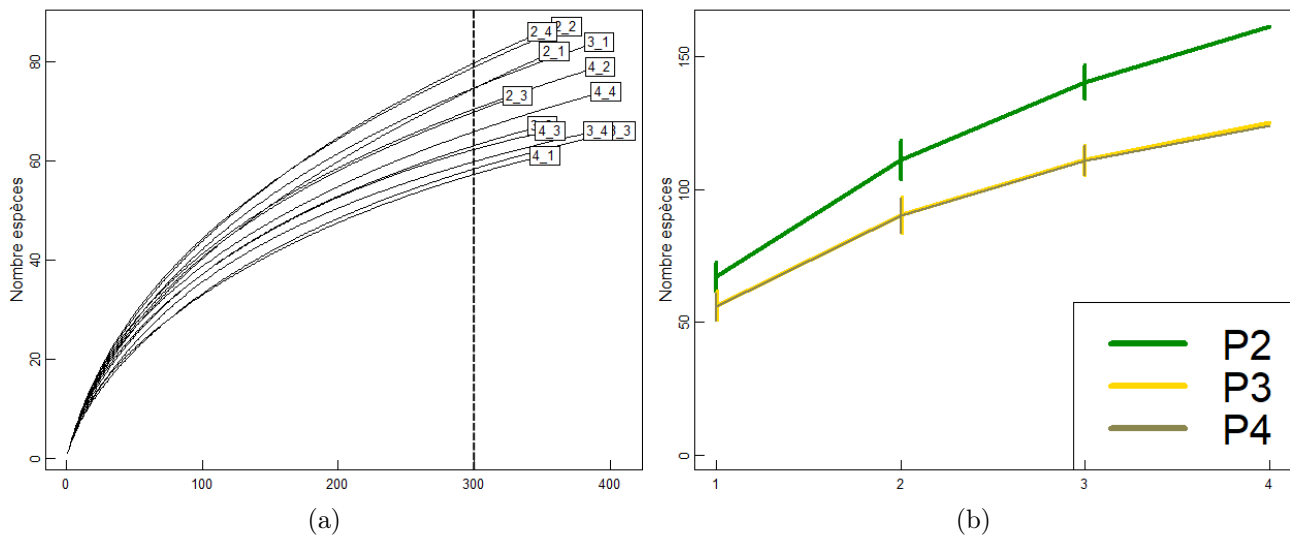


FIGURE 8.6 – Comparaison de la richesse en espèces avec courbe de raréfaction (a) et courbe d'accumulation (b).

Deuxièmement, les indices non-paramétriques *Chao* et *Jackknife* ont été calculés pour pouvoir estimer la richesse spécifique des sites. Pour rappel, un nombre total de 220 espèces a été observé à travers les 3 parcelles. Les valeurs estimées de richesse pour les 3 parcelles sont respectivement pour les indices *Chao* et *Jack2* de 275 et 298 espèces. Le tableau 8.4a permet d'observer en (a) la richesse spécifique observée par carré ainsi que la valeur estimée par l'indicateur *Chao1*. On peut également en (b) observer les variations d'espèces observées entre les parcelles, la valeur moyenne étant de 74.25 espèces. La gamme varie de 61 à un maximum de 87 espèces par hectare.

Indices de diversité Trois indices de diversité ont été analysés. **L'indice de Shannon** permet d'estimer la diversité en tenant compte du nombre d'espèces et de l'équitabilité de leur abondance au

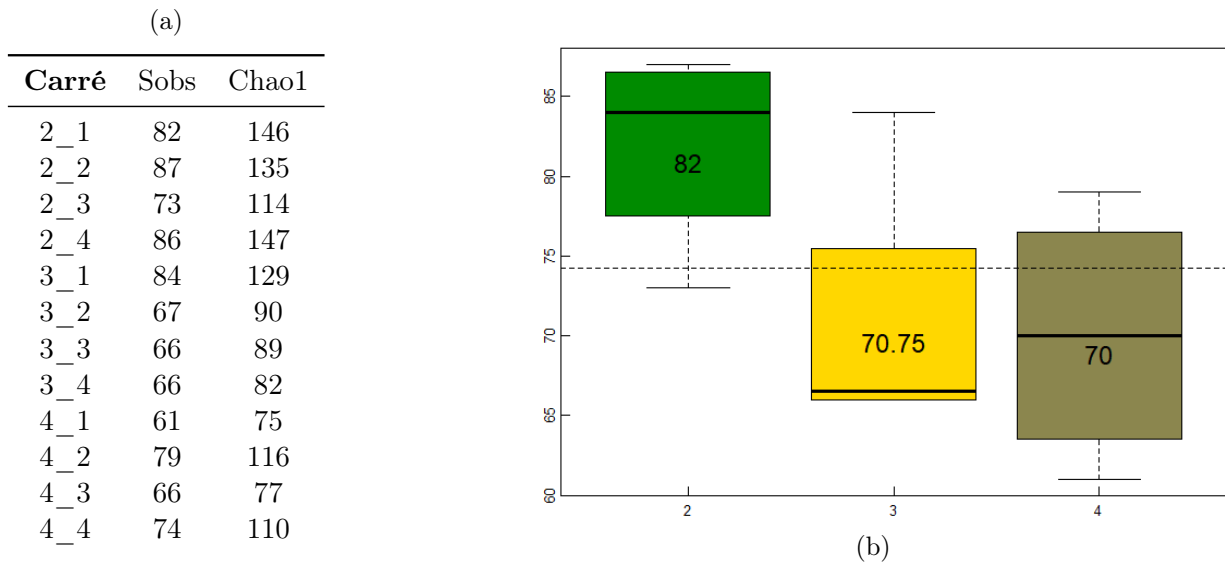


TABLE 8.4 – *Richesse spécifique. (a) par carré et (b) boxplot du nombre d'espèces par parcelle. Le nombre d'espèces moyen est indiqué au centre du boxplot.*

sein des relevés (probabilité qu'un individu choisi au hasard appartienne à une espèce). Les bornes de l'indice varie de 0 au logarithme en base 2 du nombre d'espèces observées du relevé (Shannon, 1948). Ce maximum est atteint lorsque toutes les probabilités qu'un individus tirés au hasard appartienne à l'espèce s , sont égales. Pour rappel, la richesse spécifique observée moyenne de nos carrés est de 74.25 espèces, ce qui donne une borne supérieur d'approximativement 4.3 pour nos indices de Shannon. La valeur moyenne observée pour l'indice de Shannon au sein des carrés est de 3.47, la gamme variant de 3.08 à 3.79. Plus la valeur de l'indice est proche de zéro, plus elle indique la dominance d'une espèce. La valeur moyenne étant proche de la limite supérieur de l'indice, on peut conclure que les parcelles présentent une diversité riche et que l'abondance des espèces est répartie de manière équitable. Proportionnellement, la parcelle 2 présente une valeur plus faible que les deux autres parcelles, ce qui sous-entend qu'elle possède une diversité un peu plus faible et qu'une ou plusieurs espèces domineraient un peu plus la communauté végétale.

L'indice de Simpson permet d'exprimer comme Shannon la diversité mais cette fois, en tenant compte de la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à deux espèces différents (Marcon, 2015). Les bornes théoriques de l'indice sont comprises entre $[0;1]$. L'indice de Simpson tend vers 1 pour une nombre infini d'espèce, de probabilités nulles et inversement vers 0, si une seule espèce à une probabilité égale à 1 (Marcon, 2015). La valeur moyenne de l'indice de Simpson observée pour les parcelles/carrés est de 0.94, avec une gamme variant de 0.89 à 0.96 entre les carrés. Ces valeurs coïncident avec les tendances montrées par l'indice de Shannon pour les parcelles.

L'indice α de Fisher découle directement du modèle de Fisher, qui lie le nombre d'espèces observées et le logarithme du nombre d'individus inventoriés (Fisher et al., 1943). L'indice α correspond à la pente de cette relation linéaire et représente la distribution d'abondance des espèces en log-série. Selon Marcon (2015) : "[...] α est un indicateur de la biodiversité qui peut être interprété comme le nombre d'espèces nouvelles découvertes quand le nombre d'individus échantillonnés est multiplié par e ". La valeur moyenne observée pour l'indice alpha de Fisher est de 28.22. Sa gamme varie de 36.41

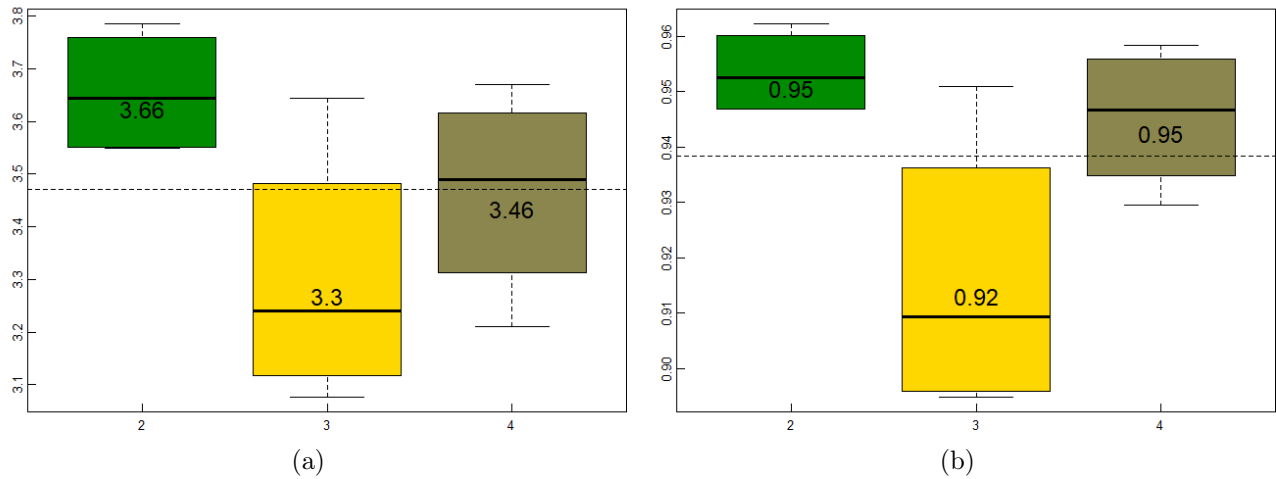


FIGURE 8.7 – Indices de diversité (a) Shannon (b) Simpson.

à 21.3 (figure 8.8). On observe que la tendance principale, est que la parcelle 2 présente une richesse spécifique plus élevée que les deux autres parcelles. Les parcelles 3 et 4 ont des moyennes très proches (25.61 et 25.43), sous-entendant que leur richesse en espèce et leur abondance sont équivalentes (?).

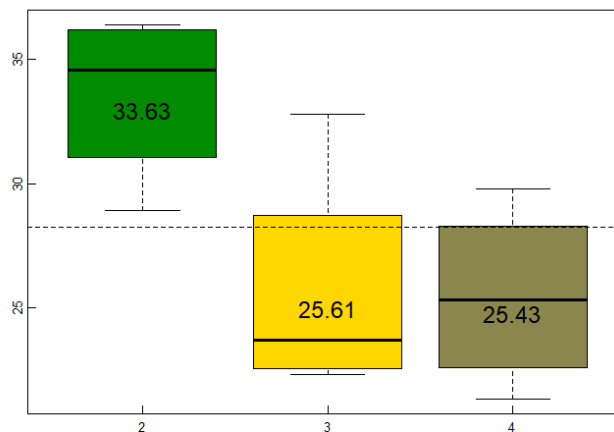


FIGURE 8.8 – Indice alpha de Fisher par parcelle.

Composition Une ordination non-contrainte de type analyse factorielle des correspondances (AFC sur la matrice espèces*carrés) a été réalisée pour observer les correspondances existantes entre les carrés qui partagent les mêmes essences et les essences qui se trouvent dans les même carrés. Sur la figure 8.9, on peut observer à gauche le cercle de corrélation des carrés sur les axes 1 et 2 et à droite, le graphique des espèces sur les deux axes. L'ordination a été appliquée sur la matrice d'abondance après transformation logarithmique ($\log(ab+1)$). L'axe 1 explique 17.54% de la variabilité et l'axe 2 12.36%. Ensemble ils expliquent environ un tiers la variabilité totale.

L'homogénéité floristique au sein des carrés n'apparaît pas de manière forte. Les carrés ne sont pas fortement groupés sur les deux premiers axes de l'analyse. Cependant, on observe quelques appariements comme pour les carrés de la parcelle 3 et 4, excepté pour le carré 4_4 qui s'écarte légèrement des autres. Les carrés de la parcelles deux présentent un regroupement le long de l'axe 1 sauf pour le carré 2_1 qui est anticorrélé à l'axe 2. De manière globale les parcelles 3 et 4 sont corrélées positivement à

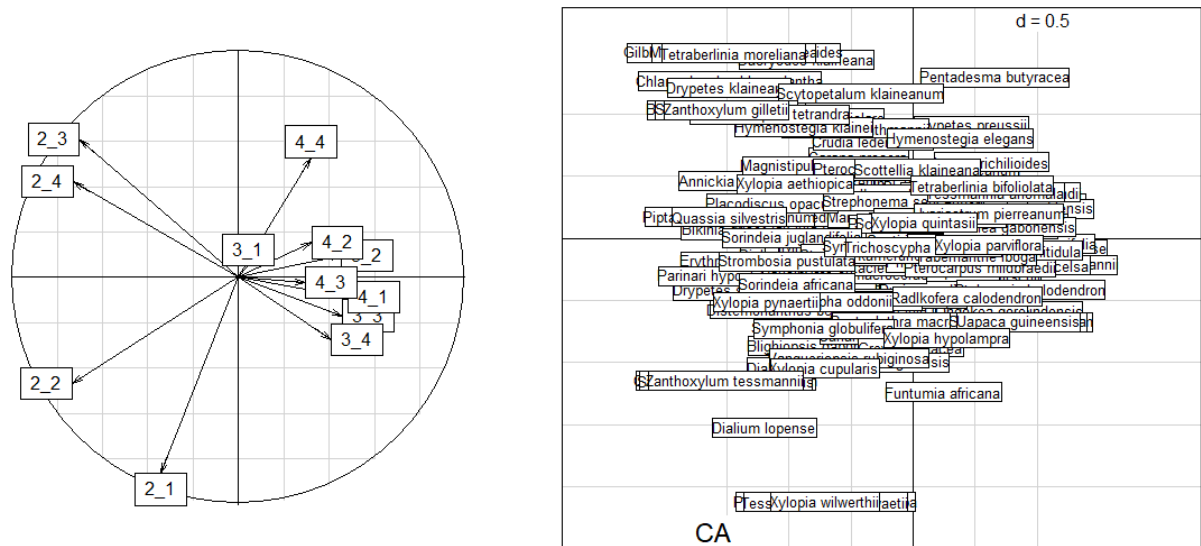


FIGURE 8.9 – Ordination non-contrainte : analyse factorielles des correspondances sur la matrice espèces*carrés.

l'axe 1 tandis que la parcelle 2 l'est négativement.

L'analyse des correspondances ordonnant les carrés et les espèces symétriquement, il est possible d'observer les espèces caractéristiques des carrés. De manière claire, le *Xylopiia wilwerthii* est caractéristique du carré 2_1, le *Pentadesma butyracea* l'est pour le carré 4_4 et le *Zanthoxylum tessmannii* l'est pour le carré 2_2. Le reste des correspondances est moins évident. On observe cependant un gradient sur la gauche et la droite de l'axe 1, correspondant à des groupes d'espèces affiliées respectivement d'un côté à la parcelle 2 et de l'autre, aux parcelles 3 et 4 (figure 8.9).

TABLE 8.5 – Tableau récapitulatif : attributs forestiers et indicateurs diversité pour les parcelles et les carrés

Attributs	Parcelle 2				Parcelle 3				Parcelle 4				Moyenne \bar{m}
	c1	c2	c3	c4	c1	c2	c3	c4	c1	c2	c3	c4	
Structure	359	368	334	352	393	355	410	393	353	394	356	398	372.08
N_{70}	23	16	12	17	12	13	11	8	8	14	9	7	12.5
G ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	41.03	34.19	32.34	34.06	26.33	24.49	28.42	24.72	27.01	30.33	32.53	27.27	30.23
G_{70} ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	18.27	10.98	11.1	12.74	7.4	7.8	8.16	5.54	4.86	9.26	11.16	3.98	9.27
D_g (cm)	38.2	34.4	35.1	35.1	29.2	29.6	29.7	28.3	31.2	31.3	34.1	29.5	32.2
Composition	0.687	0.702	0.689	0.702	0.711	0.702	0.696	0.677	0.675	0.374	0.684	0.707	0.691
Architecture	34.6	32.6	32.8	33.2	30	30.8	30.5	29.5	29.9	31	34.7	29.3	31.6
Biomasse aérienne	567.2	448.7	471.7	488.4	338.7	331.6	363.9	289.4	322.1	375.9	404.2	345.2	395.6
AGB_{70} ($Mg \cdot ha^{-1}$)	284.9	153.6	197.4	215.7	111.9	137.8	138.1	79.8	63.3	133.2	157.6	63.25	144.7
Diversité	82	87	73	86	84	67	66	66	61	79	66	74	74.3
Shannon	3.55	3.79	3.55	3.73	3.64	3.32	3.08	3.16	3.21	3.67	3.42	3.56	3.47
Simpson	0.95	0.96	0.95	0.96	0.95	0.92	0.89	0.9	0.93	0.96	0.94	0.95	0.94
α de Fisher	33.2	35.9	28.9	36.4	32.8	24.6	22.3	22.8	21.3	29.8	23.8	26.8	28.22
Abundance	Ordre	Parcelle 2 (4ha)	Parcelle 3 (4ha)	Parcelle 4 (4ha)									
En (N)	1	<i>Santiria trimera</i> (176)	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (340)	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (172)									
	2	<i>Coula edulis</i> (124)	<i>Santiria trimera</i> (151)	<i>Santiria trimera</i> (149)									
	3	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (70)	<i>Scorodophleus zenkeri</i> (117)	<i>Scorodophleus zenkeri</i> (98)									
	4	<i>Didium pachyphyllum</i> (64)	<i>Didium pachyphyllum</i> (94)	<i>Didium pachyphyllum</i> (94)									
	5	<i>Polyalthia suaveolens</i> (59)	<i>Scyphocephalum mannii</i> (46)	<i>Scyphocephalum mannii</i> (84)									
En (BA)	1	<i>Scyphocephalum mannii</i> (21.15)	<i>Scyphocephalum mannii</i> (13.81)	<i>Scyphocephalum mannii</i> (22.28)									
	2	<i>Coula edulis</i> (14.78)	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (9.79)	<i>Aucoumea klaineana</i> (9.41)									
	3	<i>Santiria trimera</i> (7.95)	<i>Scorodophleus zenkeri</i> (8.46)	<i>Neochevalierodendron stephanii</i> (7.25)									
	4	<i>Aucoumea klaineana</i> (7.65)	<i>Julbernardia pelligriniana</i> (6.17)	<i>Santiria trimera</i> (6.30)									
	5	<i>Dacryodes buettneri</i> (6.70)	<i>Santiria trimera</i> (6.02)	<i>Scorodophleus zenkeri</i> (6.18)									

8.3.4 Lien entre structure et diversité

Une matrice de corrélation a été réalisée pour permettre d'évaluer la dépendance des attributs structuraux, de la richesse spécifique et des indices de diversité entre eux et en même temps. La figure 8.10 présente une table de corrélation qui contient les valeurs des coefficients de corrélation de *Pearson* entre chaque variables et les autres. Une croix est affichée lorsque la corrélation n'est pas significative ($P > 0.05$), le cas échéant la valeur du coefficient entre -1 et 1. Cette table synthétique permet d'observer quel est le niveau de dépendance entre les différents paramètres.

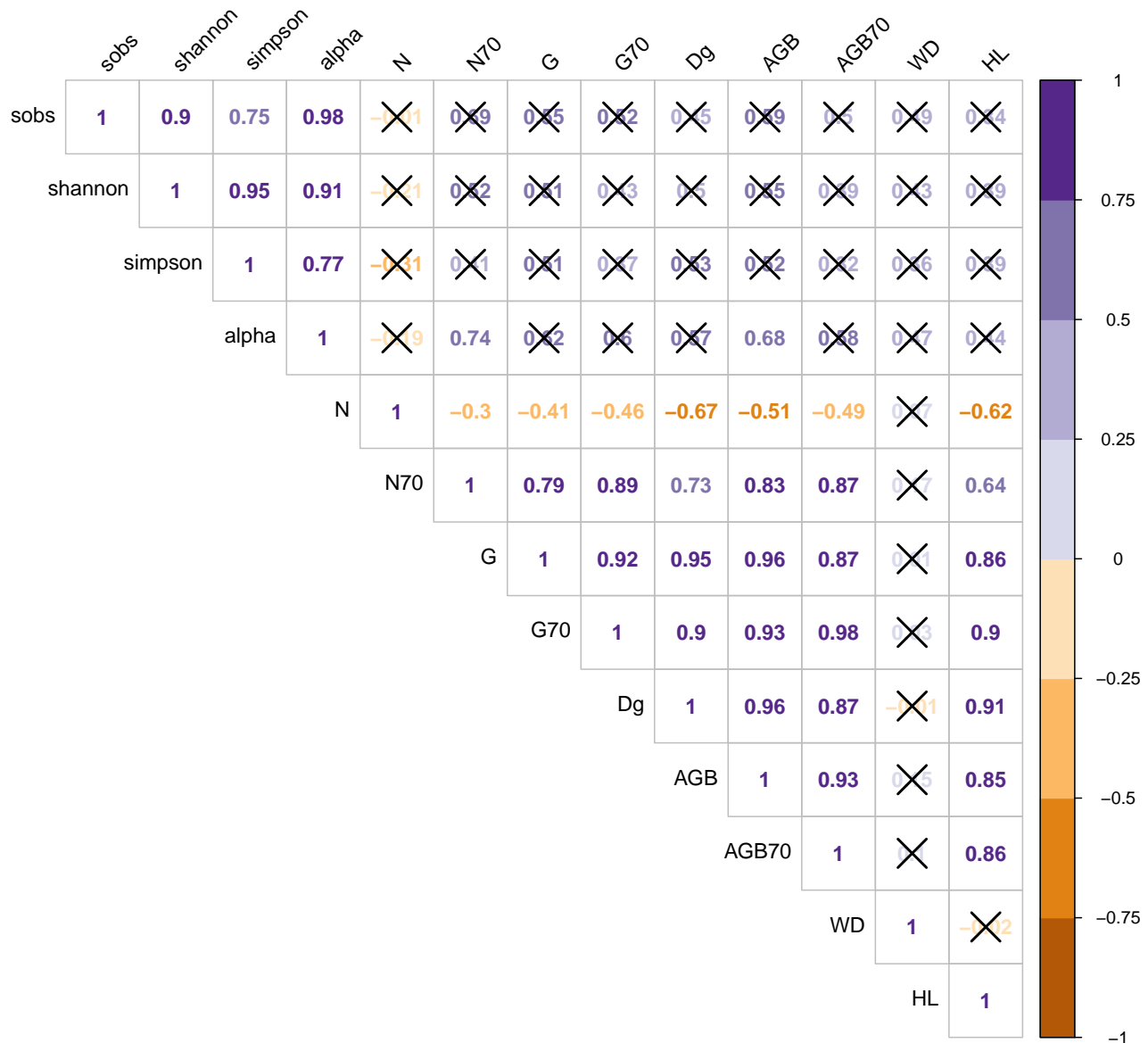


FIGURE 8.10 – Matrice de corrélation entre les attributs structuraux et indices de diversité.

Concernant les attributs structuraux des parcelles, deux variables se distinguent particulièrement des autres par leur valeur de coefficient : la variable densité de bois **WD** et la variable nombre de tiges à l'hectare **N**. La variable **WD** n'est corrélée significativement à aucune des autres variables du tableau. Il n'existe pour elle, pas de lien de dépendance significatif. La variable **N** quant à elle, ne montre que des valeurs de coefficient de corrélation négatives. Elle est anti-corrélée aux autres variables, ce qui signifie que quand une variable augmente, le nombre de tiges à l'hectare diminue obligatoirement. **N**

est anti-corrélé de manière la plus forte avec les variables **AGB** et **D_g**.

L'indice α de Fisher est le seul indicateur de diversité qui présente des corrélations significatives avec des attributs structuraux. La richesse spécifique, les indices de Shannon et Simpson sont uniquement corrélés entre eux (et avec alpha). Il n'y a pas de dépendances significatives entre ces trois indices et les attributs structuraux. α de Fisher est corrélé positivement avec **N₇₀** ($r = 0.74$) et **AGB** ($r = 0.68$). Il ne présente pas de corrélation significative avec les autres paramètres.

De manière générale, il existe de fortes dépendances significatives entre les attributs structuraux, à l'exception de **N**, avec qui tous les attributs structuraux sont anti-corrélés ou sans corrélation significative dans le cas de **WD**. La corrélation significative la plus forte observée est celle entre les variables **G₇₀** et **AGB₇₀** ($r = 0.98$). La corrélation négative la plus forte observée est entre la variable **N** et le diamètre quadratique moyen **D_g** ($r = -0.67$).

Le seul lien de corrélation observé entre la structure et la diversité est celui entre **alpha de Fisher** et **N₇₀** et **D_g**.

Chapitre 9

Discussion

L'objectif global de ce mémoire était d'implanter un dispositif robuste de suivi de la dynamique des forêts sempervirentes gabonaises et de faire l'état initial de la structure et de la composition/diversité du dispositif. Pour y répondre, un plan d'échantillonnage dans une zone historiquement perturbée par l'exploitation forestière a été dans un premier temps réalisé. Une mission de 3 mois au Gabon a ensuite permis d'installer et d'inventorier 3 parcelles de 4 ha (4465 arbres). Une description approfondie basée sur des paramètres structuraux, architecturaux, de composition, de biomasse aérienne et des indicateurs de diversité, ont par la suite, rendus possible de décrire les niveaux de différences entre les parcelles. Les résultats tirés des données d'inventaire montrent de manière générale que la parcelle 2 ressort à tous les niveaux par rapport aux deux autres parcelles, aussi bien en terme de structure que de diversité. Cette partie discussion traite de la comparaison des paramètres des parcelles dans le contexte globale des forêts tropicales.

9.1 Le dispositif P3FAC dans un contexte de forêt tropicale

Le dispositif P3FAC comme décrit dans mon travail, n'est pas encore achevé. Il est à ce stade, difficile de tirer des conclusions quant à la place réelle de la zone dans son contexte géographique global. Cependant, les valeurs moyennes des 3 parcelles installées peuvent déjà être comparées avec d'autres références régionales ou générales, concernant les forêts tropicales.

Lewis et al. (2013) a réalisé une comparaison de la structure forestière des forêts tropicales matures et intactes à couvert fermé, d'Afrique, d'Asie et d'Amérique. A **l'échelle continentale**, la forêt du dispositif P3FAC se distingue des forêts américaines (Amazonie centrale et de l'est) et asiatiques (basées sur Bornéo) par une densité moyenne de tiges **N** bien plus faible (372 tiges.ha⁻¹) en comparaison aux chiffres atteints par les deux autres continents (602 et 597 tiges.ha⁻¹ pour l'Asie et l'Amérique du sud respectivement). Son niveau de biomasse aérienne **AGB** moyen à l'hectare (395.6 Mg.ha⁻¹) se situe entre les valeurs présentées par les deux autres continents — plus faible que la biomasse aérienne pour l'Asie (445 Mg.ha⁻¹), mais plus élevé que la moyenne pour l'amazonie (341 Mg.ha⁻¹). De manière intéressante, la densité moyenne du bois du dispositif est légèrement plus élevée (0.69 g.cm⁻³) que pour ses homonymes américaines (0.66 g.cm⁻³) et asiatiques (0.6 g.cm⁻³). La valeur moyenne de surface terrière du dispositif (30.2 m².ha⁻¹) ne se distingue pas de la valeur américaine (29 m².ha⁻¹) dont elle est très proche. Cependant, elle se voit plus faible que la valeur de référence asiatique (37.1 m².ha⁻¹). Le tableau 9.1 reprend ces valeurs à l'échelle continentale et permet d'observer les maxima (en rouge)

pour les paramètres descriptifs. Parmi les attributs comparés, l'Asie se démarque avec les plus grandes valeurs affichées à l'exception de la densité de bois **WD**, dont le maximum est observé pour la valeur moyenne du dispositif P3FAC.

TABLE 9.1 – Tableau présentant les valeurs de paramètres structuraux des forêts tropicales à l'échelle continentale de Lewis et al. (2013) (pour le continent africain, les valeurs moyennes concernant l'Afrique centrale sont reprises).

Attributs		Dispositif P3FAC	Amazonie	Asie	Afrique
Structuraux	N (ha^{-1})	372	597	602	425
	G ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)	30.2	29	37.1	31.5
Composition	WD ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.69	0.66	0.6	0.65
Biomasse aérienne	AGB ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	395.6	341	445	429

Toujours à l'échelle continentale, les valeurs de biomasse aérienne peuvent être observées plus précisément. Slik et al. (2013) a dans son travail exposé les valeurs de biomasse aérienne en fonction de la densité par hectare des arbres à large diamètre (≥ 70 cm), pour les 3 continents considérés. La projection des valeurs de **AGB** de notre dispositif sur son graphique permet d'observer à quel niveau il se situe en terme de biomasse aérienne (figure 9.1).

Malgré les différences de biomasse aérienne en fonction de la densité en tiges de large diamètre inter- et intra-parcelles, la gamme de variation du dispositif P3FAC correspond aux variations présentées par Slik et al. (2013). La pente de la droite d'ajustement (pointillés) sur les valeurs des carrés des parcelles est presque la même que celle ajustée pour les 3 continents. La relation **N₇₀** avec **AGB**

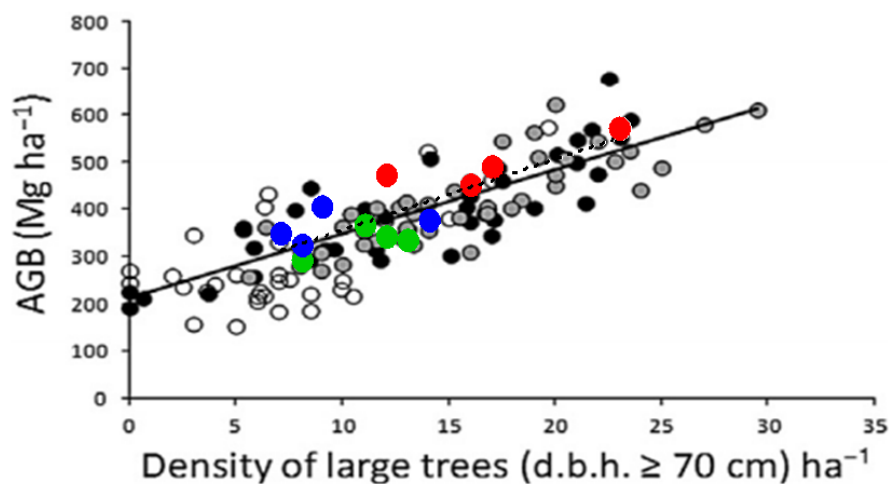


FIGURE 9.1 – Relation AGB/N_{70} pour chaque carré de chaque parcelle. L'Amérique du sud est représentée par les cercles blancs, l'Afrique par les cercles gris et l'Asie par les cercles noirs. Les parcelles du dispositif sont en couleur : rouge pour la parcelle 2, vert = parcelle 3 et bleu = parcelle 4.

est confirmée. On observe également sur ce même graphique, que la contribution des arbres de large diamètre (≥ 70 cm) à la biomasse aérienne est plus forte pour le dispositif que pour les valeurs de références américaines. Cette même tendance est présentée par les données de Slik et fait le lien avec la faible densité en gros diamètre des forêts tropicales américaines.

De manière claire, les valeurs observées pour l'Asie sont supérieures à celles du dispositif. Ces différences apparaissent pour plusieurs raisons. Le nombre de tiges en Afrique centrale est principalement plus faible dû à la pression exercées par les larges mammifères. L'Asie présente des densités en larges mammifères plus faibles (Harrison et al., 2013).

Cependant, si l'on s'intéresse maintenant à l'**échelle régionale**, entre le dispositif et les valeurs moyennes pour l'Afrique centrale (Lewis et al., 2013), différents contrastes apparaissent également parmi les attributs (tableau 9.1). Il apparaît que la densité de tiges à l'hectare est plus faible pour le dispositif ($372 \text{ tiges.ha}^{-1}$) que pour la moyenne d'Afrique centrale ($425 \text{ tiges.ha}^{-1}$). Les valeurs pour les surfaces terrières peuvent être supposées équivalentes, étant très proches (30.2 et $31.5 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$). La densité de bois moyenne est légèrement supérieur (0.69 g.cm^3) à la moyenne pour l'Afrique centrale (0.65 g.cm^3). Finalement, la biomasse aérienne moyenne pour les 3 parcelles (395.6 Mg.ha^{-1}) est inférieur à la biomasse moyenne présentée par Lewis et al. (2013) (429 Mg.ha^{-1}).

Les différences observée entre les moyennes pour l'Afrique centrale et le dispositif ont sans doute différentes origines. Les 12 ha inventoriés représentent une infime surface comparées à la taille de la forêt du bassin congolais et les valeurs du dispositif peuvent simplement représenter des valeurs ponctuelles. Sur la figure 9.2, on peut observer la forte hétérogénéité pour la densité en tiges à l'hectare à l'échelle du Gabon. De plus, la zone du dispositif a déjà été exploitée par le passé. Les plus gros diamètres ayant déjà été prélevés, il est compréhensible d'observer une biomasse aérienne moyenne plus faible pour le dispositif qu'à l'échelle du bassin. Malgré tout, les résultats obtenus pour le dispositif coïncident avec ceux de Lewis : "[...] les forêts africaines présentes des arbres de grandes hauteurs, avec un AGB élevé, une faible densité de tiges et une densité de bois moyenne élevée".

Une comparaison des données obtenues pour les 3 parcelles peut être réalisée avec le travail de

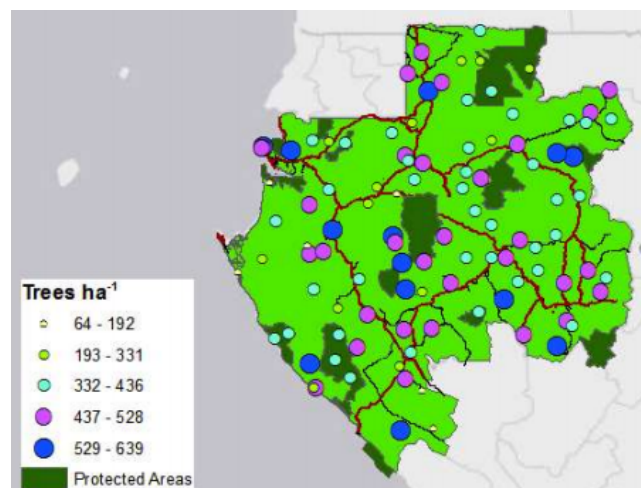


FIGURE 9.2 – Densité de tiges à l'hectare à travers le Gabon (Source :ANPN (2014)).

Panzou (2018). Le dispositif installé est similaire à celui décrit dans ce travail et est relativement proche géographiquement. Ses sites d'études sont cependant représentatifs d'un type forestier différent de celui-ci observé dans le dispositif P3FAC : une forêt mixte dominée par les *Manilkara* et *Celtis*.

Forest attributes		<i>Celtis</i>	<i>Manilkara</i>	P-value
Structure	<i>SD</i>	350 ± 35 ^a	430 ± 22 ^b	0.001
	<i>SD</i> ₇₀	15 ± 4 ^a	12 ± 2 ^b	0.008
	<i>BA</i>	29.49 ± 3.44 ^a	29.48 ± 2.42 ^a	0.162
	<i>BA</i> ₇₀	11.28 ± 4.21 ^a	8.74 ± 2.30 ^b	0.002
	<i>D</i> _{max}	86.59 ± 11.06 ^a	77.5 ± 7.53 ^b	0.001
Composition	<i>WD</i> _m	0.65 ± 0.02 ^a	0.68 ± 0.01 ^b	0.001
	<i>WD</i> _{BA}	0.65 ± 0.03 ^a	0.67 ± 0.02 ^b	0.001
Architecture	<i>H</i> _m	18.31 ± 0.53 ^a	18.03 ± 0.32 ^b	0.009
	<i>H</i> _{BA}	30.31 ± 1.58 ^a	28.47 ± 0.91 ^b	0.001
	<i>Cd</i> _m	6.29 ± 0.17 ^a	6.17 ± 0.10 ^b	0.001
	<i>Cd</i> _{BA}	10.88 ± 0.90 ^a	9.99 ± 0.49 ^b	0.001
	<i>Cr</i> _m	2.46 ± 0.11 ^a	2.35 ± 0.06 ^b	0.001
	<i>Cr</i> _{BA}	5.90 ± 0.85 ^a	5.14 ± 0.44 ^b	0.001
AGB		370 ± 67 ^a	375 ± 41 ^a	0.707

FIGURE 9.3 – Différences entre les attributs forestiers entre les forêts à *Celtis* et *Manilkara* du nord Congo. *SD* = nombre de tiges à l'hectare. *SD*₇₀ = nombre de tiges de grands diamètre à l'hectare. *BA* = surface terrière (m².ha⁻¹). *BA*₇₀ = surface terrière pour les grands diamètres (m².ha⁻¹). *WD* = densité de bois (g.cm⁻³). (Source : Panzou (2018))

Si l'on compare les valeurs moyennes obtenues pour les 3 parcelles, plusieurs différences apparaissent entre les attributs (figure 9.3). La densité de tiges moyenne **N** (372 tiges.ha⁻¹) pour les 3 parcelles est située entre les valeurs présentées par Panzou (2018). La forêt à *Manilkara* est plus riche en tiges à l'hectare que le dispositif P3FAC PW-CEB. Le nombre de tiges à l'hectare entre les sites à *Celtis* et ceux du dispositifs P3FAC sont similaires. Concernant le nombre de tiges (D > 70 cm) **N**₇₀ à l'hectare, le dispositif P3FAC (12.5 tiges.ha⁻¹) est similaire aux sites à *Manilkara* du nord Congo. Les sites dominés par le *Celtis* présentent des chiffres plus élevés. Les surfaces terrières **G** (30.23 m².ha⁻¹) et **G**₇₀ (9.27 m².ha⁻¹) du dispositif P3FAC sont proches de celles présentées par Panzou (2018). La densité de bois du dispositif P3FAC (0.691 g.cm⁻³) est équivalente à celle des sites à *Manilkara* et légèrement supérieure à celle des sites à *Celtis*. Concernant la biomasse aérienne **AGB**, le dispositif P3FAC présente une valeur moyenne plus élevée (395.6 Mg.ha⁻¹) que celles présentées par les sites du nord Congo.

Les valeurs globales sont relativement proches entre les deux dispositifs, reflétant tous les deux les valeurs moyennes présentées par Lewis et al. (2013) pour l'Afrique centrale. Les petites différences sont sans doute dues aux types forestiers différents, caractérisants les dispositifs.

9.2 Hétérogénéité au sein des parcelles

Malgré des patrons similaires aux moyennes pour l'Afrique centrale, on observe une hétérogénéité locale entre les parcelles. Supposées être très proches (méthode d'échantillonnage), la parcelle 2 se distingue des deux autres parcelles par des valeurs plus élevées pour tous les paramètres. Sa biomasse aérienne montre d'ailleurs un pic particulièrement élevé. Les corrélations observées dans le tableau 8.5 permettent d'expliquer cette observation.

La parcelle 2 présente une densité de tiges à l'hectare plus faible que les deux autres parcelles. Sa densité de tiges de large diamètre ($> 70\text{cm}$) est cependant bien plus élevée. De manière logique, tous les autres attributs pour la parcelle sont plus grands (G , D_{70}, \dots). Si l'on se réfère au tableau de corrélation de la figure 8.10, on observe que c'est bien à la densité de tiges de large diamètre N_{70} que sont corrélés positivement les autres attributs structuraux et non à N .

Ces fortes différences structurales entre la parcelles 2 et les deux autres parcelles peuvent avoir différentes origines. Les forêts africaines sont reconnues pour être caractérisées par un faible nombre de pieds à l'hectare et des arbres de grandes tailles en hauteur et diamètre. Ces caractéristiques sont expliquées par une faible fréquence des régimes de perturbation au cours des dernières décennies sur les forêts africaines, laissant le temps aux arbres de grandir et aux peuplements de s'éclaircir d'eux-mêmes (Lewis et al., 2013). Dans son article, Galbraith et al. (2013) explique que les temps de résidence de la biomasse sont supérieurs dans les forêts tropicales africaines et asiatiques en comparaison aux forêts américaines, dont les régimes de perturbations sont plus fréquents. De plus, l'exploitation antérieure peut avoir un impact encore visible aujourd'hui sur les différences observées entre les parcelles, en perturbant localement une zone plus que l'autre par une intensité de prélèvement différente. Finalement, ces différences pourraient être également liées à des conditions abiotiques comme des différences très locales des facteurs édaphiques ou topographiques.

9.3 Diversité vs Structure

L'analyse des liens entre les attributs structuraux et les indices de diversité (figure 8.10) ont montrés des résultats intéressants. Parmi les indices de diversité, seul alpha de Fisher est corrélé positivement et significativement avec des attributs structuraux : N_{70} ($r=0.74$) et AGB ($r=0.68$). Par ailleurs, ces deux attributs structuraux sont fortement corrélés entre eux ($r=0.83$). La parcelle 2 présente un alpha de Fisher plus élevé que les deux autres parcelles (figure 8.8) mais également une biomasse plus élevée (figure 8.5). Cette observation coïncide avec la conclusion que Poorter et al. (2015) a tirée, comme quoi la diversité renforce le stockage de carbone dans les forêts tropicales.

Cependant, il est étonnant de ne pas observer plus de corrélation significative entre les indices de diversité et les attributs structuraux. Sullivan et al. (2017) explique que les relations observées entre la diversité et la structure sont faibles lorsque l'on travaille sur une petite échelle (1 ha). Les effets de la diversité sur la structure seraient donc dépendants de l'échelle. On peut supposer que si les données de plus de parcelles sont compilées, on obtiendrait une corrélation significative entre les indices de diversités et les attributs structuraux. Aux vues de ces résultats, il est important que les politiques de gestion du carbone tiennent compte de la biodiversité des forêts tropicales.

Quatrième partie

Conclusion générale

Chapitre 10

Conclusion

Ce travail fournit de nouvelles informations concernant les forêts denses humides sempervirentes de l'est du Gabon. Il contribue à l'amélioration des connaissances et la caractérisation locale de ces écosystèmes complexes. L'étude met en exergue la complexité de trouver des zones de forêt intacte au Gabon pour installer un dispositif permanent de suivi de la dynamique forestière, la majorité de la surface du pays étant en concession forestière. De faibles différences apparaissent entre les parcelles du dispositif, pouvant être expliquées par des perturbations naturelles ou anthropiques. Cependant, la forêt du dispositif montre des valeurs cohérentes par rapport à la forêt tropicale du bassin du Congo, s'inscrivant dans le même schéma général. De fortes corrélations entre la structure de la forêt (densité des grands arbres, surface terrière, diamètre quadratique moyen), l'architecture (hauteur de Lorey) et la biomasse aérienne ont été observées. Aucune corrélation avec la composition (densité de bois) n'a cependant été observée avec les autres attributs. De plus, des corrélations ont été observées entre un indicateur de diversité (alpha de Fisher) et un attribut structural (densité des grands arbres) et la biomasse aérienne, confirmant la contribution de la diversité au stock de carbone dans les forêts tropicales.

Bibliographie

- Achard, F., Eva, H. D., Stibig, H.-J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., and Malingreau, J.-P. (2002). Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297(5583) :999–1002.
- Alder, D. and Synnott, T. J. (1992). *Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest*. Oxford Forestry Institute, University of Oxford.
- ANPN (2014). Mesure de la biomasse d'un arbre. Technical report, Agence Nationale des Parcs Nationaux.
- Bamba, I., Barima, Y. S. S., and Bogaert, J. (2010). Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du congo en rd congo. *Tropical Conservation Science*, 3(1) :31–44.
- Beals, E. W. (1984). Bray-curtis ordination : an effective strategy for analysis of multivariate ecological data. In *Advances in ecological research*, volume 14, pages 1–55. Elsevier.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., and Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5 :180214.
- Bergonzini, J.-C. and Lanly, J.-P. (2000). *Les forêts tropicales*. Editions Quae.
- Blaser, J., Sarre, A., Poore, D., and Johnson, S. (2005). Status of tropical forest management 2005. *ITTO technical series*, 24.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change : forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *science*, 320(5882) :1444–1449.
- Bourland, N. (2013). *Dynamique d'une espèce ligneuse héliophile longévive dans un monde changeant : le cas de Pericopsis elata (Harms) Meeuwen (Fabaceae) au sud-est du Cameroun*. PhD thesis, Ph. D. Thesis, Université de Liège/Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgium
- Brashares, J. S., Golden, C. D., Weinbaum, K. Z., Barrett, C. B., and Okello, G. V. (2011). Economic and geographic drivers of wildlife consumption in rural africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(34) :13931–13936.
- Bray, J. R. and Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4) :325–349.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., and Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters*, 12(4) :351–366.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10) :3177–3190.
- CJB (2019). *Didelotia letouzeyi*.
- Clark, L. E. and Sunderland, T. C. (2004). The key non-timber forest products of central africa : state of the knowledge.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'neill, R. V., Paruelo, J., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630) :253.
- Dainou, K., Doucet, J.-L., Sinsin, B., and Mahy, G. (2012). Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'afrique centrale : le cas de milicia spp.(synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 16(2) :229–241.

- De Wasseige, C., De Marcken, P., Bayol, N., Hiol Hiol, F., Mayaux, P., Desclée, B., Billand, A., and Nasi, R. (2012). *Les forêts du Bassin du Congo : état des forêts 2010*. Office des publications de l'Union européenne.
- Defourny, P., Delhage, C., and Kibambe Lubamba, J.-P. (2011). Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en république démocratique du Congo. *UCL/FAO/National REDD Coordination*.
- Delgado, C. L. (2003). Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. *The Journal of nutrition*, 133(11) :3907S–3910S.
- Doucet, J.-L. (2003). *L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon*. PhD thesis, Thèse de doctorat : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de
- Doucet, J.-L., Kouadio, Y. L., Monticelli, D., and Lejeune, P. (2009). Enrichment of logging gaps with moabi (*baillonella toxisperma pierre*) in a central african rain forest. *Forest Ecology and Management*, 258(11) :2407–2415.
- Engone Obiang, N. L., Ngomanda, A., Mboma, R., Nzabi, T., Ngoye, A., Atsima, L., and Picard, N. (2011). Biodiversité et perturbations anthropiques : le cas de la forêt du haut abanga au Gabon.
- Fa, J. E. and Brown, D. (2009). Impacts of hunting on mammals in African tropical moist forests : a review and synthesis. *Mammal Review*, 39(4) :231–264.
- Faith, D. P., Minchin, P. R., and Belbin, L. (1987). Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio*, 69(1-3) :57–68.
- FAO (2015). Global forest resources assessment 2015. Technical Report FAO Forestry Paper No. 1, UN Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAOSTAT, F. (2017). Available online : <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. *QC (accessed on January 2018)*.
- Fayolle, A., Engelbrecht, B., Freycon, V., Mortier, F., Swaine, M., Réjou-Méchain, M., Doucet, J.-L., Fauvet, N., Cornu, G., and Gourlet-Fleury, S. (2012). Geological substrates shape tree species and trait distributions in African moist forests. *PloS one*, 7(8) :e42381.
- Fayolle, A., Swaine, M. D., Bastin, J.-F., Bourland, N., Comiskey, J. A., Dauby, G., Doucet, J.-L., Gillet, J.-F., Gourlet-Fleury, S., Hardy, O. J., et al. (2014). Patterns of tree species composition across tropical African forests. *Journal of Biogeography*, 41(12) :2320–2331.
- Fisher, R. A., Corbet, A. S., and Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *The Journal of Animal Ecology*, pages 42–58.
- Frankema, E. and van Waijenburg, M. (2018). Africa rising? a historical perspective. *African Affairs*, 117(469) :543–568.
- Freycon, V. (2017). Caractérisation des sols de la CEB (Gabon). rapport de mission Dynaffor, 7 au 16 juin 2016.
- FRM (2018). Vision stratégique et industrialisation de la filière bois en Afrique centrale.
- FSC (2015). Fsc facts & figures.
- FSC (2019). Fsc facts & figures.
- Galbraith, D., Malhi, Y., Affum-Baffoe, K., Castanho, A. D., Doughty, C. E., Fisher, R. A., Lewis, S. L., Peh, K. S.-H., Phillips, O. L., Quesada, C. A., et al. (2013). Residence times of woody biomass in tropical forests. *Plant Ecology & Diversity*, 6(1) :139–157.
- Gillet, J.-F. (2017). Rapport de mission 1 projets AfriTimb et p3fac 2017. Technical report, Nature Forest Environment.
- Gonmadje, C. F., Doumenge, C., Sunderland, T. C., Balinga, M. P., and Sonké, B. (2012). Analyse phytogéographique des forêts d'Afrique centrale : le cas du massif de Ngovayang (Cameroun). *Plant Ecology and Evolution*, 145(2) :152–164.
- Gourlet-Fleury, S., Mortier, F., Fayolle, A., Baya, F., Ouédraogo, D., Bénédet, F., and Picard, N. (2013). Tropical forest recovery from logging : a 24 year silvicultural experiment from central Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 368(1625) :20120302.
- Grainger, A. (2010). Uncertainty in the construction of global knowledge of tropical forests. *Progress in Physical Geography*, 34(6) :811–844.

- Groenendijk, P., Sass-Klaassen, U., Bongers, F., and Zuidema, P. A. (2014). Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest : a case study on 22 commercial tree species in central africa. *Forest Ecology and Management*, 323 :65–78.
- Guariguata, M. R., Sist, P., and Nasi, R. (2012). Reprint of : Multiple use management of tropical production forests : How can we move from concept to reality? *Forest ecology and management*, 268 :1–5.
- Guichard, E. and Layaud, R. (1980). Etude pédologique de sites pour des plantations d'espèces ligneuses à croissance rapide dans les savanes du haut-ogoué.
- Harrison, R. D., Tan, S., Plotkin, J. B., Slik, F., Detto, M., Brenes, T., Itoh, A., and Davies, S. J. (2013). Consequences of defaunation for a tropical tree community. *Ecology letters*, 16(5) :687–694.
- Hart, T. B. (1995). Seed, seedling and sub-canopy survival in monodominant and mixed forests of the ituri forest, africa. *Journal of Tropical Ecology*, 11(3) :443–459.
- Haurez, B., Daïnou, K., Vermeulen, C., Kleinschroth, F., Mortier, F., Gourlet-Fleury, S., and Doucet, J.-L. (2017). A look at intact forest landscapes (ifls) and their relevance in central african forest policy. *Forest Policy and Economics*, 80 :192–199.
- Haurez, B., Petre, C.-A., Vermeulen, C., Tagg, N., and Doucet, J.-L. (2014). Western lowland gorilla density and nesting behavior in a gabonese forest logged for 25 years : implications for gorilla conservation. *Biodiversity and conservation*, 23(11) :2669–2687.
- Hunter, P. R. and Gaston, M. A. (1988). Numerical index of the discriminatory ability of typing systems : an application of simpson's index of diversity. *Journal of clinical microbiology*, 26(11) :2465–2466.
- Jeanmart, P. and Demarquez, B. (2018). Résumé public du plan d'aménagement de la concession forestière sous aménagement durable de la société pw-ceb. Technical report, Precious Woods.
- Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Gallali, T., Hallett, S., Jones, R., Kilasara, M., et al. (2013). *Soil atlas of Africa*.
- Kambale, J.-L. K., Shutsha, R. E., Katembo, E. W., Omatoko, J. M., Kirongozi, F. B., Basa, O. D., Bugentho, E. P., Yokana, E. I., Bukasa, K. K., Nshimba, H. S., et al. (2016). Etude floristique et structurale de deux groupements végétaux mixtes sur terre hydromorphe et ferme de la forêt de kponyo (province du bas-uélé, rd congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 24(2) :300–308.
- Karsenty, A., Drigo, I. G., Piketty, M.-G., and Singer, B. (2008). Regulating industrial forest concessions in central africa and south america. *Forest Ecology and Management*, 256(7) :1498–1508.
- Katembo, W., Amani, A., Lejoly, J., and Nshimba, S. (2018). Organisation des populations de limbali (gilbertiodendron dewevrei) et leur dynamique de colonisation dans les forêts de la cuvette centrale congolaise. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo-RIFFEAC*, 10 :36–44.
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., and Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area : Results from the fao global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352 :9–20.
- Laporte, N. T., Stabach, J. A., Grosch, R., Lin, T. S., and Goetz, S. J. (2007). Expansion of industrial logging in central africa. *Science*, 316(5830) :1451–1451.
- Lassagne, A. (2005). Exploitation forestière, développement durable et stratégies de pouvoir dans une forêt tropicale camerounaise. *Anthropologie et sociétés*, 29(1) :49–79.
- Laurance, W. F. (2001). Tropical logging and human invasions. *Conservation Biology*.
- Laurance, W. F., Alonso, A., Lee, M., and Campbell, P. (2006). Challenges for forest conservation in gabon, central africa. *Futures*, 38(4) :454–470.
- Lauro, N., D'ambra, L., et al. (1984). L'analyse non symétrique des correspondances. *Data analysis and informatics*, 3 :433–446.
- Lefsky, M. A. (2010). A global forest canopy height map from the moderate resolution imaging spectroradiometer and the geoscience laser altimeter system. *Geophysical Research Letters*, 37(15).
- Lewis, S. L. (2005). Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 361(1465) :195–210.
- Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., van der Heijden, G. M., and Nepstad, D. (2011). The 2010 amazon drought. *Science*, 331(6017) :554–554.

- Lewis, S. L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T. R., Ojo, L. O., Phillips, O. L., Reitsma, J. M., White, L., Comiskey, J. A., et al. (2009). Increasing carbon storage in intact african tropical forests. *Nature*, 457(7232) :1003.
- Lewis, S. L., Sonké, B., Sunderland, T., Begne, S. K., Lopez-Gonzalez, G., Van Der Heijden, G. M., Phillips, O. L., Affum-Baffoe, K., Baker, T. R., Banin, L., et al. (2013). Above-ground biomass and structure of 260 african tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 368(1625) :20120295.
- Lhoest, S., Dufrêne, M., Vermeulen, C., Oszwald, J., Doucet, J.-L., and Fayolle, A. (2019). Perceptions of ecosystem services provided by tropical forests to local populations in cameroon. *Ecosystem Services*, 38 :100956.
- Lhoest, S., Fonteyn, D., Hette, S., Fayolle, A., Doucet, J.-L., Dufrêne, M., and Vermeulen, C. (2018). Assessment of mammal biodiversity and bushmeat offtake in the tropical forests of southeastern cameroon.
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., and Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863) :607–610.
- Malhi, Y., Baker, T. R., Phillips, O. L., Almeida, S., Alvarez, E., Arroyo, L., Chave, J., Czimczik, C. I., Fiore, A. D., Higuchi, N., et al. (2004). The above-ground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10(5) :563–591.
- Marcon, E. (2015). Mesures de la biodiversité.
- Marien, J.-N., Gourlet-Fleury, S., Peltier, R., Daïnou, K., Vermeulen, C., Doucet, J.-L., Gillet, J.-F., Lusenège, T., Van Geit, M., Lejeune, G., et al. (2014). Les plantations forestières en afrique centrale : des sylvicultures nouvelles pour répondre aux nouveaux besoins des sociétés. *Les forêts du Bassin du Congo-Etat des forêts 2013*, pages 197–212.
- Meunier, Q., Moumbogou, C., and Doucet, J.-L. (2015). *Les arbres utiles du Gabon*. Presses agronomiques de Gembloux.
- Milesi, J., Toteu, S., Deschamps, Y., Feybesse, J., Lerouge, C., Cocherie, A., Penaye, J., Tchameni, R., Moloto-A-Kenguemba, G., Kampunzu, H., et al. (2006). An overview of the geology and major ore deposits of central africa : Explanatory note for the 1 : 4,000,000 map “geology and major ore deposits of central africa”. *Journal of African Earth Sciences*, 44(4-5) :571–595.
- Mitchard, E. T. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715) :527.
- Nasi, R., Nguinguiri, J. C., de Blas, E., et al. (2006). Exploitation et gestion durable des forêts en afrique centrale : la quête de la durabilité.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Phillips, H. R., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Blandon, A., Butchart, S. H., Booth, H. L., Day, J., et al. (2014). A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 281(1792) :20141371.
- Panzou, G. (2018). *Biomasse et stocks de carbone en Afrique centrale : importance de l'allométrie des arbres*. PhD thesis, Université de Liège, Liège, Belgique.
- Peet, R. K. (1974). The measurement of species diversity. *Annual review of ecology and systematics*, 5(1) :285–307.
- Peh, K. S.-H., Lewis, S. L., and Lloyd, J. (2011). Mechanisms of monodominance in diverse tropical tree-dominated systems. *Journal of Ecology*, 99(4) :891–898.
- 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., et al. (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.
- Picard, N. and Gourlet-Fleury, S. (2008). *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. CO-MIFAC.
- Picard, N., Magnussen, S., Banak, L. N., Namkossere, S., and Yalibanda, Y. (2010). Permanent sample plots for natural tropical forests : a rationale with special emphasis on central africa. *Environmental Monitoring and assessment*, 164(1-4) :279–295.
- Poorter, L., Van Der Sande, M., Thompson, J., Arets, E., Alarcón, A., Álvarez-Sánchez, J., Ascarunz, N., Balvanera, P., Barajas-Guzmán, G., Boit, A., et al. (2015). Diversity enhances carbon storage

- in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11) :1314–1328.
- Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., Aksenov, D., Egorov, A., Yesipova, Y., Glushkov, I., et al. (2008). Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society*, 13(2).
- Prance, G. T. (2002). Species survival and carbon retention in commercially exploited tropical rainforest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1797) :1777–1785.
- Putz, F. E., Dykstra, D. P., and Heinrich, R. (2000). Why poor logging practices persist in the tropics. *Conservation Biology*, 14(4) :951–956.
- Putz, F. E., Sist, P., Fredericksen, T., and Dykstra, D. (2008). Reduced-impact logging : challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 256(7) :1427–1433.
- Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J., and Hérault, B. (2017). biomass : an r package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9) :1163–1167.
- Repetto, R. (1987). Economic incentives for sustainable production. *The Annals of Regional Science*, 21(3) :44–59.
- Rice, R. E., Gullison, R. E., and Reid, J. W. (1997). Can sustainable management save tropical forests? *Scientific American*, 276(4) :44–49.
- Ripple, W. J., Abernethy, K., Betts, M. G., Chapron, G., Dirzo, R., Galetti, M., Levi, T., Lindsey, P. A., Macdonald, D. W., Machovina, B., et al. (2016). Bushmeat hunting and extinction risk to the world's mammals. *Royal Society open science*, 3(10) :160498.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X.-B., Epstein, P. R., and Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events ; implications for food production, plant diseases, and pests. *Global change & human health*, 2(2) :90–104.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T. L., Estrella, N., Seguin, B., et al. (2008). Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453(7193) :353.
- Ruitenbeek, H. J. (1990). *Evaluating economic policies for promoting rainforest conservation in developing countries*. PhD thesis, The London School of Economics and Political Science (LSE).
- Schneider, T., Bischoff, T., and Haug, G. H. (2014). Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. *Nature*, 513(7516) :45.
- Schoene, D., Killmann, W., von Lüpke, H., and Wilkie, M. L. (2007). *Definitional issues related to reducing emissions from deforestation in developing countries*, volume 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Semboli, O. (2017). *Impacts de différents traitements sylvicoles sur la diversité et la dynamique spatiale et temporelle d'un peuplement ligneux en forêt dense semi-caducifoliée : étude expérimentale sur le dispositif de Mbaïki (République Centrafricaine)*. PhD thesis, Amiens.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell system technical journal*, 27(3) :379–423.
- Sizer, N., Plouvier, D., et al. (2000). *Increased investment and trade by transnational logging companies in Africa, the Caribbean and the Pacific : Implications for the sustainable management and conservation of tropical forests*. WWF.
- Slik, J. F., Arroyo-Rodríguez, V., Aiba, S.-I., Alvarez-Loayza, P., Alves, L. F., Ashton, P., Balvanera, P., Bastian, M. L., Bellingham, P. J., Van Den Berg, E., et al. (2015). An estimate of the number of tropical tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24) :7472–7477.
- Slik, J. F., Paoli, G., McGuire, K., Amaral, I., Barroso, J., Bastian, M., Blanc, L., Bongers, F., Boundja, P., Clark, C., et al. (2013). Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global ecology and biogeography*, 22(12) :1261–1271.
- Stoner, K. E., Riba-Hernández, P., Vulinec, K., and Lambert, J. E. (2007). The role of mammals in creating and modifying seedshadows in tropical forests and some possible consequences of their elimination. *Biotropica*, 39(3) :316–327.
- Sullivan, M. J., Talbot, J., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Qie, L., Begne, S. K., Chave, J., Cuni-Sanchez, A.,

- Hubau, W., Lopez-Gonzalez, G., et al. (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports*, 7 :39102.
- Teisserenc, P. and Villemin, J. (1989). Sedimentary basin of gabon—geology and oil systems.
- Terheggen, A. (2011). The tropical timber industry in gabon : a forward linkages approach to industrialisation.
- van Vliet, N. and Mbazza, P. (2011). Recognizing the multiple reasons for bushmeat consumption in urban areas : a necessary step toward the sustainable use of wildlife for food in central africa. *Human Dimensions of Wildlife*, 16(1) :45–54.
- Verbeeck, H., Boeckx, P., and Steppe, K. (2011). Tropical forests : include congo basin. *Nature*, 479(7372) :179.
- Vermeulen, C. and Karsenty, A. (2015). Les concessions forestières des communautés locales : une avancée potentielle pour la foresterie sociale en rdc. *Cahiers Africains-Afrika Studies*, 86 :97–112.
- Vermeulen, C., Mutambwe, S., Dubiez, E., Procs, P., Peltier, R., Marien, J.-N., and Doucet, J.-L. (2010). Enjeux fonciers et exploitation du bois-énergie en périphérie de kinshasa, rdc.
- Wang, B. C., Sork, V. L., Leong, M. T., and Smith, T. B. (2007). Hunting of mammals reduces seed removal and dispersal of the afro-tropical tree *Antrocaryon klaineianum* (Anacardiaceae). *Biotropica*, 39(3) :340–347.
- Weber, F. (1968). *Une série précambrienne du Gabon : le Francevillien. Sédimentologie, géochimie, relations avec les gîtes minéraux associés*, volume 28. Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.
- White, F. et al. (1983). *The vegetation of Africa.*, volume 20.
- Wilkie, D. S., Starkey, M., Abernethy, K., Effa, E. N., Telfer, P., and Godoy, R. (2005). Role of prices and wealth in consumer demand for bushmeat in gabon, central africa. *Conservation biology*, 19(1) :268–274.
- Zhang, Q., Devers, D., Desch, A., Justice, C. O., and Townshend, J. (2005). Mapping tropical deforestation in central africa. *Environmental monitoring and assessment*, 101(1-3) :69–83.
- Zimmerman, B. L. and Kormos, C. F. (2012). Prospects for sustainable logging in tropical forests. *BioScience*, 62(5) :479–487.

Cinquième partie

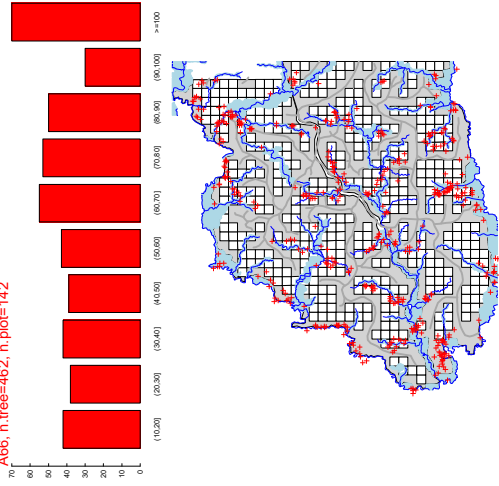
Annexes

Annexe A

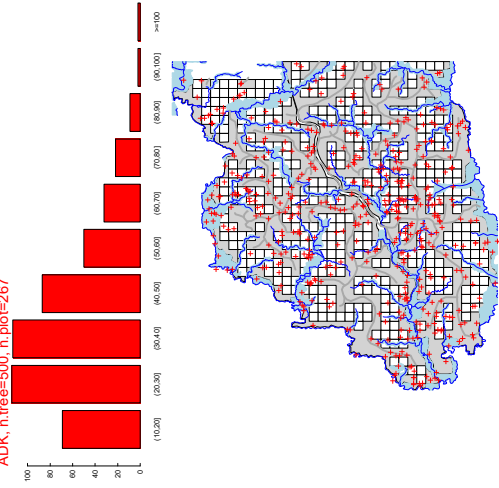
Pré-inventaire

A.1 Distribution spatiale et diamétrique des essences commerciales du projet P3FAC

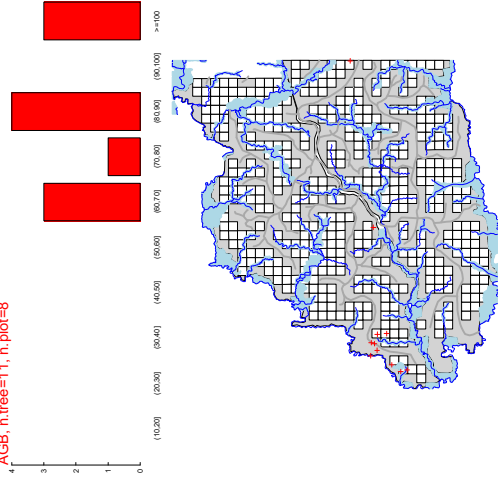
A66, n.tree=462, n.plot=142



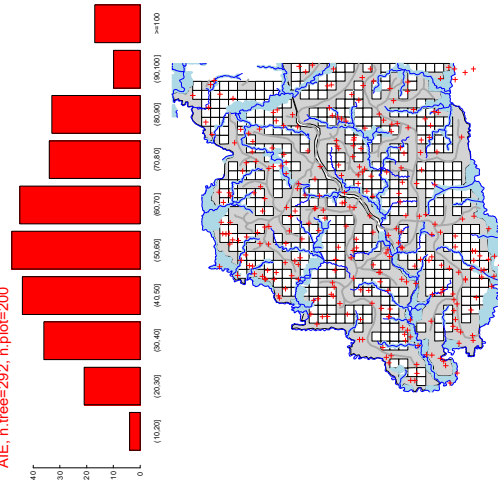
ADK, n.tree=500, n.plot=267



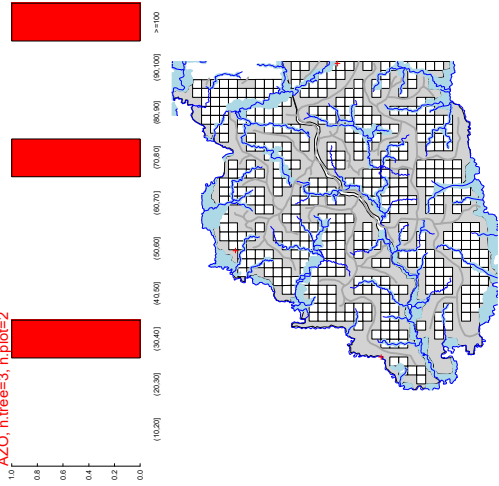
AGB, n.tree=11, n.plot=8



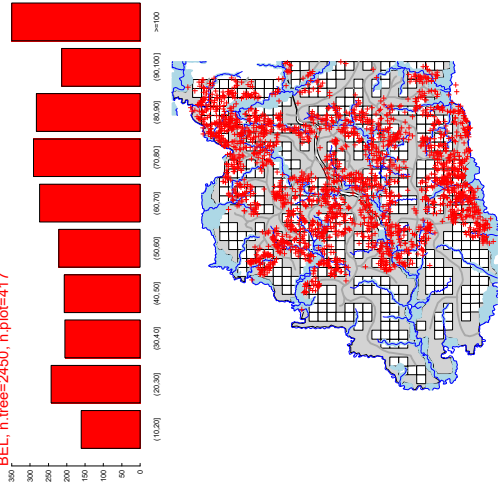
AIE, n.tree=292, n.plot=200



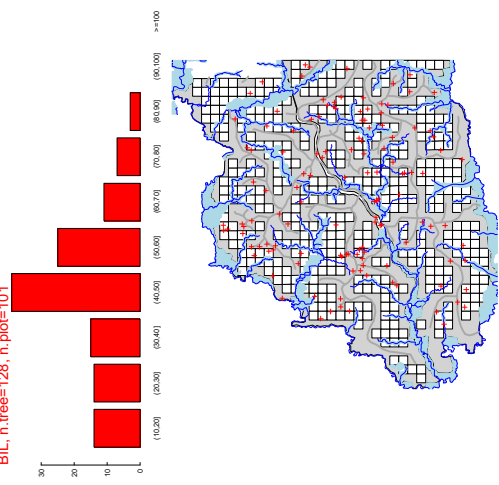
AZO, n.tree=3, n.plot=2



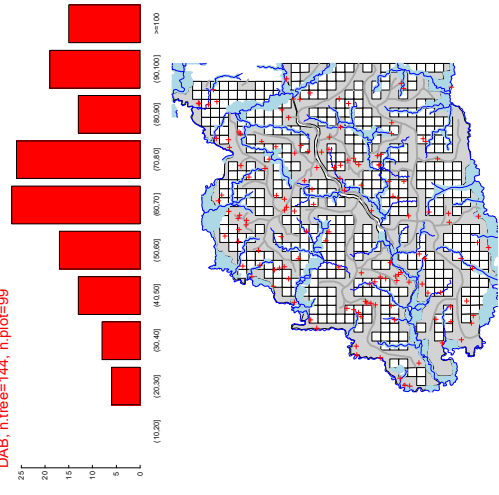
BEL, n.tree=2450, n.plot=417



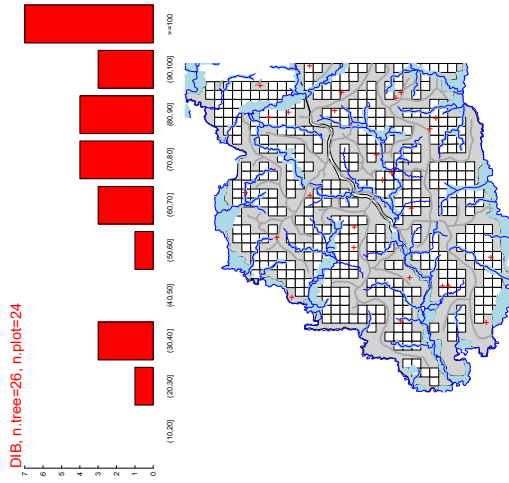
BIL, n.tree=128, n.plot=101



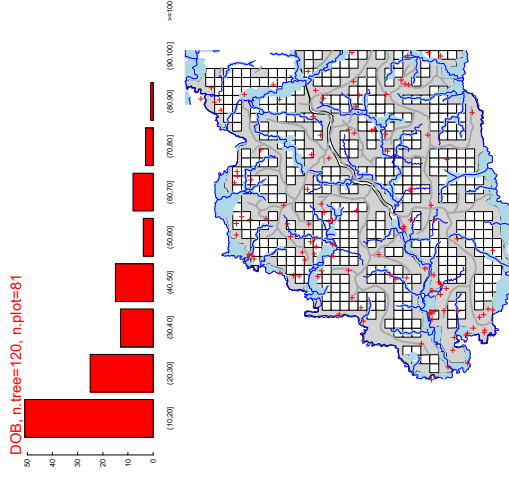
DAB, n.tree=144, n.plot=99



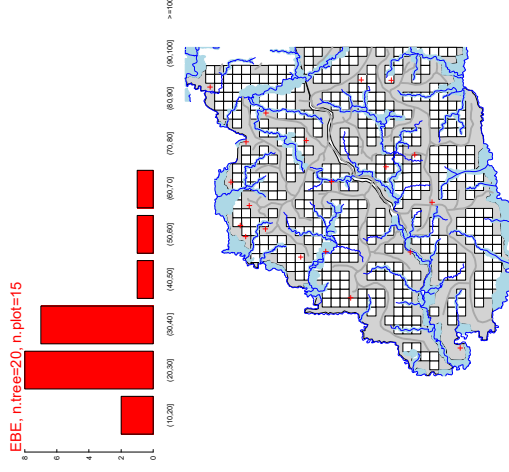
DIB, n.tree=26, n.plot=24



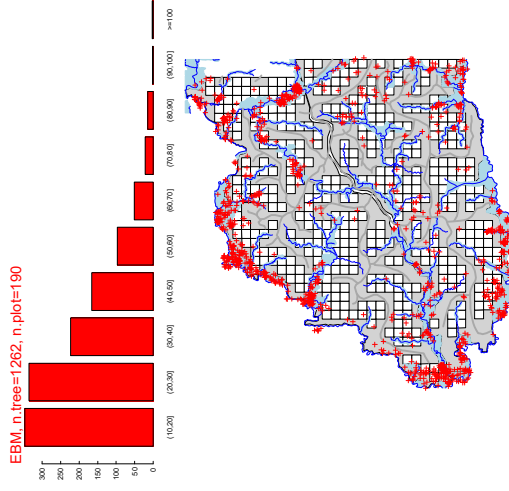
DOB, n.tree=120, n.plot=81



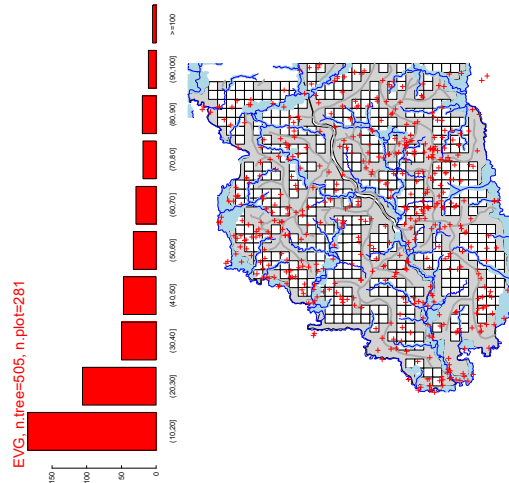
EBE, n.tree=20, n.plot=15



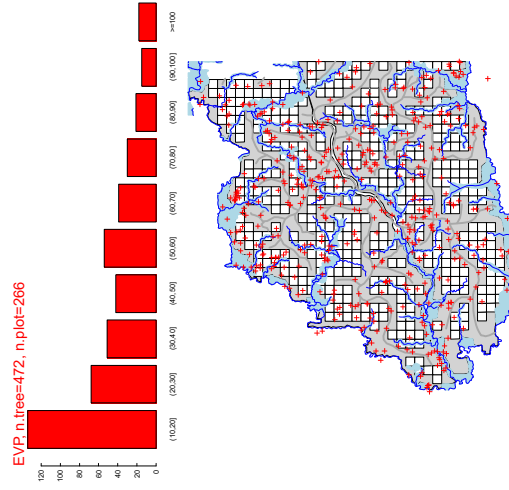
EBM, n.tree=1262, n.plot=190



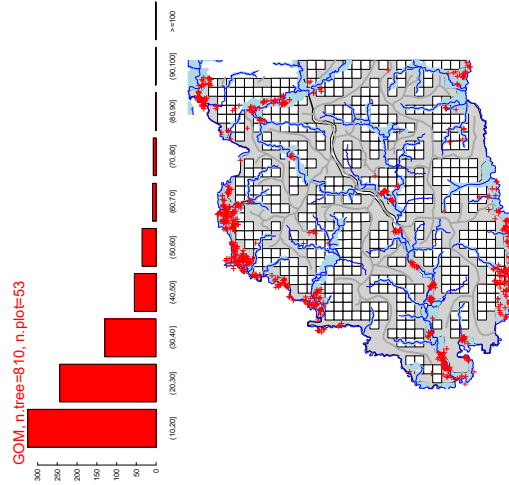
EVG, n.tree=505, n.plot=281



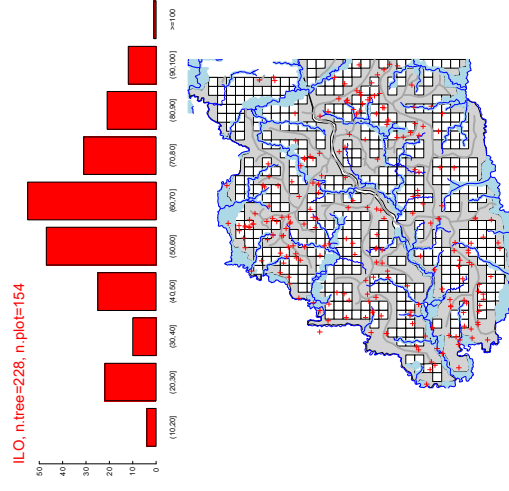
EVP, n.tree=472, n.plot=266



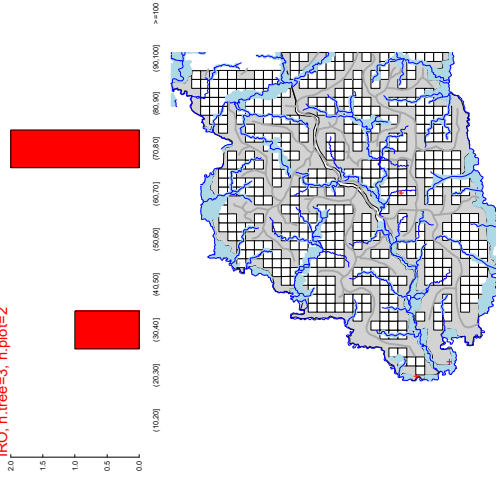
GOM, n.tree=810, n.plot=53



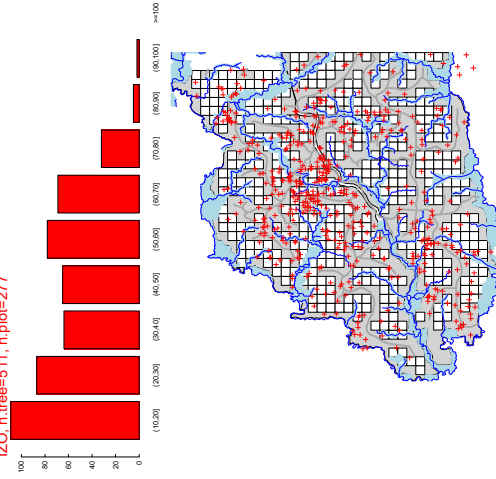
ILO, n.tree=228, n.plot=154



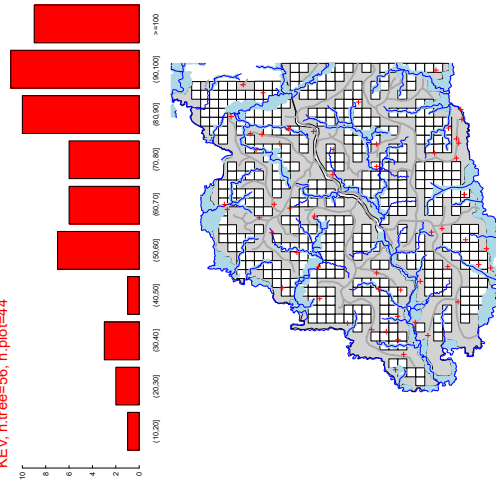
IRO, n.tree=3, n.plot=2



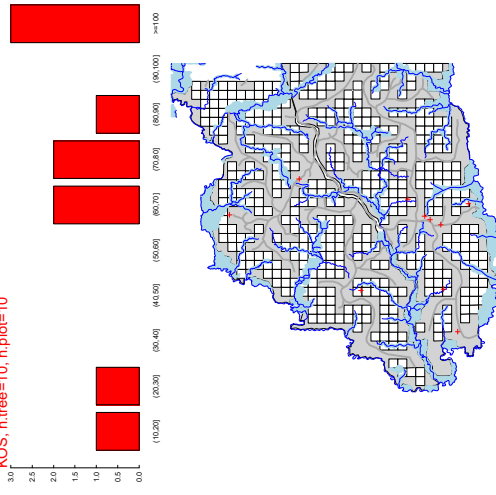
IZO, n.tree=511, n.plot=277



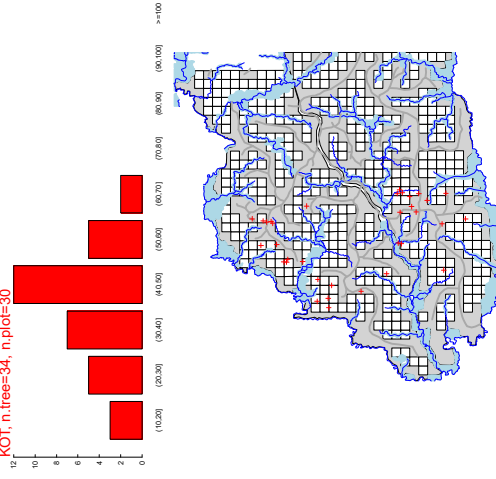
KEV, n.tree=56, n.plot=44



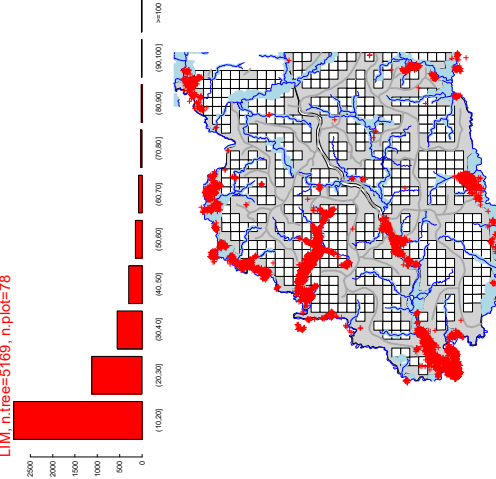
KOS, n.tree=10, n.plot=10



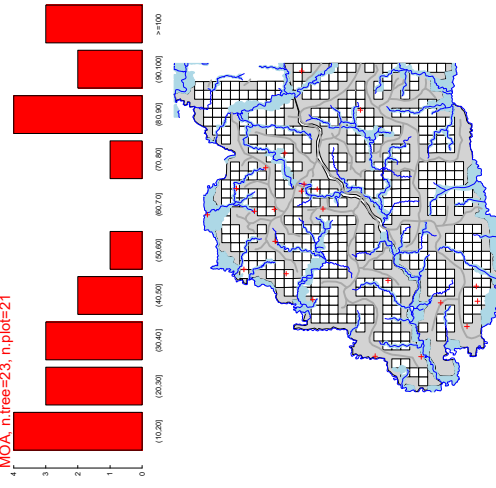
KOT, n.tree=34, n.plot=30



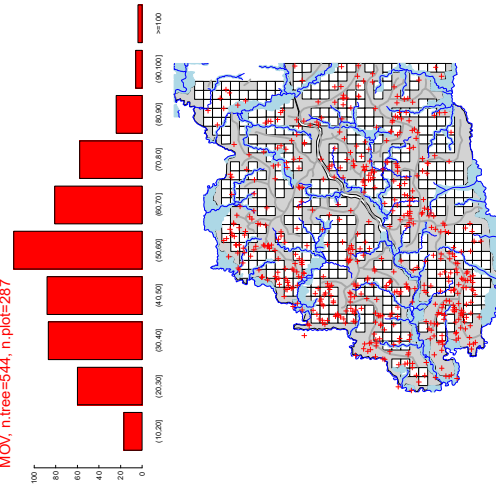
LIM, n.tree=5169, n.plot=78



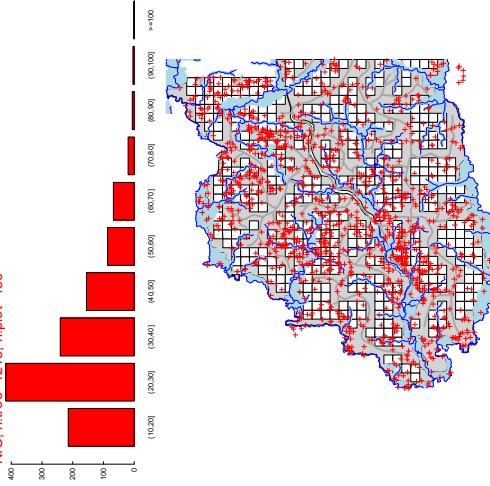
MOA, n.tree=23, n.plot=21



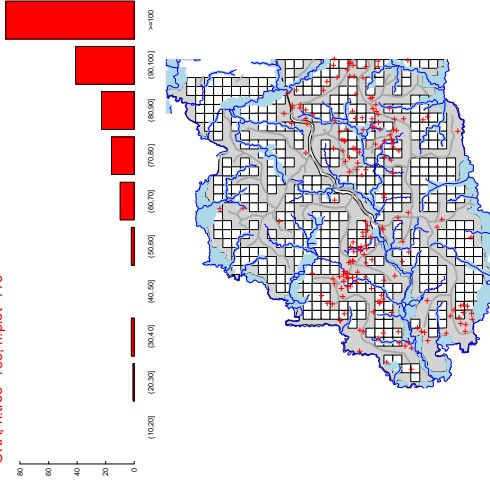
MOV, n.tree=544, n.plot=287



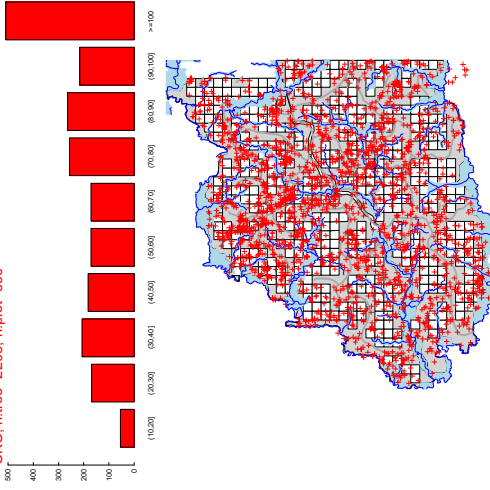
NIO, n.tree=1215, n.plot=450



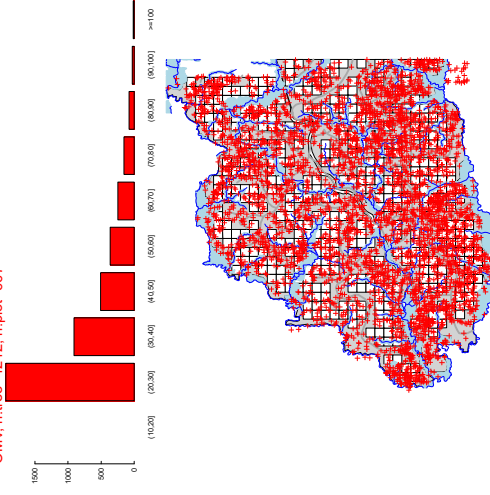
OKA, n.tree=185, n.plot=116



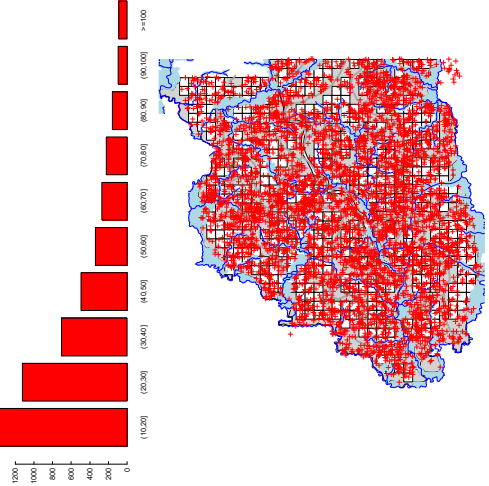
OKO, n.tree=2203, n.plot=590



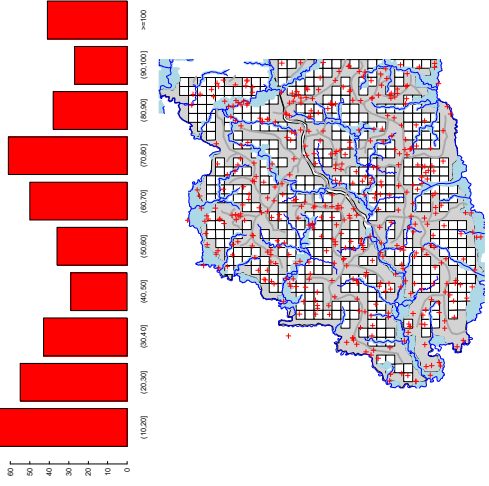
OMV, n.tree=4242, n.plot=667



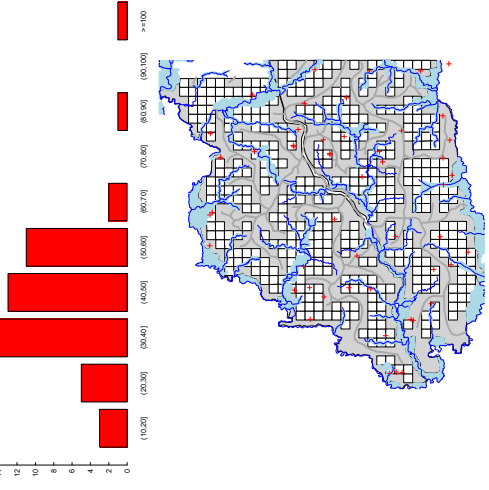
OZI, n.tree=4883, n.plot=682



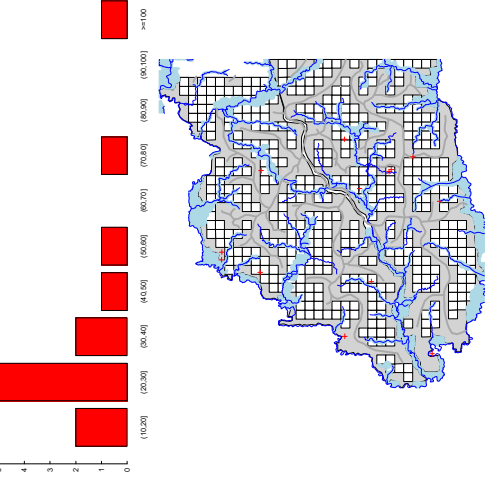
PAD, n.tree=446, n.plot=288



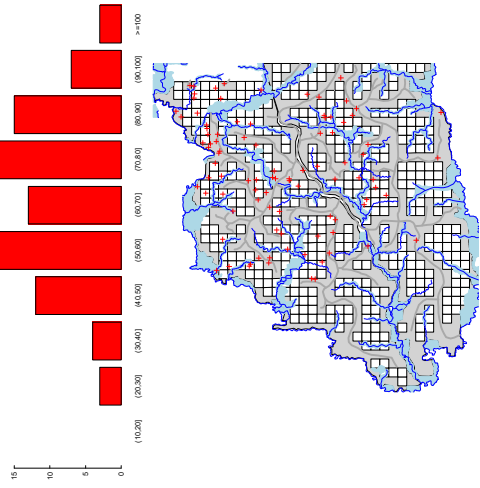
PAO, n.tree=50, n.plot=40



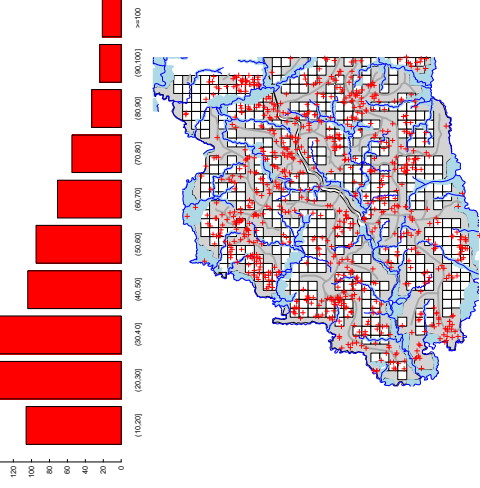
SAP, n.tree=13, n.plot=9



TAL, n.tree=93, n.plot=77



TCH, n.tree=79, n.plot=360



A.2 Analyse de la composition par rapport à la surface terrière

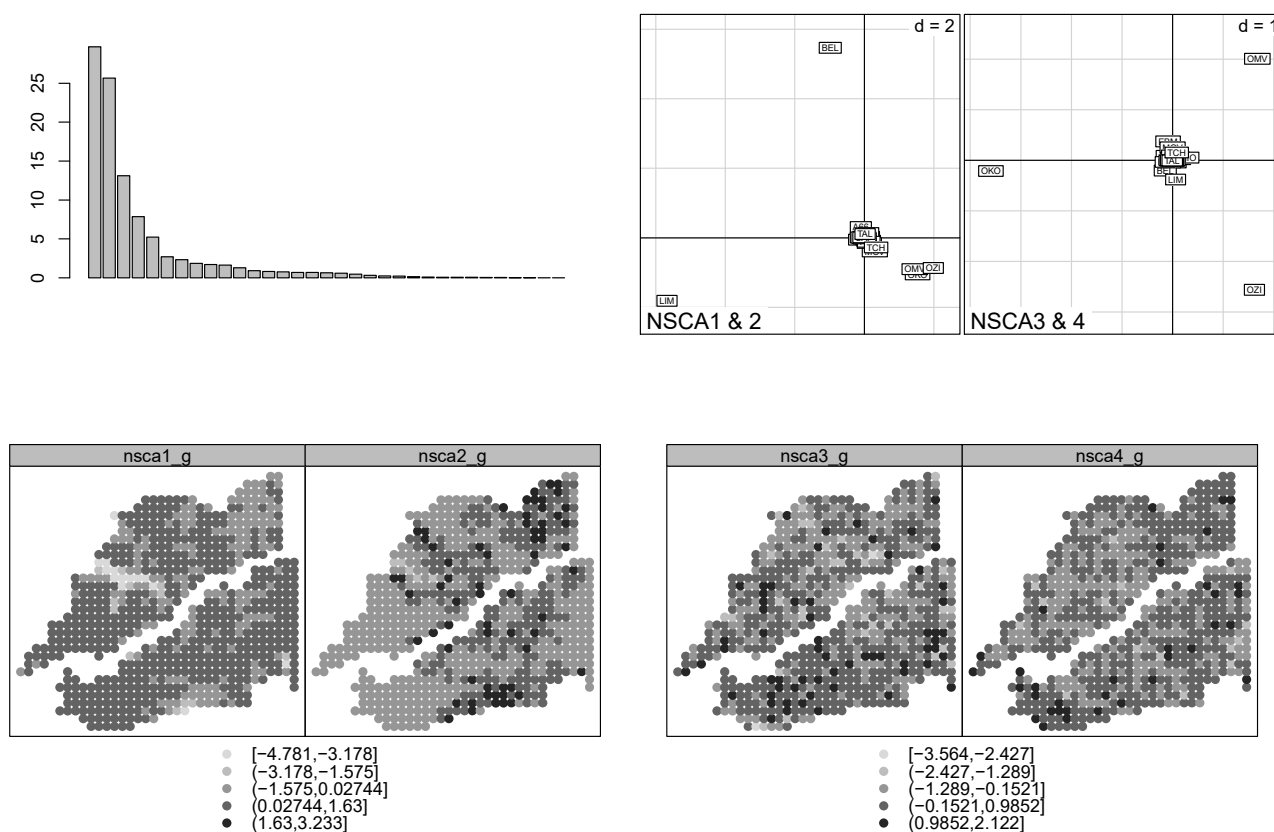


FIGURE A.1 – NCA sur la matrice d'abondance en surface terrière avec en haut à gauche l'histogramme présentant le pourcentage de la variabilité expliquée par les axes, etc.

Annexe B

Inventaire

B.1 Manuel Open Foris Collect

TERRA Teaching and Research Centre, Forest is life

Yorick Van Hoef

TERRA Teaching and Research Centre, Forest Is Life, Tropical Forestry
University of Liège – Gembloux Agro Bio Tech
Passage des Déportés, 2
5030 Gembloux
Tel: +32 81 62 22 31
Courriel : yorick.vanhoef@student.uliege.be

Manuel d'utilisateur

Dans le cadre du projet P3FAC

Open Foris Collect



<http://www.openforis.org/>

Table des matières

1. Introduction.....	2
2. Télécharger et installer le logiciel.....	2
3. Prise en main de Collect	3
3.1. Démarrer le logiciel	3
3.2. Importer une enquête.....	4
3.3. Publier une enquête.....	5
3.4. Encoder ses données.....	5
a. Identification de l’arbre.....	7
b. Mesures.....	8
c. Remarques.....	8
3.5. Dupliquer une enquête	9
3.6. Exporter les données.....	10

1. Introduction

Open Foris est un ensemble d'outils logiciels libres et gratuits qui facilitent la collecte, l'analyse et le reporting de données de manière flexible et efficace. Ils sont disponibles sur le site <http://www.openforis.org/> et sont les fruits de la collaboration de nombreuses institutions publiques et privées, initiée par le Département des Forêts de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Open Foris Collect est l'un de ces logiciels disponibles en ligne. Il est le principal point d'entrée des données collectées dans les inventaires de terrain. Il offre un moyen rapide, facile et flexible de mettre en place une enquête avec une interface conviviale. *Open Foris Collect* gère plusieurs types de données et des règles de validation complexes, le tout dans un environnement multilingue.

Le logiciel permet de réaliser différents types de monitoring : enquête socio-économique, évaluation de la biodiversité, mesure de l'utilisation, du changement d'affectation des terres, ... Cependant, le logiciel montre un intérêt particulier pour la réalisation d'inventaires forestiers.

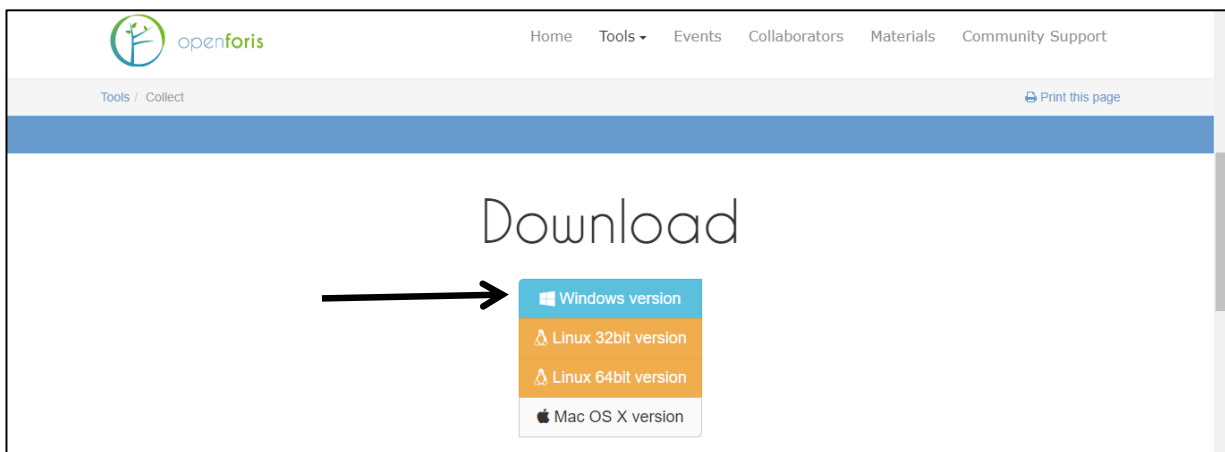
Ce que ce manuel vous apprend :

- Installer *Open Foris Collect* sur votre machine ;
- Utiliser le logiciel dans le cadre du projet P3FAC et ses inventaires forestiers.

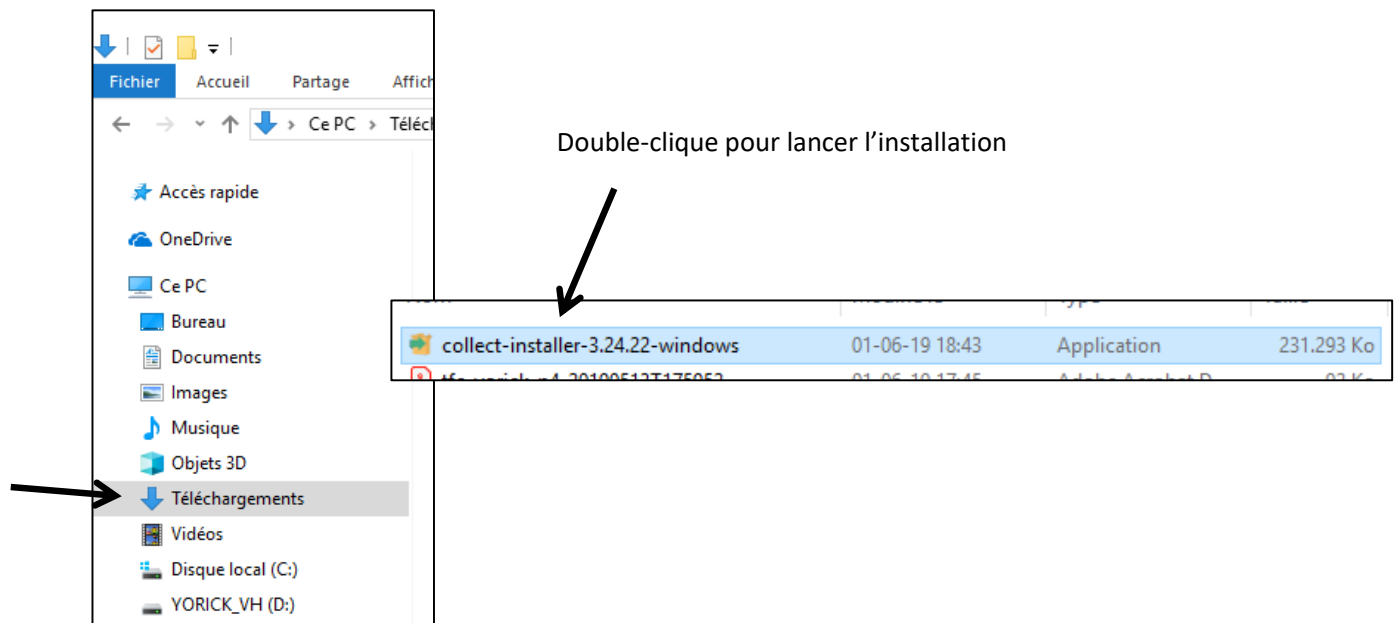
2. Télécharger et installer le logiciel

Pour télécharger le logiciel, se rendre sur <http://www.openforis.org/tools/collect.html>.

Open Foris Collect est disponible en version *Windows*, *Linux* et *Mac OS*. Dans le cadre du projet P3FAC, la version *Windows* sera celle utilisée, toutes les machines du projet (tablettes, ordinateurs) fonctionnant sur ces systèmes d'exploitation.



Il faut ensuite se rendre dans l'onglet « Téléchargements » de la machine et double cliquer sur le fichier d'installation du logiciel.



Une fois le fichier.exe exécuté, suivez les instructions à l'écran.

Open Foris Collect sera installé par défaut dans **C:\OpenForis\Collect**.

Les données utilisateur sont toujours stockées dans votre dossier utilisateur (par ex. **C:\Utilisateur\VOTRE_NOM_UTILISATEUR\OpenForis\Collect**).

Si l'installation se termine avec succès, vous aurez un groupe de raccourcis au démarrage menu, « **Open Foris Collect** ».

Si un message du pare-feu Windows apparaît indiquant que Java essaie d'accéder au réseau, l'autoriser (si vous avez des droits d'administrateur, sinon fermez le *popup* du message). Cette opération ne doit être effectuée qu'une seule fois.

N.B. : Il existe également *Open Foris Collect Mobile*, qui est compatible avec les systèmes d'exploitation *Android* (smartphone, tablettes). Sous forme d'une application, il permet de réaliser de la prise de données de la même manière que *Open Foris Collect*, à partir de son smartphone.

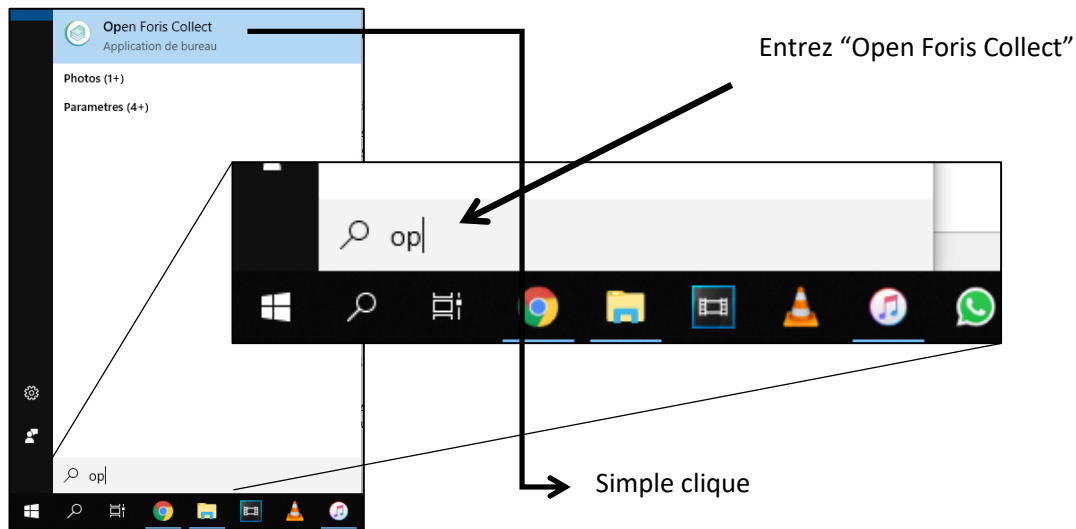
→ <http://www.openforis.org/tools/collect-mobile.html>

3. Prise en main de Collect

3.1. Démarrer le logiciel

Le logiciel ouvre de lui-même un onglet dans un navigateur internet pour y afficher son interface. Il est conseillé de travailler sur Google Chrome. Si le logiciel ouvre l'interface dans Internet Explorer, simplement copiez-collez le lien internet dans un nouvel onglet Google Chrome.

Tapez le nom « *Open Foris Collect* » dans le moteur de recherche du démarrage menu de votre machine et cliquez sur celui-ci.

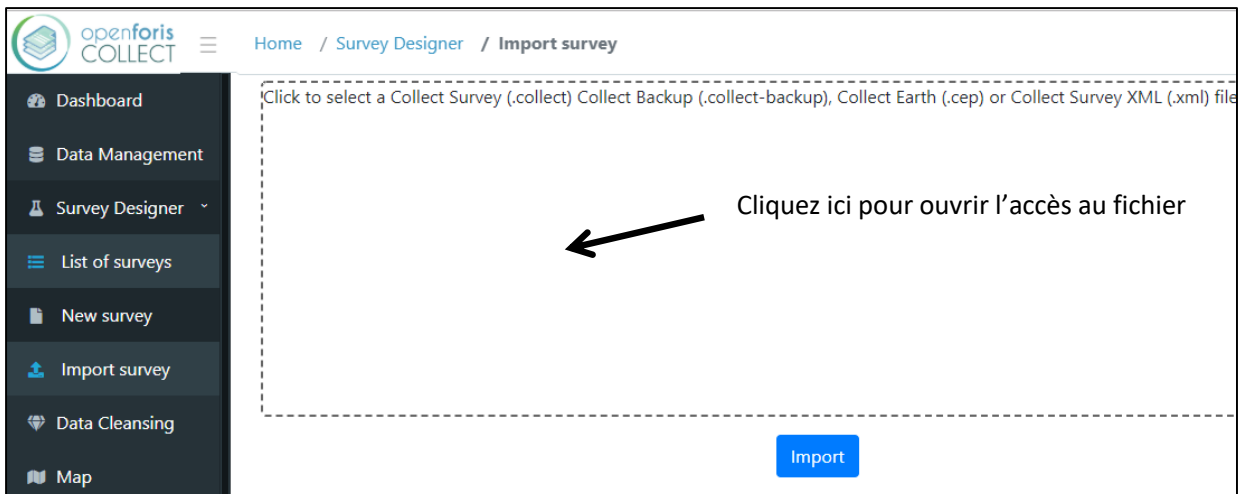


3.2. Importer une enquête

L'enquête peut être ajoutée au logiciel de différentes manières. Dans le cadre du projet P3FAC, un type d'enquête a déjà été créé et il suffit de l'importer. La création manuelle d'une enquête ne sera pas illustrée dans ce manuel.

Une fois le logiciel ouvert sur Google Chrome, cliquez sur l'onglet « Survey designer » du menu principal. 3 nouveaux onglets sont alors disponibles. Cliquez sur « Import survey ».

Une boîte apparaît, invitant à ajouter le fichier « .collect » qui est le design de l'enquête qui nous intéresse et qui a déjà été créé.



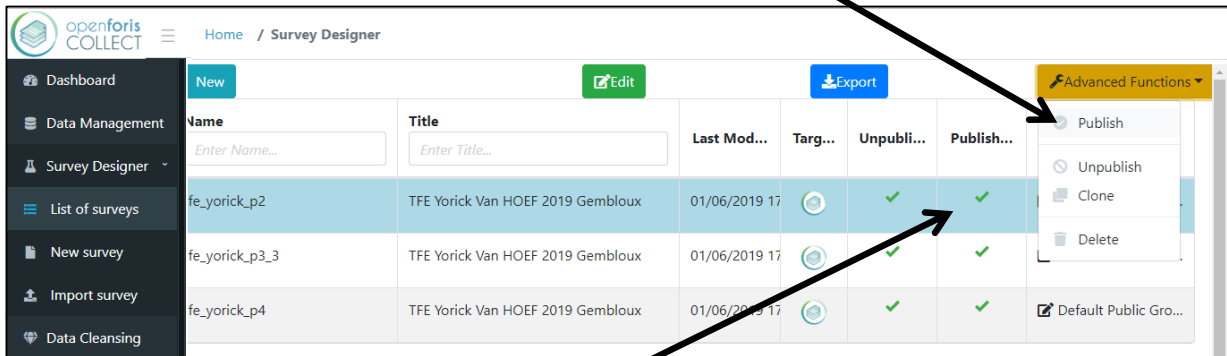
Sélectionnez le fichier « .collect » qui vous intéresse et cliquez sur « ouvrir ».

Si l'enquête a été importée avec succès, elle apparaît dans la liste des enquêtes.

3.3. Publier une enquête

Avant de pouvoir commencer à encoder les données dans votre enquête, celle-ci doit être « publiée ».

Lorsque vous sélectionnez votre enquête, un bouton « *Advanced Functions* » apparaît. Cliquez sur celui-ci, faites dérouler la liste et cliquez sur le premier onglet « *Publish* ».



Une fois publiée, une validation verte apparaît.

3.4. Encoder ses données

Dans le menu principal du logiciel, cliquez sur « *Data Management* » pour ouvrir l'interface d'encodage de l'enquête.

Sélectionnez ensuite l'enquête qui vous intéresse.

Dans le cadre du projet, chaque parcelle de l'inventaire correspondra à une enquête, de manière à ce que l'export des données soit indépendant par parcelle (voir point 3.5. pour voir comment dupliquer les enquêtes pour chaque parcelle).



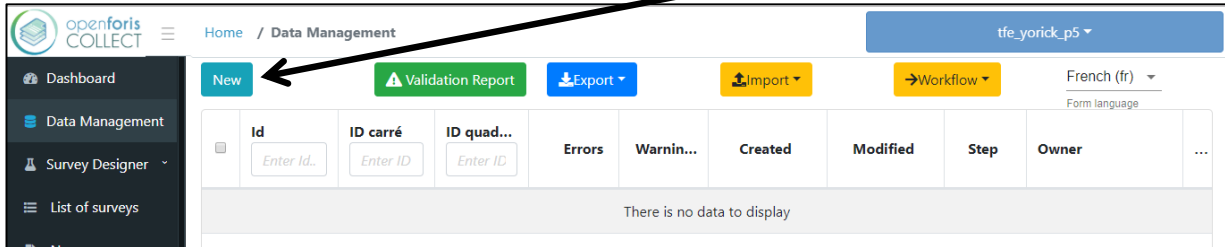
Cliquez sur l'enquête qui vous intéresse.

Une fois ouverte, l'interface de la nouvelle enquête s'affiche comment étant vide.

À partir de maintenant, chaque entité créée dans l'enquête correspondra à un quadra de la parcelle, dans lequel tous les arbres y seront recensés.

Ex. : Une fois complètement remplie, l'enquête « tfe_yorick_p5 » présentera 100 entités dans l'interface, correspondant aux 100 quadras d'une parcelle (4*25 quadras).

Cliquez sur le bouton « New » pour créer l'entité qui représente un quadra et y encoder les données correspondant.

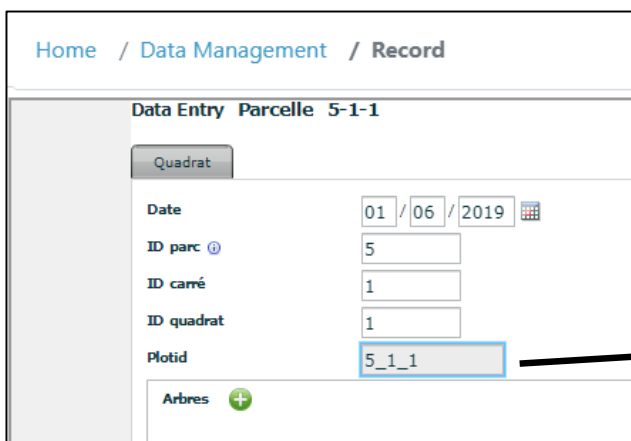


L'interface d'encodage pour le quadra s'ouvre alors.

Afin de différencier chacun des quadras dans l'enquête, un code lui est attribué en tant que nom et se construit dans l'ordre suivant :

- Le numéro de la parcelle (*ID parc*) ;
- Le numéro du carré de la parcelle (*ID carré*) ;
- Le numéro du quadra du carré (*ID quadra*).

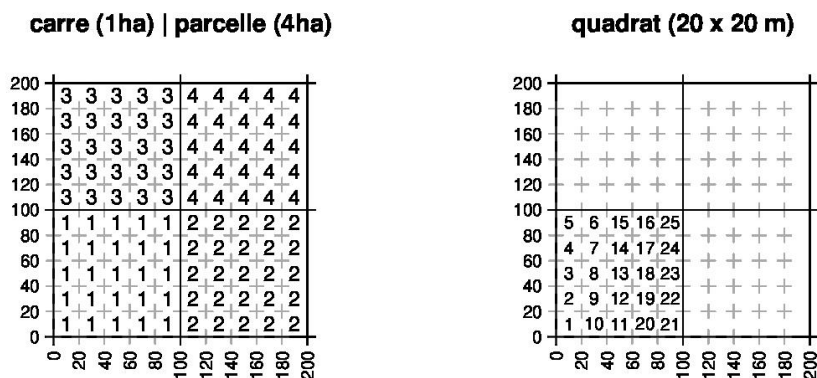
« ID » = « Identification »



Ex.: Dans cette exemple, nous allons encoder les données de la parcelle 5, dans le carré 1, dans le quadra 1. Le code unique est alors 5_1_1.

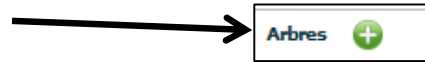
Code unique pour le quadra

Ce code respecte la nomenclature établie pour les parcelles du projet selon laquelle, chaque **parcelle** de 4 ha est divisée en **4 carrés** de 1 ha qui sont eux même divisés en **25 quadras** de 0.04 ha (20*20m).



Une fois ce code/nom établi pour le quadra sur lequel vous travaillez, commencez à ajouter les arbres.

Cliquez sur le sigle « + » en vert pour ajouter un arbre au quadra.



Le numéro de l'arbre suivant s'inscrit de manière automatique dans la case « Id » (identification). Cependant, vérifiez toujours bien qu'il corresponde à la réalité du terrain (au numéro peint sur l'arbre). Il faut de plus, manuellement réécrire pour chaque nouvel arbre le numéro, même si le bon s'affiche automatiquement. Considérez qu'il sert uniquement de rappel.

Pour chaque arbre, 4 onglets différents à remplir sont présents :

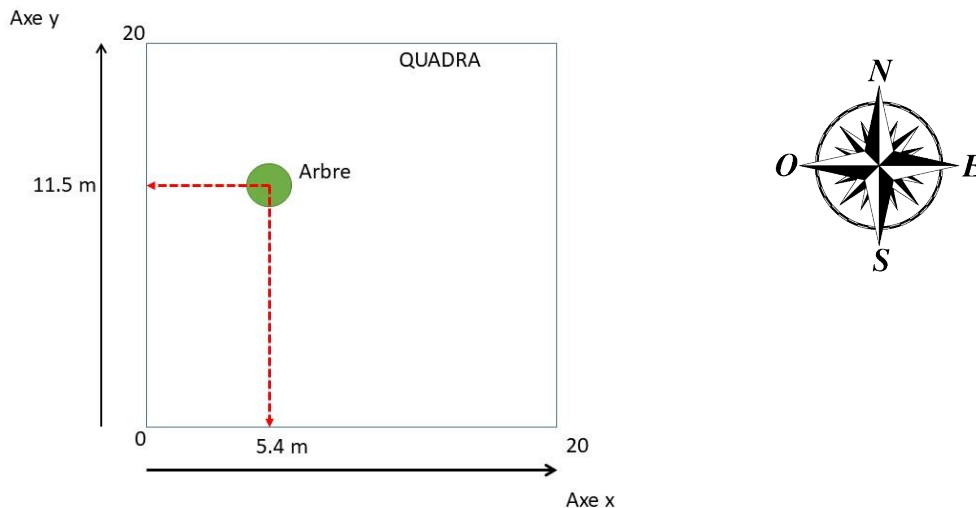
- **1. Identification** : comprend la position relative de l'arbre dans le quadra, sur l'axe x et y, le nom scientifique de l'arbre ;
- **2. Mesure** : comprend les cases où encoder les mesures de diamètres et hauteur du trait de mesure ;
- **3. Houppier** : permet d'encoder les distances correspondant à la projection horizontale du houppier de l'arbre ;
- **4. Remarques** : comprend différentes cases où l'on peut encoder des remarques spécifiques.

Les onglets **1,2 et 4** sont les onglets qui nous intéressent le plus dans le cadre de cet inventaire.

a. Identification de l'arbre

Les cases « Loc X » et « Loc Y » correspondent aux positions relatives de l'arbre sur l'axe des abscisses X (ouest > est) et l'axe des ordonnées Y (sud > nord). Pour chaque quadra, le coin sud-ouest correspondant **toujours** à l'origine des axes (càd $x=0$ et $y=0$).

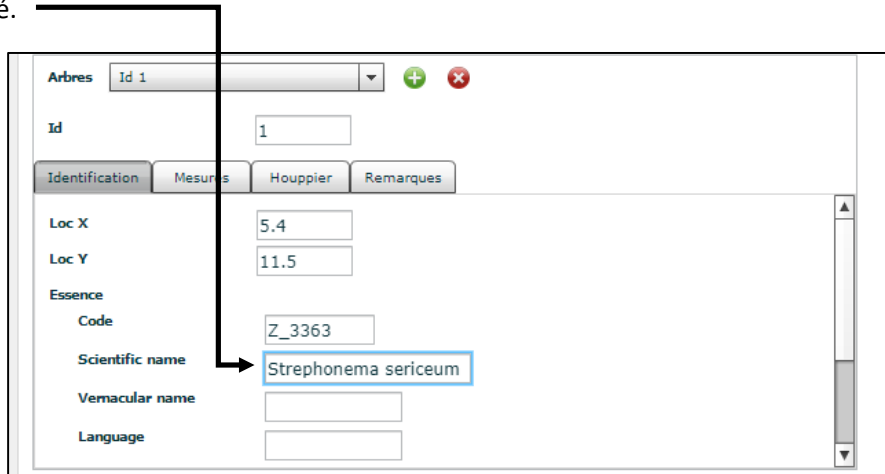
Ex. :



La position de l'arbre sera lue sur les décimètres, eux-mêmes déroulés sur les axes x et y.

Dans l'exemple, « Loc x » = 5.4 m et « Loc y » = 11.5 m.

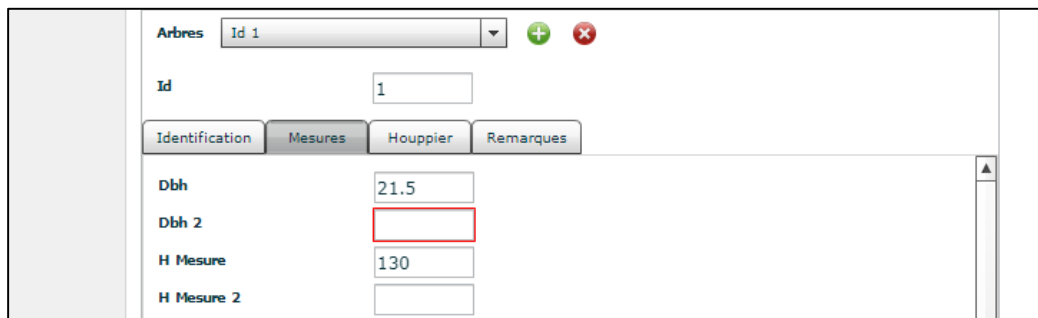
Pour le nom de l'arbre, encodez celui-ci dans la case « Scientific name ». Le nom latin de l'arbre doit y être insérer. Une liste déroulante s'affiche après avoir tapé les premières lettres. Il suffit alors de cliquer sur le nom concerné.



b. Mesures

Les cases qui nous intéressent dans cette onglet sont le plus souvent, uniquement « Dbh » et « H_mesure ». Elles correspondent respectivement au diamètre et à la hauteur du trait de mesure de l'arbre. « Dbh » et « H_mesure » seront encodés en centimètres.

Ex. : 21.5 cm de diamètre mesuré à 130 cm de hauteur depuis le sol.

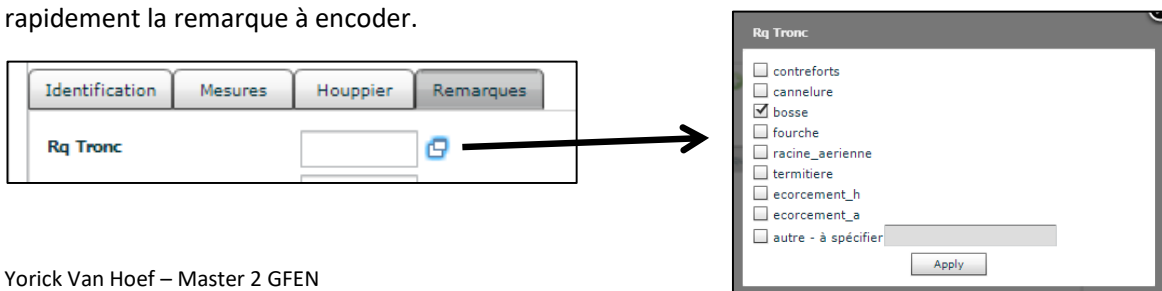


« Dbh 2 » et « H Mesure 2 » seront remplies lorsque deux mesures sont effectuées sur un même arbre (pour les espèces présentant des contreforts grandissant : voir clé « Normes d'installation »).

c. Remarques


L'onglet « Remarques » permet d'encoder des informations concernant le tronc, le houppier et le statut de l'arbre.

Cliquer sur le sigle à droite de la case permet d'ouvrir une fenêtre dans laquelle il est possible de cocher rapidement la remarque à encoder.



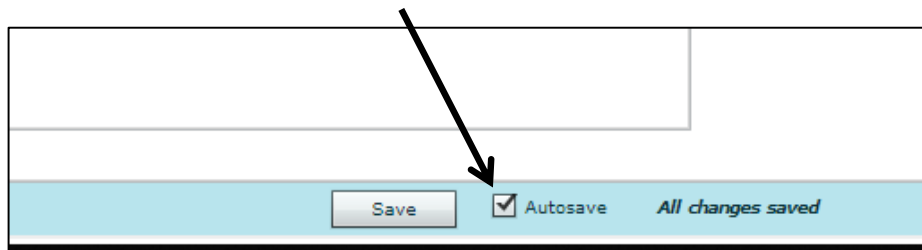
La case « Rq générale » permet d'encoder des commentaires divers par rapport à l'arbre.

C'est dans cette case qu'il faut également indiquer le code « NM » correspondant aux arbres dits « nom mesurables », dont le tronc n'est pas circulaire (càd que le ruban de mesure n'est pas en contact avec le tronc tout le long de la circonférence dû à des déformations).

- ⇒ Lorsque tous les onglets sont complets pour un arbre, passez à l'arbre suivant soit en cliquant sur la touche  « ajout », soit en faisant dérouler la liste des arbres si ceux-ci ont déjà été créés.
- ⇒ Lorsque vous avez encodé tous les arbres du quadra, cliquez sur le bouton « Save » en bas de l'interface et *swipez* avec votre doigt de la gauche vers la droite sur l'écran pour revenir au menu « *Data Management* » (pour les tablettes) ou cliquez en haut sur l'onglet « *Data Management* » (pour les ordinateurs).
- ⇒ Passez au quadra suivant en cliquant sur « *New* ».
- ⇒ ...

!!!\!\!

Il est vivement conseillé de commencer l'encodage des données avec la case « Autosave » cochée préalablement. De cette manière, les données sont enregistrées automatiquement si l'on quitte l'interface d'encodage du quadra sans avoir cliqué sur « Save ».



3.5. Dupliquer une enquête

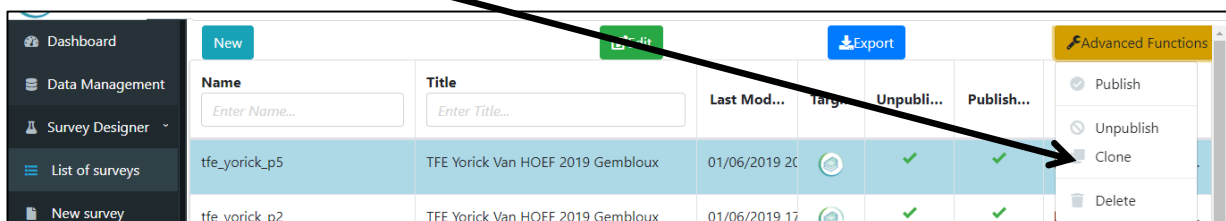
Dans le cadre de P3FAC, une enquête correspond à une parcelle. De cette manière, l'export des données d'une parcelle correspond simplement à l'export total de l'enquête.

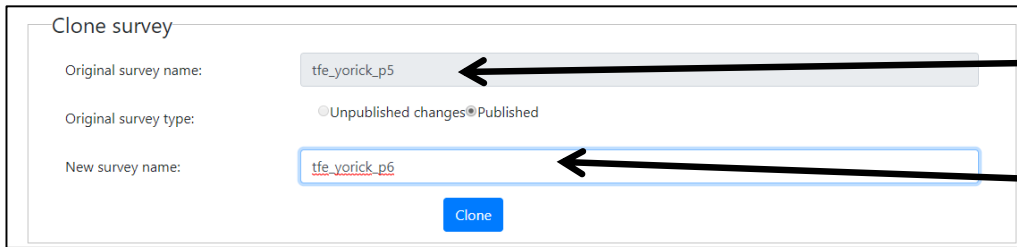
Le design des enquêtes étant le même pour chaque parcelle, il suffit de dupliquer l'enquête et lui attribuer un nouveau nom correspondant au numéro de la parcelle que l'on veut inventorier.

Afin d'effectuer cette opération, retournez sur l'onglet « *List of surveys* » du menu principal.

Sélectionnez l'enquête précédente et cliquez sur « *Advanced Functions* ».

Cliquez ensuite sur « *Clone* ».





Enquête que l'on
desire dupliquer

Nouvelle enquête
pour la nouvelle
parcelle

Attribuez dans la case « *New survey name* » un nouveau nom qui vous permettra de comprendre facilement à quelle parcelle cette enquête correspond.

Cliquez ensuite sur « *Clone* » pour terminer la procédure.

Votre nouvelle enquête apparait maintenant dans la « *List of surveys* ».

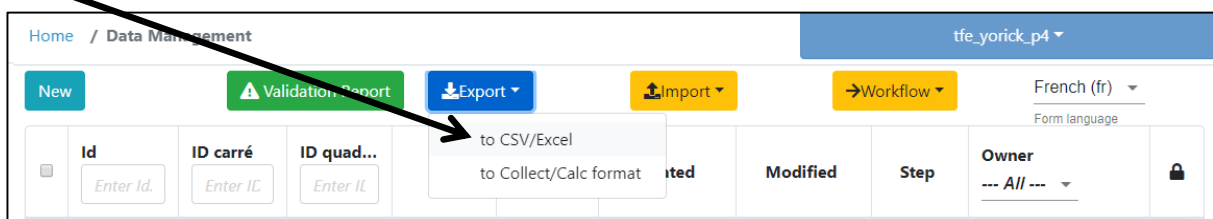
Avant de pouvoir aller encoder dans celle-ci vos données via « *Data Management* », **n'oubliez pas de la publier** (« *Advanced Functions* » > « *Publish* », comme vu au point 3.3.). Le cas échéant elle n'apparaîtra pas dans l'onglet « *Data Management* ».

3.6. Exporter les données

Une fois que l'encodage des 100 quadras de la parcelle est terminé, vous pouvez **exporter** les données.

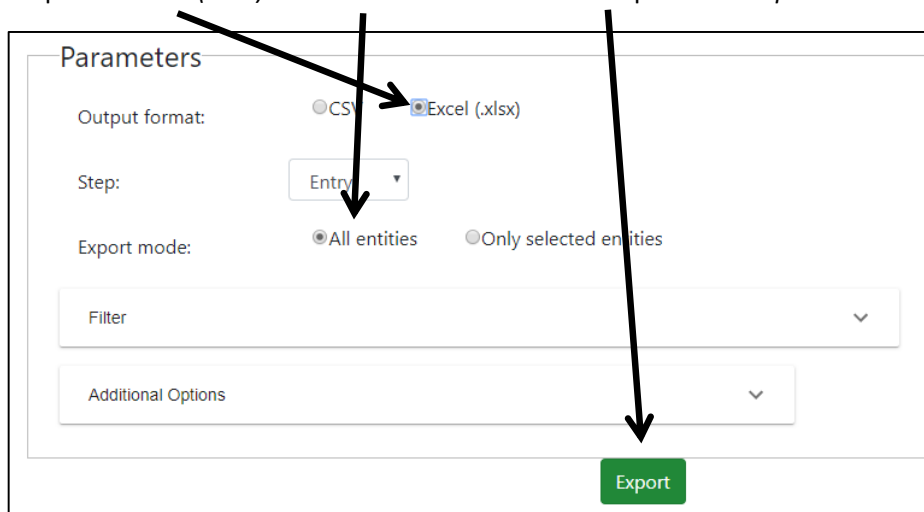
Dans l'onglet « *Data Management* ». Sélectionnez l'enquête dont vous voulez exporter les données.

Cliquez ensuite sur « *Export* » > « *to CSV/Excel* ».



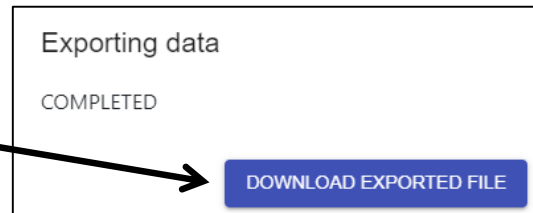
Une fenêtre s'ouvre dans laquelle on peut choisir sous quel type de fichier exporter ses données.

Sélectionnez l'option « *Excel (.xlsx)* » et « *All entities* » avant de cliquer sur « *Export* ».



L'exportation terminée, le logiciel vous proposera de télécharger les données.

Cliquez sur « *Download exported file* ».



Le téléchargement terminé, il vous faut décompresser le fichier. Pour ce faire, clique-droit sur le fichier compressé > simple-clique sur « *Extraire les fichiers...* ». Choisissez l'emplacement de l'extraction.

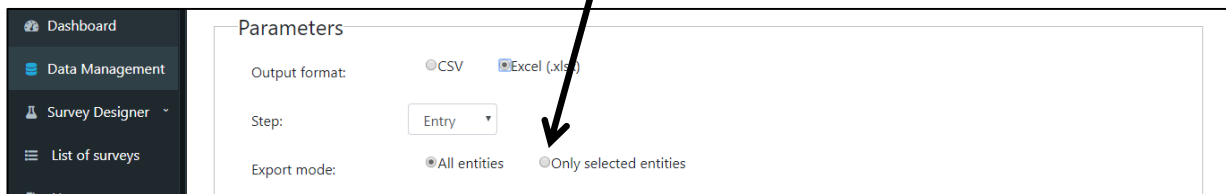
Une fois décompressé, deux fichiers sont disponibles :

- **arbre.xlsx** : fichier contenant toutes les données recensées arbres par arbres ;
- **parcelle.xlsx** : fichier contenant les informations par quadra uniquement.

Il est conseillé de renommer à chaque export des données les fichiers avec le numéro de la parcelle pour éviter toutes confusions avec les parcelles futures.

Ex. : *arbre_p2.xlsx*

N.B. : Il est également possible d'exporter les données en cours de travail et une partie des quadras uniquement, si l'on choisit l'option « *Only selected entities* » lors de l'export et que l'on a préalablement sélectionné les quadras que l'on désire exporter.



Même si la parcelle n'est pas terminée, il est conseillé d'exporter sur une clé-usb ou un disque dur, chaque fin de semaine les données, afin d'éviter la perte de celles-ci dans l'éventualité d'un bug de la machine ou du logiciel.

B.2 Liste des espèces

Afrostryrax lepidophyllus
Allanblackia floribunda
Annickia affinis
Annickia pilosa
Anopyxis klaineana
Anthonotha fragrans
Aoranthe cladantha
Baikiaea insignis
Baphia leptostema
Beilschmiedia auriculata
Beilschmiedia fulva
Beilschmiedia klainei
Berlinia confusa
Bikinia grisea
Blighiopsis gabonica
Calpocalyx dinklagei
Carapa procera
Centroplocus glaucinus
Chrysophyllum lacourtianum
Cleistanthus caudatus
Coelocaryon botryoides
Cola altissima
Corynanthe mayumbensis
Crudia ledermani
Crudia ledermannii
Dacryodes buettneri
Dacryodes igaganga
Dacryodes letestui
Daniellia soyauxii
Dialium bipindense
Dialium guineense
Dialium pachyphyllum
Dialium tessmannii
Dichostemma glaucescens
Diospyros boala
Diospyros crassiflora
Diospyros fragrans
Diospyros hoyleana
Diospyros mannii
Diospyros piscatoria
Diospyros zenkeri
Distemonanthus benthamianus
Drypetes gossweileri
Drypetes preussii
Drypetes similis
Drypetes spinosodentata
Engomegoma gordonii
Eriocoelum petiolare
Erythrophleum suaveolens
Eurypetalum batesii
Afzelia bipindensis
Angylocalyx pynaertii
Annickia chlorantha
Anonidium mannii
Anthonotha breiyi
Anthonotha macrophylla
Aucoumea klaineana
Baphia buettneri
Barteria fistulosa
Beilschmiedia congolana
Beilschmiedia grandifolia
Beilschmiedia mannii
Berlinia congolensis
Blighia welwitschii
Brenania brieyi
Canarium schweinfurthii
Celtis tessmannii
Chlamydocola chlamydantha
Chrysophyllum sp.
Cleistanthus letouzei
Coelocaryon preussii
Copaifera mildbraedii
Coula edulis
Crudia ledermannii
Cylicodiscus gabunensis
Dacryodes edulis
Dacryodes klaineana
Dacryodes normandii
Detarium macrocarpum
Dialium dinklagei
Dialium lopense
Dialium sp.
Dialium zenkeri
Diogoia zenkeri
Diospyros cinnabarina
Diospyros dendo
Diospyros gabunensis
Diospyros iturensis
Diospyros obliquifolia
Diospyros rabiensis
Discoglypsemna caloneura
Drypetes aframensis
Drypetes klaineana
Drypetes similis
Drypetes sp.
Duvigneaudia inopinata
Eriocoelum macrocarpum
Erismadelphus exsul
Euonymus sp.
Fillaeopsis discophora

Funtumia africana
Garcinia epunctata
Garcinia obliqua
Garcinia punctata
Gilbertiodendron brachystegioides
Gilletiodendron pierreanum
Heisteria parvifolia
Hymenostegia elegans
Hymenostegia pellegrinii
Irvingia gabonensis
Isolona hexaloba
Klaineanthus gabonii
Klainedoxa trillesii
Macaranga barteri
Magnistipula bimarsupiata
Mammea africana
Maranthes sp.
Massularia acuminata
Nauclea diderrichii
Oncoba mannii
Oubanguia africana
Pancovia turbinata
Parinari excelsa
Parkia bicolor
Pausinystalia macroceras
Pentaclethra macrophylla
Petersianthus macrocarpus
Piptadeniastrum africanum
Placodiscus pacus
Polyalthia suaveolens
Prioria oxyphylla
Pseudospondias microcarpa
Pterocarpus mildbraedii
Pycnanthus angolensis
Quassia gabonensis
Radlkofera calodendron
Rytigynia sp.
Scorodophloeus zenkeri
Scyphocephalum mannii
Sibangea sp.
Sorindeia juglandifolia
Staudtia kamerunensis
Sterculia tragacantha
Strombosia grandifolia
Strombosiosis tetrandra
Synsepalum longecuneatum
Tabernanthe iboga
Tessmannia anomala
Testulea gabonensis
Tetraberlinia moreliana
Garcinia conrauana
Garcinia mannii
Garcinia ovalifolia
Garcinia smeathmannii
Gilbertiodendron ogoouense
Grewia coriacea
Hylodendron gabunense
Hymenostegia klainei
Irvingia excelsa
Irvingia grandifolia
Julbernardia pellegriniana
Klainedoxa gabonensis
Lovoa trichilioides
Macaranga monandra
Magnistipula sp.
Maprounea membranacea
Mareyopsis longifolia
Millettia sp.
Neochevalierodendron stephanii
Oddoniodendron normandii
Ongokea gore
Pachyelasma tessmannii
Panda oleosa
Parinari hypochrysea
Pausinystalia johimbe
Pentaclethra eetveldeana
Pentadesma butyracea
Phyllocosmus africanus
Placodiscus opacus
Plagiostyles africana
Pouteria altissima
Pseudospondias longifolia
Pteleopsis hylodendron
Pterocarpus soyauxii
Quassia africana
Quassia silvestris
Rothmannia lujae
Santiria trimera
Scottellia klaineana
Scytopetalum klaineinum
Sorindeia africana
Sorindeia nitidula
Stemonocoleus micranthus
Strephonema sericeum
Strombosia pustulata
Symphonia globulifera
Syzygium owariense
Tessmannia africana
Tessmannia lescrauwaetii
Tetraberlinia bifoliolata

Trichoscypha abut
Trichoscypha mannii
Trichoscypha patens
Uvariastrum pierreanum
Xylophia aethiopica
Xylophia hypolampra
Xylophia pynaertii
Xylophia sp.
Zanthoxylum gillettii

Tricalysia sp.
Trichoscypha acuminata
Trichoscypha oddonii
Uapaca guineensis
Vangueriopsis rubiginosa
Xylophia cupularis
Xylophia parviflora
Xylophia quintasii
Xylophia wilwerthii
Zanthoxylum tessmannii

Annexe C

Mission

C.1 Rapports de mission



TERRA Teaching and Research Centre, Forest is life

Yorick Van Hoef

TERRA Teaching and Research Centre, Forest Is Life, Tropical Forestry

University of Liège – Gembloux Agro Bio Tech

Passage des Déportés, 2

5030 Gembloux

Tel: +32 81 62 22 31

Courriel : yorick.vanhoef@student.uliege.be

Rapport de mission 1 - Mars 2019

Projet P3FAC

Dates de la mission dans la concession Precious Woods Gabon – Compagnies Equatoriale des Bois S.A. :
du 11/03/2019 au 27/05/2019

Yorick Van Hoef

Installation d'un dispositif permanent de suivi de la dynamique forestière dans la région de Lastoursville (Gabon)

Promoteurs :

Pr. Jean-Louis Doucet – Département BIOSE (Biosystem Engineering), Axe de Gestion des Ressources Forestières, Université de Liège, Gembloux Agrio-Bio Tech

Pr. Adeline Fayolle – Département BIOSE (Biosystem Engineering), Axe de Gestion des Ressources Forestières, Université de Liège, Gembloux Agrio-Bio Tech

Table des matières

1. Contexte.....	2
1.1. Projet d'étude	2
1.2. Zone d'étude.....	2
1.3. Objectif.....	3
2. Mise en œuvre de la mission	3
2.1. Planning des activités	3
2.2. Résultats après 1 mois	4
2.2.1. Parcelles.....	4
2.2.2. Rendements	5
2.3. Problèmes rencontrés	6

1. Contexte

1.1. Projet d'étude

Les forêts tropicales jouent aujourd'hui un rôle clé aussi bien en termes d'accueil de la biodiversité que de stockage de carbone (Robert M. & Saugier B., 2003). En plus des services écosystémiques qu'elles fournissent, elles sont également une ressource primordiale pour de nombreuses communautés vivant autour d'elles, étant pourvoyeurs de denrées alimentaires ainsi que de bois énergie.

Malheureusement, les forêts tropicales subissent actuellement différentes pressions telles que le changement climatique, l'explosion démographique des populations de l'hémisphère sud, etc. Leur pérennité est mise en danger.

Un mode de gestion durable des forêts permettrait de maintenir ces écosystèmes complexes en place sur le long terme. La gestion durable des forêts de production signifie que les règles et pratiques d'exploitation peuvent assurer la pérennité des ressources et des services fournis par les forêts tout en générant des bénéfices économiques. Cette gestion durable nécessite un équilibre entre les prélèvements réalisés par l'exploitation forestière et la croissance des peuplements, équilibre recherché à travers l'élaboration de plans d'aménagement forestiers permettant une planification de la gestion sur le long terme et dont le calcul de reconstitution de la ressource est basé sur le potentiel de bois d'œuvre initialement exploitable.

Il s'avère cependant qu'il existe des lacunes localement en termes de données nécessaires à de bonnes prévisions dans les plans d'aménagement (taux de recrutement, taux de mortalité, etc.). Et faute de données, des données moyennes issues de la littérature sont utilisées (Picard N. & Gourlet-Fleury S., 2008).

L'installation de dispositifs permanents de suivi des arbres (parcelles) devrait permettre d'améliorer les connaissances générales sur les forêts tropicales et plus spécifiquement, sera utile pour estimer la possibilité de chaque espèce, pour suivre la dynamique du peuplement dans son ensemble, ses caractéristiques structurales (diamètre, biomasse, etc.) et quantifier les impacts de l'exploitation forestière.

Le présent travail s'intègre dans le cadre d'un travail de fin d'étude de bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels.

Il trouve place dans le projet P3FAC : Partenariat Public Privé pour gérer durablement les Forêts d'Afrique Centrale, financé par le FFEM, dont Gembloux Agro-Bio Tech est l'un des organismes de recherches internationaux impliqués.

Son objectif est d'installer des dispositifs permanents pour le suivi de la dynamique forestière avec l'installation de parcelles de 4 ha. Une caractérisation de la structure forestière, de la composition en espèces et une estimation de la biomasse et des stocks de carbone.

1.2. Zone d'étude

La zone d'étude se situe entre les bases vies de Bambidie et Okandja de la concession PW-CEB, au sein de l'UFA2, de l'UFG4, dans la pointe sud de l'AAC 2017 (*Figure 1*).

La superficie totale s'élève à 839 ha et est divisée en deux blocs (bloc-sud : 410 ha et bloc-nord : 429 ha). Le bloc-sud sera exploité fin d'année 2019, le bloc-nord est un bloc témoin sur lequel l'exploitation ne passera plus.

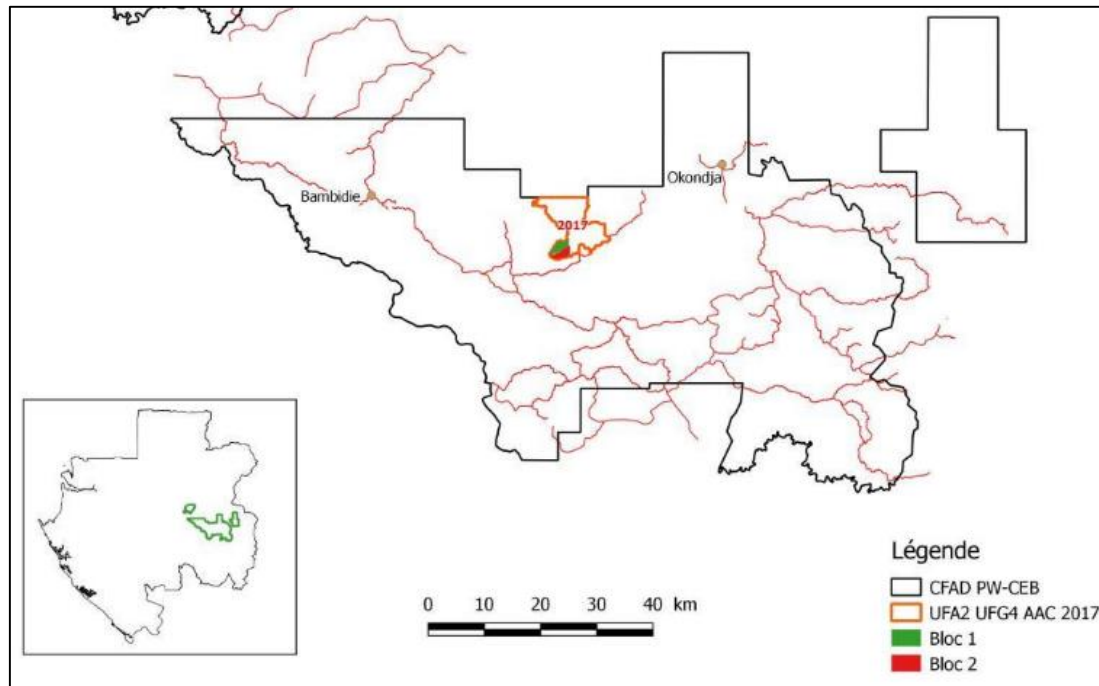


Figure 1 - Emplacement des concessions PW-CEB, des sites industriels et du dispositif de recherche (Source: J-F Gillet)

1.3. Objectif

Huit parcelles seront installées au total sur le projet P3FAC, quatre dans chacun des blocs, pour un total de 32 ha. Dans le cadre du TFE du mémorant Yorick VAN HOEF, trois parcelles seront installées sur le temps de 11 semaines de mission.

2. Mise en œuvre de la mission

2.1. Planning des activités

Dates	Lieux	Activités	Equipes
09/03/2019	Vol aller et arrivé Libreville	/	/
10/03/2019	Arrivé Franceville – Trajet Franceville/Precious Woods Gabon- CEB	/	/
11/03/2019 au 12/03/2019	Zone d'étude P3FAC Concession PW-CEB	Prospection sur le terrain des parcelles choisies préalablement ; Retour sur Bambidie et présentation du projet au chef de site.	JF Gillet Yorick VH
13/03/2019 au 14/03/2019	Zone d'étude P3FAC	Délimitation et ouverture des layons de la parcelle 2.	JF Gillet, Yorick VH, Augustin, Jean-Bosco
15/09/2019 au 16/09/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 2.	JF, Yorick, Augustin, Jean-Bosco

18/03/2019 25/03/2019	au	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 2 ; Visite et vérification des avancées par Pr. J-L Doucet et Éric Forni.	JF, Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Raoul, Armand, Christellin, Journalier, JLD, Eric, Andy
27/03/2019 30/03/2019	au	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 2.	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Armand, Raoul, Christellin, Journalier, Andy
1/04/2019 6/04/2019	au	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 2 ; Clôture de l'installation de la parcelle 2.	Yorick, Augustin, Raoul, Journalier, Andy

Tableau 1- Planning des activités

2.2. Résultats après 1 mois

2.2.1. Parcelles

Durant ce premier mois sur le terrain, une première parcelle a pu être installée et inventoriée complètement. Il s'agit de la parcelle_2 (Figure 2), figurant dans les parcelles choisies avant le départ pour le bloc-sud de la zone d'étude. La parcelle_2 est la parcelle la plus proche du lieu où est établi le campement de l'équipe.

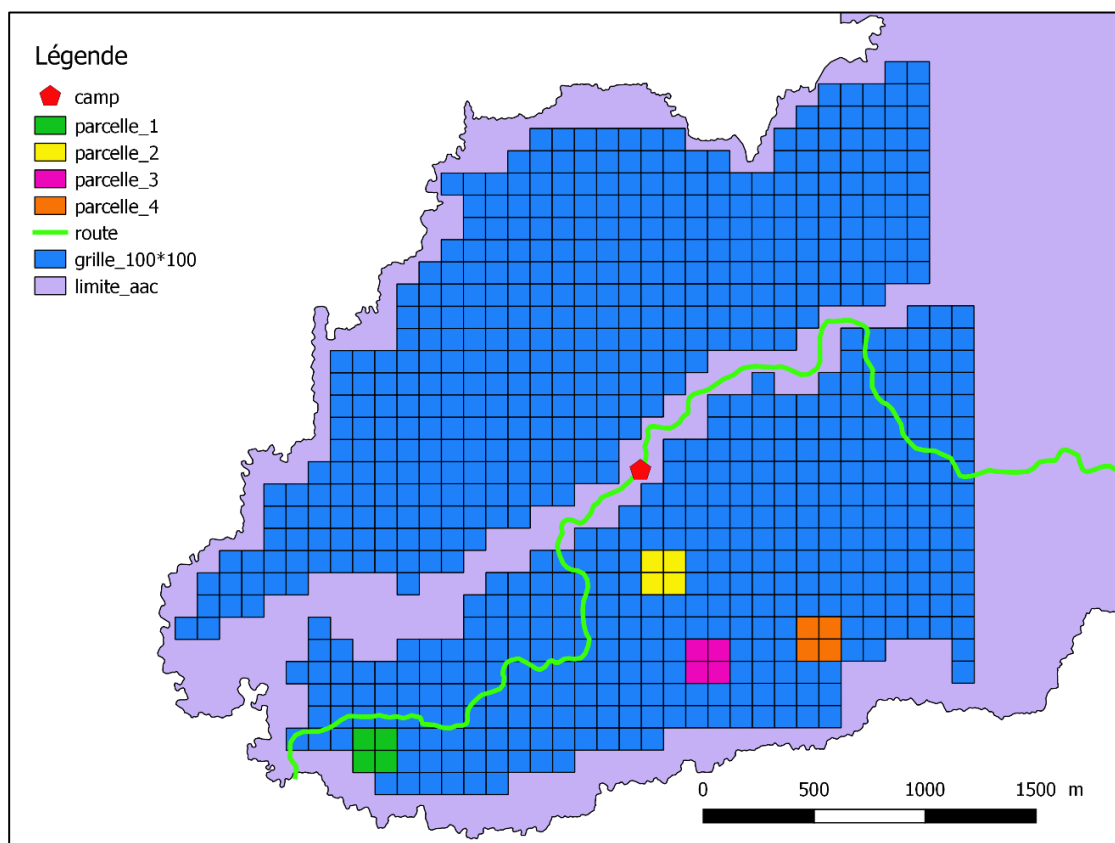


Figure 2 - Parcelles du bloc sud (Source: Yorick Van Hoef)

La parcelle correspond bien à la volonté d'éviter les cours d'eau et les marécages. Elle ne présente pas de fortes pentes (maximum 10%) ni d'anciennes traces lourdes d'exploitation.

2.2.2. Rendements

Au cours de l'installation de la première parcelle, différentes variables ont influencé les rendements de la mission. Quelques chiffres ressortant du travail effectué pendant 4 semaines peuvent déjà être observés :

Indice de productivité	n
Nbre_parcelles	1
Nbre_arbres_tot	1415
Nbre_moy_arbres_jour	78,6
Nbre_max_arbres_jour	152
Nbre_moy_quadrats_jour	6
Nbre_max_quadrats_jours	10

Tableau 2 - Rendements parcelle_2

Les graphiques suivants (Figure 3 et Figure 4) permettent d'observer l'évolution du nombre de quadrats réalisés par jour et du nombre d'arbres travaillés par jour en fonction de différentes variables.

- La variable « equipe » correspond aux nombres de personnes présentes et travaillant sur la parcelle le jour donné ;
- La variable « demi_jour_travail » correspond aux entrées et sorties sur le terrain ;
- La variable « pluie » a été indiquée lorsque l'intensité de la pluie ne permettait pas de travailler en forêt dans de bonnes conditions de sécurité ;
- La variable « visite_JLD_Eric » correspond aux journées pendant lesquelles Pr. Jean-Louis Doucet et Eric Forni sont venus superviser le travail de l'équipe.

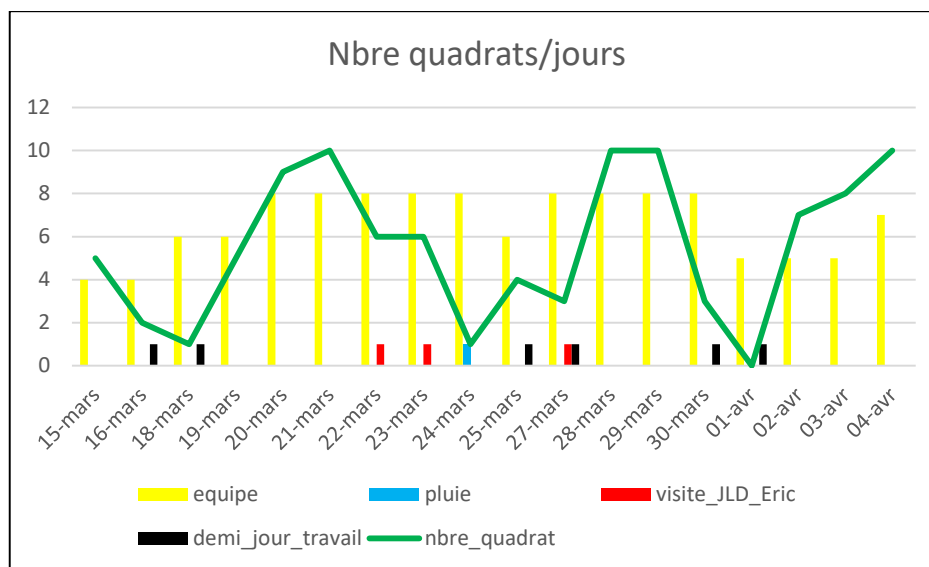


Figure 3 - Evolution du nombre de quadrats réalisés par jour

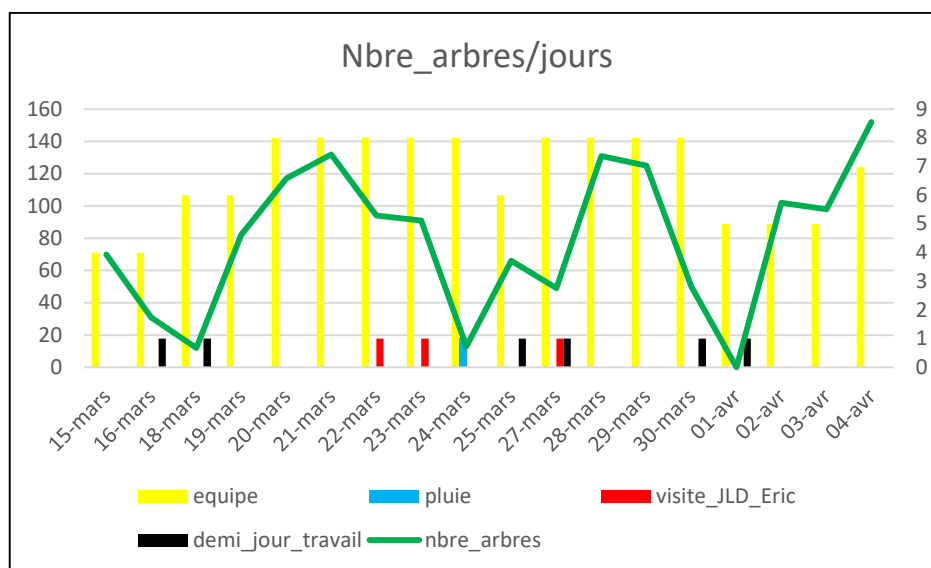


Figure 4 - Evolution du nombre d'arbres travaillés par jour

On remarque que les pics de production coïncident, aussi bien pour le nombre de quadrats que le nombre d'arbres réalisés, avec les journées de travail complètes et lorsque l'équipe est composée entre 7 et 8 personnes. Les entrées et sortie terrain présente un nombre réalisé moindre, correspondant évidemment à moins d'heures de travail sur la journée.

2.3. Problèmes rencontrés

Différents problèmes entravant le bon avancement du travail ont été remarqué.

Les déplacements.

Les déplacements concernent uniquement les entrées et les sorties bardas. La zone d'étude se situe à environ 75 km de Bambidie, correspondant à environ 1h15 de trajet en voiture. Cependant, une même voiture étant disponible pour différentes équipes (P3FAC, reboisement), ce temps de trajet se voit de manière récurrente rallongé à plusieurs heures. En plus de se déplacer pour plusieurs équipes, le chauffeur doit également aller chercher le botaniste de l'herbier national attiré au projet qui est logé au camp d'Okandja. La distance se voit alors presque doublée. Peut-être serait-il judicieux de loger le botaniste sur Bambidie, dans la mesure du possible.

Les horaires sont également peu précis pour les sorties. Lors de l'entrée en barda, une heure de sortie est fixée mais celle-ci est rarement respectée, débouchant sur des heures de travail mal rentabilisées dans certains cas.

Ex : sortie prévue à 11h un samedi, la voiture arrive à 15h et vice-versa.

Lorsque les retours le samedi sont trop tard, l'équipe ne peut pas réaliser ses achats de nourriture pour la semaine suivante, ce qui impose le lundi matin, un passage à l'économat qui postpose le départ sur le terrain.

Ces temps de trajets imposés par le lourd programme du chauffeur pénalisent le travail de l'équipe d'installation des parcelles P3FAC et génétique, l'heure d'arrivée sur le terrain étant de 12h passé voir plus encore ... (Lundi 01 avril : arrivée après 14h).

Les effectifs.

Le nombre de personnes composant l'équipe de travail influence fortement les rendements d'installation des parcelles (voir *Figure3&4*). Les journées les plus productives sont celles où l'équipe génétique a été ajouté en renfort, complétant l'équipe à un nombre de 8 personnes. Le facteur influençant principalement la vitesse d'avancée de l'équipe est la présence d'arbres de gros diamètres nécessitant l'échelle pour la mesure. Si l'équipe est composée d'un nombre minimum de travailleurs, un duo attiré à la mesure des gros diamètres permet d'avancer au même rythme que le reste de l'équipe. Dans le cas contraire, l'équipe est ralentie par la mesure de ces arbres. En plus d'être un nombre tout juste pour le travail, si un membre est malade, l'équipe est directement en sous-effectif (cas de la semaine du 01 au 06 avril).

Le faible nombre de personnes dans l'équipe a également posé une pénibilité lors de l'ouverture des layons nécessaires à la délimitation de la parcelle. Le travail lourd fatigue vite les machetteurs.

Une équipe composée de 7 membres est un minimum pour avancer à bonne vitesse et espérer rentrer dans les délais (en tenant compte des malades, des journées de fortes pluies), 8 étant l'idéal.

Répartition des rôles dans l'équipe de 8 personnes :

- 3 mesureurs (2 pour les arbres à hauteur de mesure internationale et 1 sur l'échelle pour mesure à 450cm) ;
- 2 peintres (1 sur les chiffres, 1 les bandes de mesures) ;
- 1 porte-échelle (déplacement et maintien de l'échelle pour la sécurité lorsque quelqu'un monte) ;
- 1 botaniste ;
- 1 encodeur.

Dans le cas d'une équipe de 7 personnes, les mesureurs sont restreints à 2, l'un d'eux alternant mesure normale et mesure sur échelle.

Le matériel.

Dans une moindre mesure que les points précédents, le matériel influence la vitesse de travail. La deuxième échelle commandée n'est toujours pas arrivée. Elle permettrait de travailler deux échelles en même temps sur les arbres de grands diamètres. Actuellement le déplacement de l'échelle autour du tronc pour poser le trait de mesure puis la peinture prend un temps non négligeable. De plus, une échelle devra également être disponible pour l'installation des sentiers dans peu de temps.

Malgré que le kit tablette de terrain commandé ne soit pas arrivé à temps, l'utilisation d'une tablette personnelle remplit la tâche. L'application *Open Foris Collect* fonctionne correctement et l'utilisation du panneau solaire et de la batterie externe permet d'avoir de l'autonomie pour toute la semaine (+-5 jours et demi).

Pour le reste du matériel et des consommables, pas de problèmes actuellement, ils sont disponibles en suffisance.

Les intempéries.

Aucune solution à ce problème inhérent au climat gabonais mais tenir compte qu'elles peuvent mettre en stand-by des journées complètes de travail et que l'on est en saison des pluies. Peu de fortes pluies pour le mois de mars mais déjà 2 depuis début avril.

L'équipe.

Pas de problème noté avec l'équipe. Les membres sont motivés et travailleurs. Les journaliers posent quelques petits soucis au début de leur arrivée dans les cas où ils ne connaissent pas le travail (il faut les accompagner et réexpliquer régulièrement comment réaliser leur tâche).



PRECIOUS WOODS

TERRA Teaching and Research Centre, Forest is life

Yorick Van Hoef

TERRA Teaching and Research Centre, Forest Is Life, Tropical Forestry

University of Liège – Gembloux Agro Bio Tech

Passage des Déportés, 2

5030 Gembloux

Tel: +32 81 62 22 31

Courriel : yorick.vanhoef@student.uliege.be

Rapport de mission 2 - Avril 2019

Projet P3FAC

Dates de la mission dans la concession Precious Woods Gabon – Compagnies Equatoriale des Bois S.A. :
du 11/03/2019 au 27/05/2019

Yorick Van Hoef

Installation d'un dispositif permanent de suivi de la dynamique forestière dans la région de Lastoursville (Gabon)

Promoteurs :

Pr. Jean-Louis Doucet – Département BIOSE (Biosystem Engineering), Axe de Gestion des Ressources Forestières, Université de Liège, Gembloux Agrio-Bio Tech

Pr. Adeline Fayolle – Département BIOSE (Biosystem Engineering), Axe de Gestion des Ressources Forestières, Université de Liège, Gembloux Agrio-Bio Tech

Table des matières

1. Contexte.....	2
1.1. Projet d'étude	2
1.2. Zone d'étude.....	2
1.3. Objectif.....	3
2. Mise en œuvre de la mission	3
2.1. Planning des activités	3
2.2. Résultats après 2 mois	5
2.2.1. Parcelles.....	5
2.2.2. Rendements	6
2.3. Problèmes rencontrés	7

1. Contexte

1.1. Projet d'étude

Les forêts tropicales jouent aujourd'hui un rôle clé aussi bien en termes d'accueil de la biodiversité que de stockage de carbone (Robert M. & Saugier B., 2003). En plus des services écosystémiques qu'elles fournissent, elles sont également une ressource primordiale pour de nombreuses communautés vivant autour d'elles, étant pourvoyeurs de denrées alimentaires ainsi que de bois énergie.

Malheureusement, les forêts tropicales subissent actuellement différentes pressions telles que le changement climatique, l'explosion démographique des populations de l'hémisphère sud, etc. Leur pérennité est mise en danger.

Un mode de gestion durable des forêts permettrait de maintenir ces écosystèmes complexes en place sur le long terme. La gestion durable des forêts de production signifie que les règles et pratiques d'exploitation peuvent assurer la pérennité des ressources et des services fournis par les forêts tout en générant des bénéfices économiques. Cette gestion durable nécessite un équilibre entre les prélèvements réalisés par l'exploitation forestière et la croissance des peuplements, équilibre recherché à travers l'élaboration de plans d'aménagement forestiers permettant une planification de la gestion sur le long terme et dont le calcul de reconstitution de la ressource est basé sur le potentiel de bois d'œuvre initialement exploitable.

Il s'avère cependant qu'il existe des lacunes localement en termes de données nécessaires à de bonnes prévisions dans les plans d'aménagement (taux de recrutement, taux de mortalité, etc.). Et faute de données, des données moyennes issues de la littérature sont utilisées (Picard N. & Gourlet-Fleury S., 2008).

L'installation de dispositifs permanents de suivi des arbres (parcelles) devrait permettre d'améliorer les connaissances générales sur les forêts tropicales et plus spécifiquement, sera utile pour estimer la possibilité de chaque espèce, pour suivre la dynamique du peuplement dans son ensemble, ses caractéristiques structurales (diamètre, biomasse, etc.) et quantifier les impacts de l'exploitation forestière.

Le présent travail s'intègre dans le cadre d'un travail de fin d'étude de bio-ingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels.

Il trouve place dans le projet P3FAC : Partenariat Public Privé pour gérer durablement les Forêts d'Afrique Centrale, financé par le FFEM, dont Gembloux Agro-Bio Tech est l'un des organismes de recherches internationaux impliqués.

Son objectif est d'installer des dispositifs permanents pour le suivi de la dynamique forestière avec l'installation de parcelles de 4 ha. Une caractérisation de la structure forestière, de la composition en espèces et une estimation de la biomasse et des stocks de carbone.

1.2. Zone d'étude

La zone d'étude se situe entre les bases vies de Bambidie et Okandja de la concession PW-CEB, au sein de l'UFA2, de l'UFG4, dans la pointe sud de l'AAC 2017 (*Figure 1*).

La superficie totale s'élève à 839 ha et est divisée en deux blocs (bloc-sud : 410 ha et bloc-nord : 429 ha). Le bloc-sud sera exploité fin d'année 2019, le bloc-nord est un bloc témoin sur lequel l'exploitation ne passera plus.

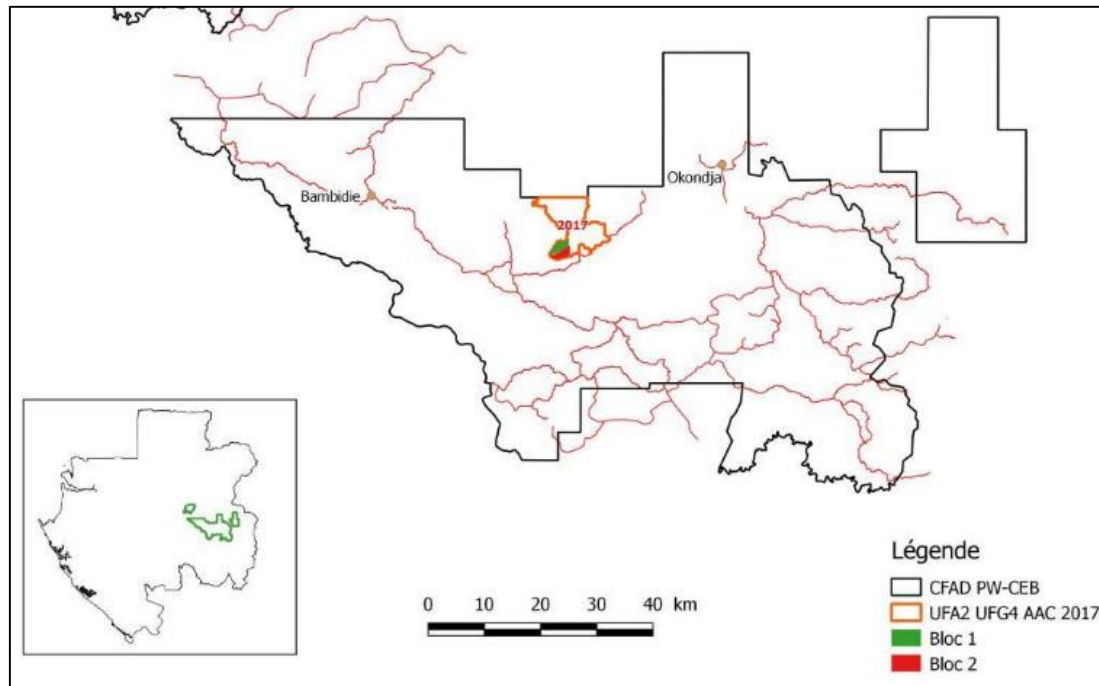


Figure 1 - Emplacement des concessions PW-CEB, des sites industriels et du dispositif de recherche (Source: J-F Gillet)

1.3. Objectif

Huit parcelles seront installées au total sur le projet P3FAC, quatre dans chacun des blocs, pour un total de 32 ha. Dans le cadre du TFE du mémorant Yorick VAN HOEF, trois parcelles seront installées sur le temps de 11 semaines de mission.

2. Mise en œuvre de la mission

2.1. Planning des activités

Dates	Lieux	Activités	Equipes	Heures de travail
08/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Entrée barda. Correction de mesures sur la parcelle 2	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Journalier (4)	4h
09/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Délimitation et layonnage de la parcelle 3.	Yorick, Armand, Augustin, Raoul (4)	8h
10/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Délimitation et layonnage de la parcelle 3. Clôture de la tâche.	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Armand, Raoul, Journalier (7)	7h
11/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Aucune - Pluie	/	0
12/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 1). Sortie barda.	Yorick, Augustin, JB, Raoul, Journalier (5)	4h30

TFE P3FAC – Rapport de mission *Mars 2019*

Weekend				
15/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Entrée barda. Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 1).	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Raoul, Journalier 1, Journalier 2 (6)	3h30
16/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Aucune la matinée (pluie). Installation et inventaire de la parcelle 3 (après-midi).	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Raoul, Journalier 1, Journalier 2 (6)	3h30
17/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 1).	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Raoul, Journalier 1, Journalier 2 (6)	7h
18/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 1). Départ du botaniste.	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Journalier 1, Journalier 2 (5)	8h
19/04/2019 au 20/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Délimitation et layonnage de la parcelle 4. Sortie barda.	Yorick, Augustin, Jean-Bosco, Christellin, Journalier 1, Journalier 2 (6)	8h + 5h
Weekend				
22/04/2019	Bureaux CEB Bambidie	Aucune – Congé de Pâques	/	/
23/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Entrée barda. Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 2).	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (6)	5h30
24/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 2).	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (6)	9h
25/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (clôture du Carré 2). Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 3).	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (6)	8h
26/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 3).	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (6)	8h
27/04/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 3). Sortie barda.	Yorick, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (6)	2h
Weekend				
29/04/2019 au 2/05/2019	Bureaux CEB Bambidie	Accueil botaniste Yves Issembe. Encodage notes papier. Fête du Travail.	/	/
3/05/2019 au 4/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Vérification des identifications de la parcelle 3 avec le botaniste.	Yorick, Yves, 2 Journaliers (4)	4h
Weekend				
6/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Vérification des identifications de la parcelle 3 avec le botaniste.	Yorick, Yves, Jean-Bosco (3)	5h

7/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 3). Clôture du Carré 3. Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 4).	Yorick, Yves, Armand, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (8)	8h
8/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 3 (Carré 4). Clôture de la parcelle 3.	Yorick, Yves, Armand, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (8)	7h20
9/05/2019 au 10/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Installation et inventaire de la parcelle 4 (Carré 1).	Yorick, Yves, Armand, Augustin, JB, Christellin, Journalier 1 & 2 (8)	7h20 + 7h
11/05/2019	Zone d'étude P3FAC	Sortie barda.	/	/
Weekend				

Tableau 1- Planning des activités

2.2. Résultats après 2 mois

2.2.1. Parcelles

Durant ce deuxième mois sur le terrain, une seconde parcelle a pu être presque entièrement installée et inventoriée (3 ha sur 4). Il s'agit de la parcelle_3 (Figure 2), figurant dans les parcelles choisies avant le départ pour le bloc-sud de la zone d'étude. La parcelle_4 a également pu être délimitée et layonnée.

Les parcelles 2, 3 et 4 sont facilement accessibles depuis le campement, un réseau de pistes d'éléphant et d'anciennes traces de débardages les reliant.

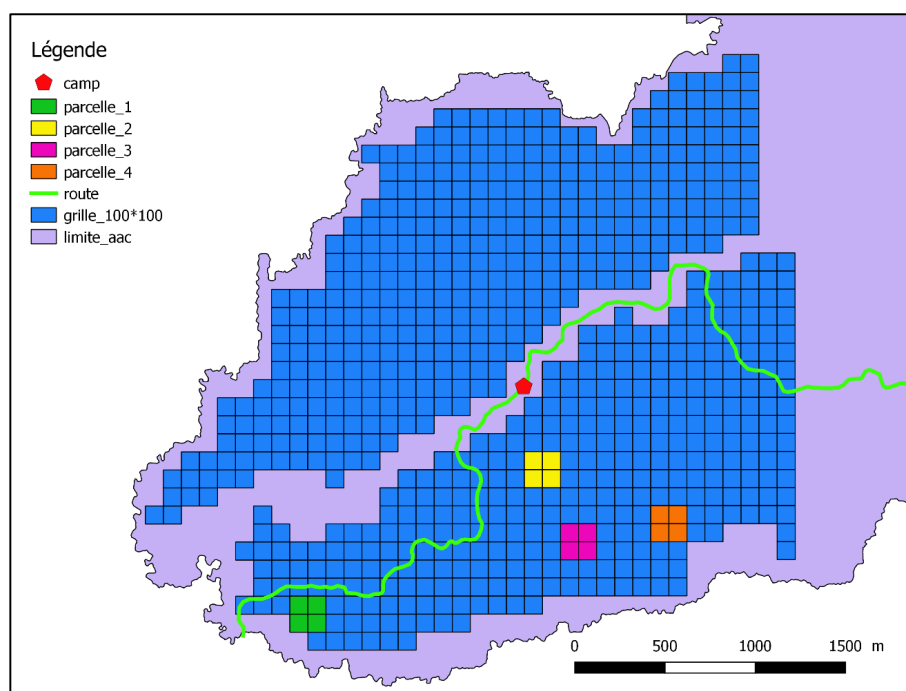


Figure 2 - Parcelles du bloc sud (Source: Yorick Van Hoef)

2.2.2. Rendements

Au cours de l'installation de la parcelle_3, différentes variables ont influencé les rendements de la mission. Quelques chiffres ressortant du travail effectué pendant 4 semaines peuvent être observés dans le tableau suivant :

Indice de productivité	n
Nbre_parcelles	1
Nbre_arbres_tot	1551
Nbre_moy_arbres_jour	129
Nbre_max_arbres_jour	240
Nbre_moy_quadrats_jour	8
Nbre_max_quadrats_jours	15
Nbre_moy_arbres_heure	20
Nbre_max_arbres_heure	32

Tableau 2 - Rendements parcelle_3

Les graphiques suivants (*Figure 3* et *Figure 4*) permettent d'observer l'évolution du nombre de quadrats réalisés par jour et du nombre d'arbres travaillés par jour en fonction de différentes variables.

- La variable « equipe » correspond aux nombres de personnes présentes et travaillant sur la parcelle le jour donné ;
- La variable « demi_jour_travail » correspond aux entrées et sorties sur le terrain ;
- La variable « pluie » a été indiquée lorsque l'intensité de la pluie ne permettait pas de travailler en forêt dans de bonnes conditions de sécurité.

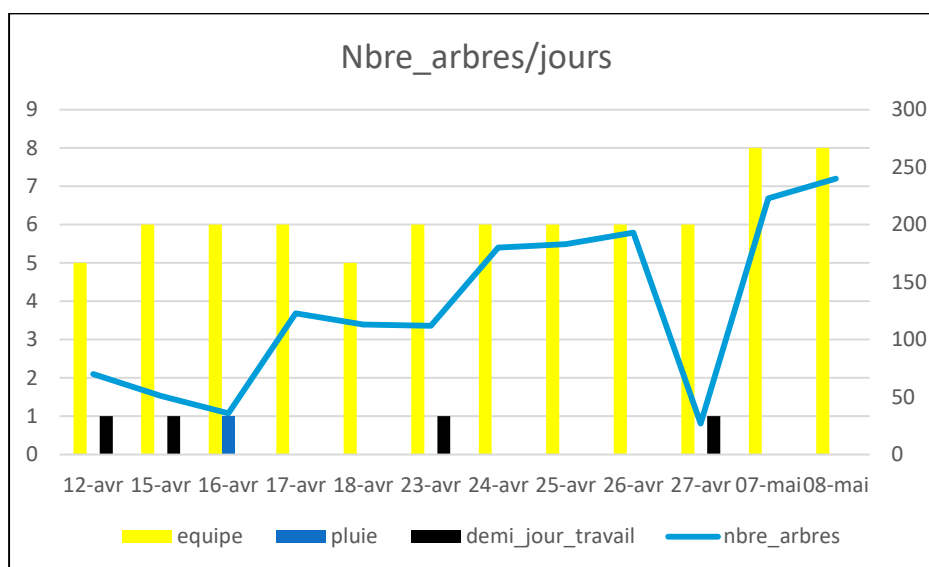


Figure 3 - Evolution du nombre d'arbres réalisés par jour de travail

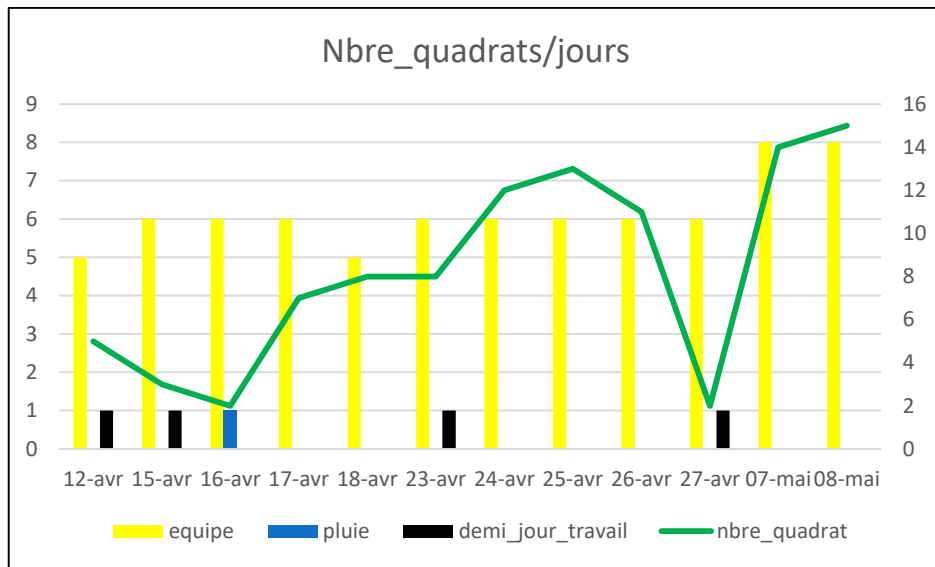


Figure 4 - Evolution du nombre de quadrats réalisés par jour de travail

2.3. Problèmes rencontrés

Pas de nouveau problème majeur à ajouter par rapport au premier rapport pour ce second mois de travail.