



UNIVERSITÉ D'ÉTAT D'HAÏTI

(UEH)

FACULTÉ D'AGRONOMIE ET DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE

(FAMV)

DÉPARTEMENT DES RESSOURCES NATURELLES ET ENVIRONNEMENT

(DRNE)

Évaluation du stock de carbone d'un peuplement d'*Acacia mangium* âgé de 6 ans, à Bois Nago, section Bois-Poux dans la commune de Mont-Organisé, Haïti

Mémoire de fin d'études

Préparé par : Anne-Doty HÉRISSE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : Ressources Naturelles et Environnement (RNE)

Juin 2021

Ce mémoire intitulé :

Évaluation du stock de carbone d'un peuplement d'*Acacia mangium* âgé de 6 ans, à
Bois Nago, section Bois-Poux dans la commune de Mont-Organisé, Haïti

A été approuvé par le jury composé de :

	Signature	Date
Neudy JEAN-BAPTISTE Président du jury		/..../....
Steevensen ALCIUS Membre du jury		/..../....
Eric junior VILMONT Membre du jury		/..../....
Odré VALBRUN Membre, Conseiller Scientifique		/..../....

AVANT-PROPOS

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome de fin d'études réalisées à la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV). La FAO (2010) a souligné l'importance des boisements à croissance rapide dans le stockage du carbone. Or, les études visant à quantifier le stock de carbone sont assez récentes et peu nombreuses dans le pays. Ainsi, cette étude se veut être une contribution à la communauté scientifique haïtienne en étant un modèle pour tous ceux qui auront à approfondir cette thématique. Ce travail décrit de manière concise la méthodologie appliquée pour la bonne compréhension de tous ceux qui auront à consulter ce mémoire. Une liste de référence regroupant l'essentiel des faits scientifiques sur le sujet accompagne également le document. Les difficultés rencontrées dans la réalisation de ce mémoire concernent particulièrement la non disponibilité des équations allométriques spécifiques à la réalité écologique de la zone d'étude d'où l'utilisation d'un modèle généralisé.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'architecte de l'Univers, le grand Dieu tout puissant qui ne cesse chaque jour de me faire don de sa grâce.

Je voudrais exprimer toute ma gratitude au professeur Odré Valbrun, mon Conseiller-Scientifique pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je le remercie pour sa disponibilité, sa patience et la qualité de ses conseils.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements au corps professoral et administratif de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV), pour la richesse et la qualité de leur enseignement.

Je désire aussi remercier tous les membres du Staff de Ouanaminthe particulièrement Aide Apollon, Gilbert Goimbert, William Metellus, Marline Raphaël, Dapheney Lumas, pour leur support et leur aide.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance envers mes amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral intellectuel tout au long du travail.

Je remercie également toute la famille Apollon de m'avoir chaleureusement accueilli chez eux à Ouanaminthe, mais aussi de leurs encouragements, et de tout l'amour manifesté à mon égard.

Un infini merci à mon oncle Gabriel Frédéric, pour sa confiance et son soutien inestimable. Je le remercie également pour sa patience, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils.

Et enfin je remercie mon infatigable mère Juliette Jean Philippe ainsi que mon frère Jean Guilloux Hérissé qui ne se lassent jamais de m'encourager.

RÉSUMÉ

L'*Acacia mangium* est l'essence forestière favorisée lors des activités de plantation entreprises par la Welthungerhilfe (WHH); une évaluation des performances de ces plantations en termes de stockage de carbone est importante si Haïti compte respecter ses différents engagements internationaux sur le changement climatique. D'où le principal objectif de cette étude, est d'estimer le stock de carbone de la biomasse d'un peuplement d'*Acacia mangium* âgé de six ans, situé à Bois Nago et s'étendant sur une parcelle de 7.15 hectares de superficie. Un inventaire a d'abord été réalisé par échantillonnage systématique en implémentant 35 placettes provisoires de 8 m de rayon, donnant pour chacune une superficie de 199 m², après avoir appliqué un facteur de correction de la pente. Avec un diamètre de précomptage de 5 cm, les mesures prises dans chaque placette sont celles du diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et de la hauteur totale (H). Au total 1189 arbres ont été inventoriés et les résultats obtenus ont montré une densité moyenne de 1707 tiges/ha. Par la suite, la biomasse aérienne a été quantifiée en utilisant deux modèles d'équation allométriques, celui de Traoré et al. (2018) considérant les paramètres (DHP et H) et celui de Chave et al. (2005) considérant en plus la densité du bois sèche au four (ρ). Une comparaison a été faite à partir des valeurs obtenues pour ces différents modèles et le choix a été porté sur le modèle développé par Chave et al. (2005). Et l'équation de Cairns et al. (1997) a ensuite été utilisée pour déterminer la biomasse souterraine. Les résultats obtenus sont respectivement 50.54±6.39 t/ha, 11.45±1.35 t/ha et 61.98±7.73 t/ha pour la biomasse aérienne, souterraine et totale. Pour finir, le stock de carbone total a été évalué en appliquant une fraction carbone recommandé par GIEC, (2006) valant 47 % de la biomasse totale. Le résultat obtenu est 29.13±3.63 t/ha dont a été déduite la quantité de CO₂ estimée à 106.82±16.32 t/ha. L'hypothèse de l'étude affirmant que le peuplement de Bois Nago stocke moins de carbone que le peuplement d'*Acacia mangium* de 7 ans étudié par Traoré et al. (2018) est vérifiée. Toutefois, les résultats quantitatifs observés sur ce jeune peuplement, n'ayant bénéficié d'aucun traitement sylvicole, permettent d'espérer une bonne performance de cette espèce à Bois Nago.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	ix
LISTE DES ANNEXES	x
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
1.1 Problématique	1
1.2 Objectifs	3
1.2.1 Objectif général	3
1.2.2 Objectifs spécifiques	3
1.3 Hypothèse	3
1.4 Limites de l'étude	3
CHAPITRE II : REVUE DE LA LITTERATURE	4
2.1 Généralités sur l' <i>Acacia mangium</i>	4
2.1.1 Caractéristiques de l'espèce	4
2.1.2 Ecologie et climat	4
2.1.3 Conditions édaphiques	4
2.2 Estimation de la biomasse des arbres	5
2.2.1 Méthode d'estimation de la biomasse des arbres vivants	6
2.2.2 Méthodes d'estimation de la biomasse des bois morts	7
2.2.3 Estimation à partir des équations allométriques	7
2.3 Méthode d'évaluation du stock de carbone	9
CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIE	11
3.1 Présentation de la zone d'étude	11
3.1.1 Localisation	11
3.1.2 Pluviométrie	12
3.1.3 Température	14
3.1.4 Topographie et sol	14

3.1.5 Végétation et faune	14
3.1.6 Mode de gestion actuelle	14
3.2 Matériels et méthodes.....	15
3.2.1 Matériels utilisés.....	15
3.2.2 Méthode de collecte des données	15
3.2.2.1 Détermination de la superficie du site	15
3.2.2.2 Inventaire des arbres.....	15
3.2.2.2.1 Pré inventaire.....	15
3.2.2.2.2 Plan d'échantillonnage	16
3.2.2.3 Réalisation de l'inventaire	17
3.2.2.4 Calcul de la biomasse aérienne et souterraine des arbres	19
3.2.2.4.1 Calcul de la biomasse aérienne (AGB).....	19
3.2.2.4.2 Calcul de la biomasse souterraine (BGB).....	21
3.2.2.4.3 Calcul de la biomasse totale (TB).....	21
3.2.2.5 Évaluation du stock de carbone et de la quantité de CO ₂ équivalente.....	21
CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION	22
4.1 Inventaire du peuplement	22
4.1.1 Densité.....	22
4.1.2 Diamètre à hauteur de poitrine	23
4.1.3 Surface terrière	25
4.1.4 Hauteur totale	26
4.2 Biomasse.....	27
4.2.1 Biomasse aérienne avec l'équation de Chave et al. (2005)	27
4.2.2 Biomasse aérienne avec l'équation de Traoré et al. (2018).....	28
4.2.3 Comparaison des résultats de la biomasse aérienne	29
4.2.4 Biomasse souterraine.....	30
4.2.5 Biomasse totale.....	31
4.2.6 Relation entre la biomasse totale et la densité.....	31
4.3 Stock de carbone et quantité de CO ₂ équivalente	32
CHAPITRE V : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	35
5.1 Conclusion.....	35

5.2 Recommandations	36
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37
ANNEXES	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Croissance de certains peuplements d' <i>Acacia mangium</i> en fonction de l'âge et de la densité.....	5
Tableau 2: Valeurs de l'estimation de la biomasse épigée de certains peuplements d' <i>Acacia mangium</i> situés en Indonésie par rapport à l'âge	6
Tableau 3: Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse des arbres d' <i>Acacia mangium</i>	8
Tableau 4: Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne des arbres en forêts tropicales humides	9
Tableau 5: Stock de carbone évalué pour certains peuplements d' <i>Acacia mangium</i> en fonction de l'âge et de la densité	10
Tableau 6: Densité du peuplement d' <i>Acacia mangium</i> de Bois Nago à l'hectare	23
Tableau 7: DHP du peuplement d' <i>Acacia mangium</i> de Bois Nago	24
Tableau 8: Surface terrière du peuplement	26
Tableau 9: Hauteur totale du peuplement	27
Tableau 10: Biomasse aérienne du peuplement calculée à partir de l'équation de Chave et al. (2005).....	28
Tableau 11: Biomasse aérienne du peuplement calculée à partir de l'équation de Traoré et al (2018)	29
Tableau 12: Biomasse souterraine du peuplement.....	30
Tableau 13: Biomasse totale du peuplement.....	31
Tableau 15: Stock de carbone du peuplement.....	32
Tableau 16: Quantité de CO ₂ équivalente du peuplement.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Vue aérienne de la parcelle d'étude.....	11
Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude	12
Figure 3: Pluviométrie moyenne mensuelle de Ouanaminthe (1988-2019).....	13
Figure 4: Variations annuelles de la pluviométrie totale de Ouanaminthe (1988-2019).....	13
Figure 5: Distribution des placettes d'échantillonnage.....	17
Figure 6: Carte présentant la densité du peuplement de Bois Nago.....	22
Figure 7: Histogramme montrant le nombre de tiges par classe de diamètre	24
Figure 8: Histogramme présentant la surface terrière par classe de diamètre	25
Figure 9: Boite à moustache présentant la distribution de la hauteur totale du peuplement	26
Figure 10 : Diagramme de corrélation entre la biomasse et la densité du peuplement	31

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AGB	: Above Ground Biomass (Biomasse aérienne)
ANEVERT	: Action Noble pour un Environnement Vert
BEF	: Facteurs d'expansion de la biomasse
BGB	: Below Ground Biomass (Biomasse souterraine)
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CGAAER	: Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux
CIRAD	: Centre Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement
CO ₂	: Dioxyde de carbone
CPDN	: Contribution prévue déterminée au niveau national
DHP	: Diamètre à Hauteur de Poitrine
FAO	: Food and Agriculture Organization
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IGN	: Institut de l'information géographique et foresterie
MDE	: Ministère De l'Environnement
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
REDD+	: Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts
SIG	: Système d'Information Géographique
USAID	: United States Agency for International Development
WHH	: Welthungerhilfe (Agro Action Allemande)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Coordonnées des centres des placettes

Annexe 2: Précipitation moyenne mensuelle de Ouanaminthe pour la période (1988-2019)

Annexe 3: Précipitation totale annuelle de Ouanaminthe pour la période (1988-2019)

Annexe 4: Classification des zones bioclimatiques de Holdridge

Annexe 5: Paramètres dendrométriques comptés, mesurés et calculés par placette

Annexe 6: Biomasse (aérienne, souterraine et totale) des arbres échantillonnés par placette

Annexe 7: Fiche de collecte des données

Annexe 8: Quelques prises de vue du site

CHAPITRE I : INTRODUCTION

1.1 Problématique

L'existence du changement climatique ne fait malheureusement aucun doute; c'est un phénomène d'actualité mondiale. Sa gravité est largement démontrée dans le 5^{ème} rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publié en 2014. Elle se traduit par une élévation de la température moyenne du globe à cause de la hausse des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, particulièrement le dioxyde de carbone (GIEC, 2007). Cependant, ce dernier peut être absorbé grâce au mécanisme de la photosynthèse des végétaux composant les forêts, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. Elles se comportent alors comme des puits capables de stocker du carbone (Madignier et al., 2015). D'ailleurs, l'ensemble des forêts mondiales représenterait selon la FAO (1997), 80 % des stocks de carbone au-dessus du sol, et 40 % du carbone incorporé dans le sol. De même, la déforestation peut-être une source d'émission de CO₂ dans l'atmosphère. Les scientifiques du GIEC (2007) estiment que les émissions annuelles mondiales de CO₂ dues à la déforestation tropicale sont comprises entre 5 et 25 %.

Ce phénomène, à savoir la déforestation s'accroît de plus en plus en Haïti et devient de nos jours très préoccupant pour le pays. D'après Singh et Cohen (2014), Haïti est l'un des pays les plus déboisés au monde et selon une classification, faite par Churches et al (2014) seulement 32,3% de la superficie totale du pays était couverte d'arbres en 2010-2011. Le Ministère de l'Environnement dans sa deuxième communication sur les changements climatiques publiée en 2013, avait clairement affirmé que les forêts étaient en voie de disparition. Mais le souci est que le pays est exposé à plusieurs menaces naturelles liées directement ou indirectement à la déforestation dont les plus courants sont les cyclones et les inondations (MDE, 2006). Et même, Haïti subit de plus en plus les conséquences de la déforestation tel que la dégradation du sol, l'érosion et la diminution des ressources en eau (Singh et Cohen, 2014). Ces conséquences ne sont nulles autres que des effets du changement climatique et Haïti à travers divers accords multilatéraux sur l'environnement, reconnaît l'importance du secteur forestier

comme moyen de les atténuer. Le pays a signé et ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) respectivement en juin 1992 et en septembre 1996, mais aussi l'Accord de Paris (COP 21), qui fut signé en avril 2016 et ratifié en juillet 2017 (PNUD, 2016). Dans le but d'apporter sa contribution dans cette lutte mondiale de réchauffement planétaire, Haïti s'est engagé lors de sa participation à l'Accord de Paris en 2015, à réduire de 31 % ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030. A cet effet, plusieurs mesures d'atténuation consistant entre autres à augmenter son stock de carbone ont été prévues, parmi lesquelles la plantation de 137.500 ha de forêt d'ici à 2030 en privilégiant les espèces locales dont 100.000 ha de manière conditionnelle entre 2020 et 2030 (MDE, 2015). Afin de respecter ses engagements, il est important pour Haïti de réaliser ses inventaires forestiers pour quantifier les stocks de carbone de ses boisements ou ses reboisements. Cependant dans le pays, très peu de travaux d'inventaire forestier ont été réalisés jusqu'à date. De plus, plusieurs organisations nationales ou internationales incluent dans leurs projets des activités de reboisement sans effectuer pour autant des inventaires et procéder à l'évaluation de leur stock de carbone.

Dans le cadre de son projet sur la sécurité alimentaire, la Welthungerhilfe (WHH) avait entrepris des activités de reboisement particulièrement dans le département du Nord-Est du pays. La présente étude consiste alors à évaluer le stock de carbone d'un peuplement d'*Acacia mangium* de l'une des parcelles boisées située à Bois Nago. Ce travail consistant à déterminer à la fois la biomasse aérienne et la biomasse souterraine pour quantifier le stock de carbone, permettra d'évaluer l'efficacité des peuplements d'*Acacia mangium* quant à l'atténuation du changement climatique. Quelle est la quantité de biomasse stockée dans le peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago ? Quel est le stock de carbone qui peut en être déduite ? Ce sont là, les questions auxquelles ce présent travail tente d'apporter des éléments de réponse qui contribueront à l'acquisition de nouvelles connaissances relatives au secteur forestier.

1.2 Objectifs

1.2.1 Objectif général

Cette étude envisage d'évaluer la capacité de stockage de carbone d'un peuplement d'*Acacia mangium* en vue de comprendre l'importance de ces plantations quant à l'atténuation des effets du changement climatique.

1.2.2 Objectifs spécifiques

- ✓ Faire l'inventaire par échantillonnage d'un petit peuplement monospécifique d'*Acacia mangium* ;
- ✓ Quantifier la biomasse aérienne et souterraine des arbres de toute la parcelle ;
- ✓ Évaluer le stock de carbone des arbres et la quantité de CO₂ équivalente.

1.3 Hypothèse

Le peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago âgé de six (6) ans et deux (2) mois, dont la densité est de 1707 tiges/ha stocke moins de carbone que celui de Côte d'Ivoire étudié par Traoré et al. (2018) âgé de 7 ans, et dont la densité est de 715 tiges/ha.

1.4 Limites de l'étude

Les limites de cette étude consistent tout d'abord au fait que seulement le stock de carbone de la biomasse des arbres d'*Acacia mangium* de la parcelle boisée à Bois Nago ont été évalués. Ensuite, des modèles d'équations allométriques généralisées et spécifiques à l'espèce d'*Acacia mangium* et non au site de l'étude ont été utilisés.

CHAPITRE II : REVUE DE LA LITTERATURE

2.1 Généralités sur l'*Acacia mangium*

2.1.1 Caractéristiques de l'espèce

L'*Acacia mangium* est un grand arbre originaire de la Papouasie Nouvelle-Guinée, de l'Indonésie et de l'Australie qui peut atteindre jusqu'à 30 m de haut. Cependant dans des conditions peu favorables c'est un petit arbre, parfois avec des tiges multiples et buissonnantes. Son fût est long et droit certaines fois légèrement cannelé à la base. L'écorce est claire, gris-brunâtre ou brune, rugueuse avec des fissures longitudinales. Sur le tronc, les branches persistent longtemps, l'élagage naturel est donc mauvais. Le système racinaire est vigoureux et traçant (CIRAD, 2003). Caractérisé par un bois léger de densité égale à 0.6 g/cm^3 (FAO, 1979) ; l'*Acacia mangium* est exploitable entre 6 et 9 ans. Sa durée de vie est relativement courte car elle ne dépasse pas une trentaine d'années dans son aire d'origine (Pinyopusarerk et al., 1993).

2.1.2 Ecologie et climat

L'*Acacia mangium* est une espèce des forêts claires et des savanes boisées, partiellement liée au passage des feux. En général, on la trouve dans les régions côtières, surtout en dessous de 300 m d'altitude, au maximum à 800 m. Exigeante en lumière, c'est une espèce à croissance rapide qui particulièrement, ne présente pas d'arrêt de croissance quand les conditions sont adéquates. Formant des associations symbiotiques avec des *Rhizobiums*, des *Bradyrhizobium*, des ecto et endomycorhizes, elle a la capacité de croître sur des sols particulièrement pauvres (CIRAD, 2003). L'*Acacia mangium* peut supporter des conditions climatiques très diverses : des précipitations d'été ou uniformément réparties, de 1000 à 4000 mm avec une saison sèche de 0 à 6 mois. La température moyenne du mois le plus chaud qu'elle tolère est d'environ $30\text{-}34^\circ\text{C}$ et la moyenne du mois le plus frais $15\text{-}22^\circ\text{C}$ (Mergen et al., 1983).

2.1.3 Conditions édaphiques

L'*Acacia mangium* est capable de se produire derrière les mangroves, dans les marécages saisonniers, le long des ruisseaux et sur les plateaux bien drainés, les

crêtes basses et les collines de montagne (Pinyopusarerk et al., 1993). A la différence des autres légumineuses qui nécessitent un sol de pH supérieur à 5.5, l'*Acacia mangium* est apte à se développer sur des sols acides de pH 4.5-6.5 pauvres, légers et bien drainés en surface (CIRAD, 2003).

2.1.4 Croissance

L'*Acacia mangium* a une forte croissance initiale ; dès l'âge de 3 ans elle peut déjà atteindre 5 à 6 m de hauteur et une quinzaine de mètres à 15 ans en conditions moyennes. A partir de 3 ans, l'accroissement en circonférence est influencé par la densité pour les plantations les plus serrées. Après 8 ans, sa croissance diminue aussi rapidement (Dupuy et N'Guessan, 1990). Le tableau suivant présente différentes valeurs de croissance en hauteur et en diamètre des arbres d'*Acacia mangium* des peuplements de différents âges à partir des études réalisées en Indonésie et en Côte d'Ivoire en fonction de l'âge et de la densité

Tableau 1: Croissance de certains peuplements d'*Acacia mangium* en fonction de l'âge et de la densité

Références	Age (ans)	Densité (arbres/ha)	DHP moyen (cm)	Hauteur (m)	Surface terrière (m ² /ha)
Hériansyah et al., 2007	3	1838	7.25	7.33	8.78
	5	758	17.89	17.41	20.12
Traoré et al., 2018	3	845	12.5	12.5	10.42
	7	715	23.4	19.0	30.75
Ilyas, 2013	3	1100	12.73	5	14.40
	5	1100	15.28	6	21.54
	7	1100	24.19	8	48.54

2.2 Estimation de la biomasse des arbres

Selon Brown (2002), deux composantes sont à considérer afin d'estimer la biomasse des arbres. Tout d'abord, la composante aérienne constituée de feuilles, de branches et de tiges d'où la biomasse aérienne ; ensuite le sous-sol comprenant les racines d'où la biomasse souterraine. La biomasse de certains peuplements

d'*Acacia mangium* a déjà été évaluée lors de précédents travaux réalisés sur différents sites d'étude en Indonésie. Le tableau suivant présente les valeurs trouvées en fonction de l'âge.

Tableau 2: Valeurs de l'estimation de la biomasse épigée de certains peuplements d'*Acacia mangium* situés en Indonésie par rapport à l'âge

Age (ans)	Biomasse (t/ha)	Références
1	17.2	Hardiyanto <i>et al.</i> , 2004
2	46.1	Hardiyanto <i>et al.</i> , 2004
3	94.25	Ilyas, 2013
5	137.85	Ilyas, 2013
7	292.02	Ilyas, 2013
7	177.08	Ilyas, 2013
7	63.46	Hériansyah <i>et al.</i> , 2007

2.2.1 Méthode d'estimation de la biomasse des arbres vivants

L'estimation de la biomasse des arbres peut se faire par des méthodes directes et indirectes (Brown, 2002). Les méthodes directes consistent à récolter l'arbre et à prendre des mesures de la masse réelle des différents compartiments (troncs, branches, feuilles, racines). Ces méthodes sont destructives (Kangas et Maltamo, 2006). Les méthodes indirectes utilisent des modèles de biomasse et des facteurs d'expansion de la biomasse (BEF) pour exprimer la biomasse des arbres, elles sont efficaces dans le temps (Peltier *et al.*, 2007).

Des deux composantes (aérienne et souterraine) de la biomasse des arbres, l'estimation de la biomasse aérienne (AGB) suscite beaucoup d'intérêt ces dernières années et est devenu un sujet de recherche de grande importance (Zolkos *et al.*, 2013). Deux méthodes indirectes d'évaluation de la biomasse sont préconisées. Tout d'abord, les méthodes se basant sur des techniques de télédétection et adaptées pour la mesure et le suivi des forêts sur de grandes études spatiales (Picard *et al.*, 2012). Ensuite, les méthodes fondées sur l'utilisation des équations allométriques en appliquant des données d'inventaire. Etant donné que

cette étude se réalise sur une petite parcelle et que cette dernière méthode est moins coûteuse, peu exigeante et de bonne précision, c'est elle qui est appliquée.

Quant à la deuxième composante, à savoir la biomasse souterraine (BGB) ; elle est considérée comme étant le réservoir de carbone le plus difficile à évaluer. Cependant, elle peut être estimée à partir de la biomasse aérienne plus facilement mesurable en utilisant le ratio racine/tige (R/S) : $AGB = AGB \times R/S$ (Nasi et al., 2008). De même, plusieurs équations allométriques applicables à différents types de forêt testées et validées dans des publications scientifiques, ont été développées pour estimer la biomasse souterraine à partir de la biomasse aérienne.

2.2.2 Méthodes d'estimation de la biomasse des bois morts

Le bois mort peut représenter jusqu'à 40 % de la biomasse aérienne totale des systèmes forestiers tropicaux (CIRAD, 2011). Pearson et Brown (2005), définit quatre catégories de bois morts : la première catégorie est celle des arbres avec les branches et les rameaux ressemblant à un arbre vivant (sauf pour le feuillage), la deuxième comprend les arbres sans rameaux mais avec encore des branches grandes et petites, la troisième catégorie concerne les arbres avec seulement de grandes branches et la quatrième et dernière comprend le tronc seulement, sans les branches. Pour cette dernière catégorie, la hauteur de l'arbre et son diamètre au niveau du sol sont à mesurer et il faut estimer le diamètre de la cime. Les bois morts du peuplement de Bois Nago appartiennent à la première catégorie. Alors, les équations allométriques générales peuvent être utilisées pour calculer la biomasse des arbres morts qui ont encore des branches et des rameaux. La quantité de biomasse dans un arbre mort encore debout peut être similaire à celle d'un arbre vivant. Cependant, un facteur de désintégration du bois mort doit être utilisé, par exemple 0,1 (ou 10 %) parce que le bois mort qui se décompose au sol est moins dense que le bois de l'arbre encore debout (Mcghee et al., 2016).

2.2.3 Estimation à partir des équations allométriques

Les équations allométriques sont des relations qui relient la biomasse à une ou deux variables indépendantes telles que le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur des arbres (Lotfi, 2008). Beaucoup d'auteurs ont proposé des modèles

allométriques sur la base d'une, deux ou trois variables indépendantes: 1) le DHP uniquement; 2) le DHP et la densité du bois, et 3) le DHP, la densité du bois et la hauteur totale (Dorvil, 2010). Certains modèles cités dans différentes publications scientifiques ont été développées pour estimer la biomasse aérienne des arbres d'*Acacia mangium* spécifiquement (tableau 3). D'autres plus généralisées permettent également de calculer la biomasse aérienne mais ont été développés en fonction de la zone agroécologique (tableau 4). Les modèles présentés dans le tableau ci-dessous ont été développés afin d'estimer la biomasse aérienne des arbres d'*Acacia mangium* spécifiquement. D'après les modèles du tableau ci-dessous la biomasse aérienne peut être calculée par la sommation de la biomasse des tiges, des branches et des feuilles.

Tableau 3: Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse des arbres d'*Acacia mangium*.

Équations	Références
$B_{tiges} = 0.0116D^{3.0294}$	Hardiyanto et Wicaksono, 2008
$B_{branches} = 0.0712D^{2.21179}$	Hardiyanto et Wicaksono, 2008
$B_{feuilles} = 2.1195D^{0.515}$	Hardiyanto et Wicaksono, 2008
$B_{tiges} = \exp(-3.228 + 1.681 \times \ln(D) + 1.056 \times \ln(H))$	Traoré et al., 2018
$B_{branches} = \exp(-0.865 + 0.498 \times \ln(D \times H))$	Traoré et al., 2018
$B_{feuilles} = \exp(-0.882 + 1.339 \times \ln(D))$	Traoré et al., 2018
$B_{tiges} = 0.0193 (D^2 H)^{0.9934}$	Hériansyah et al., 2007
$B_{branches} = 0.0193 (D^2 H)^{0.9934}$	Hériansyah et al., 2007
$B_{feuilles} = 0.0245 (D^2 H)^{0.6173}$	Hériansyah et al., 2007

B_{tiges} = biomasse tiges, $B_{branches}$ = biomasse branches, $B_{feuilles}$ = Biomasse feuilles, D = diamètre à hauteur de poitrine, H = hauteur totale.

Ces équations ont été développées dans des peuplements situés en zone de climat tropical, notamment en Côte d'Ivoire et en Indonésie. Elles permettent d'estimer la biomasse aérienne des arbres d'*Acacia mangium*. Les équations allométriques de Traoré et al. (2018) ont permis d'estimer la biomasse des différentes composantes

aériennes (troncs, branches, feuilles) séparément. Elles ont été développées en Côte d'Ivoire, pour des peuplements d'*Acacia mangium*; situés dans une zone de forêt tropicale, plantés sur des sols ferrugineux à basse altitude (40 à 100 m) et recevant une précipitation moyenne de 1766 mm. Les peuplements d'*Acacia mangium* étudiés par Hardiyanto et Wicaksono (2008) et Hériansyah et al. (2007) reçoivent annuellement plus de 2000 mm et sont situés à moins de 200 m d'altitude. Le tableau suivant présente plusieurs modèles d'équation allométrique généralisées développées en fonction de la zone agroécologique et qui permettent de calculer la biomasse aérienne des peuplements forestiers.

Tableau 4: Équations allométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne des arbres en forêts tropicales humides

Equations	Références
$AGB = \exp(-2.557 + 0.940 \ln(\rho D^2 H)) = 0.0776 \times (\rho D^2 H)^{0.940}$	Chave et al., 2005
$AGB = 1.276 + 0.034 \times (D^2 H)$	Brown et yverson, 1992
$AGB = \text{Exp}(-2.134 \times 2,53 \ln(D))$	Brown, 1997
$AGB = 38,4908 - 11,7883 (D) + 1,1926 (D^2)$	Brown et al., 1989
$AGB = 42,69 - 12,8D + 1,242D^2$	FAO, 1997

Source : Dorvil, 2010

Selon Ketterings et al. (2001) cité par Dorvil (2010), la plupart des modèles ont été développés en utilisant des données provenant de zones équatoriales. Ces équations allométriques reposent sur le DHP et la hauteur totale mais aussi sur la densité du bois (Chave et al., 2005). Cairns et al. (1997) ont développé une équation allométrique permettant d'estimer la biomasse souterraine en forêt tropicale à partir de la biomasse aérienne: $BGB = 0.347 \times (AGB)^{0.884}$.

2.3 Méthode d'évaluation du stock de carbone

Le bois sec contient environ 50 % de carbone; cela signifie que près de 25% d'un arbre vivant est composé de carbone, comme la fraction couramment appliquée par

défaut est de 0,47 entre la biomasse sèche et la biomasse vivante (GIEC, 2006). Ainsi, le carbone stocké dans les plantes ligneuses peut être estimé par la relation: $C_w = k \times B_w$, avec C_w , le stock de carbone, B_w la biomasse exprimée en matière sèche par unité de superficie en (t/ha) et $k \approx 0,47$ (Nasi et al., 2008).

Quand le bois est brûlé, il réagit avec l'oxygène de l'air et produit du dioxyde de carbone, de l'eau, de la chaleur et de la lumière. A partir du tableau périodique des éléments la masse atomique du carbone (C) est de 12 et celle de l'oxygène (O) est de 16. La molécule du dioxyde de carbone (CO_2) a un atome de carbone (C) et deux atomes d'oxygène (O). La masse atomique du dioxyde de carbone (CO_2) est la somme des masses atomiques de ces atomes (44). Le rapport de la masse atomique du dioxyde de carbone à celle du carbone est 44/12, qui est sensiblement égal à 3.667. Pour convertir la quantité de carbone en dioxyde de carbone. Il faut multiplier la quantité de carbone par 3.667 ou 44/12.

Les études concernant l'évaluation des stocks de carbone des peuplements forestiers sont très nombreuses de nos jours. Le tableau suivant présente les valeurs des stocks de carbone de quelques peuplements d'*Acacia mangium* en fonction de l'âge et de la densité.

Tableau 5: Stock de carbone évalué pour certains peuplements d'*Acacia mangium* en fonction de l'âge et de la densité

Age	Densité	Stock de carbone	Références
Ans	arbres/ha	t/ha	
1	1050	0.22	Herdiyanti et Sulistyawati, 2009
3	889	12.45	Herdiyanti et Sulistyawati, 2009
3	845	27.79	Traoré et al., 2018
5	839	28.59	Herdiyanti et Sulistyawati, 2009
7	728	31.48	Herdiyanti et Sulistyawati, 2009
7	715	86.33	Traoré et al., 2018
11	553	105.00	Traoré et al., 2018

CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIE

3.1 Présentation de la zone d'étude

Malgré le fait que l'altitude optimale de développement de l'*Acacia mangium* est en-dessous de 300 m (CIRAD, 2003), le peuplement étudié a été installé depuis les mois de janvier et février de l'année 2014 en montagne à une altitude variant de 687 m à 889 m. D'après la classification de Holdridge axée sur la zone de vie, le site de l'étude correspond à une zone d'agriculture de montagne humide.



Source : Google earth

Figure 1: Vue aérienne de la parcelle d'étude

3.1.1 Localisation

Le peuplement étudié est situé à Mont-Organisé dans une localité appelée Bois Nago. Les coordonnées géographiques du site sont comprises entre 19°24' de latitude Nord et 71°48' de longitude Ouest. La figure 2, réalisée en fonction de la classification de Holdridge, permet d'observer la localisation de la parcelle sur la carte d'Haïti.

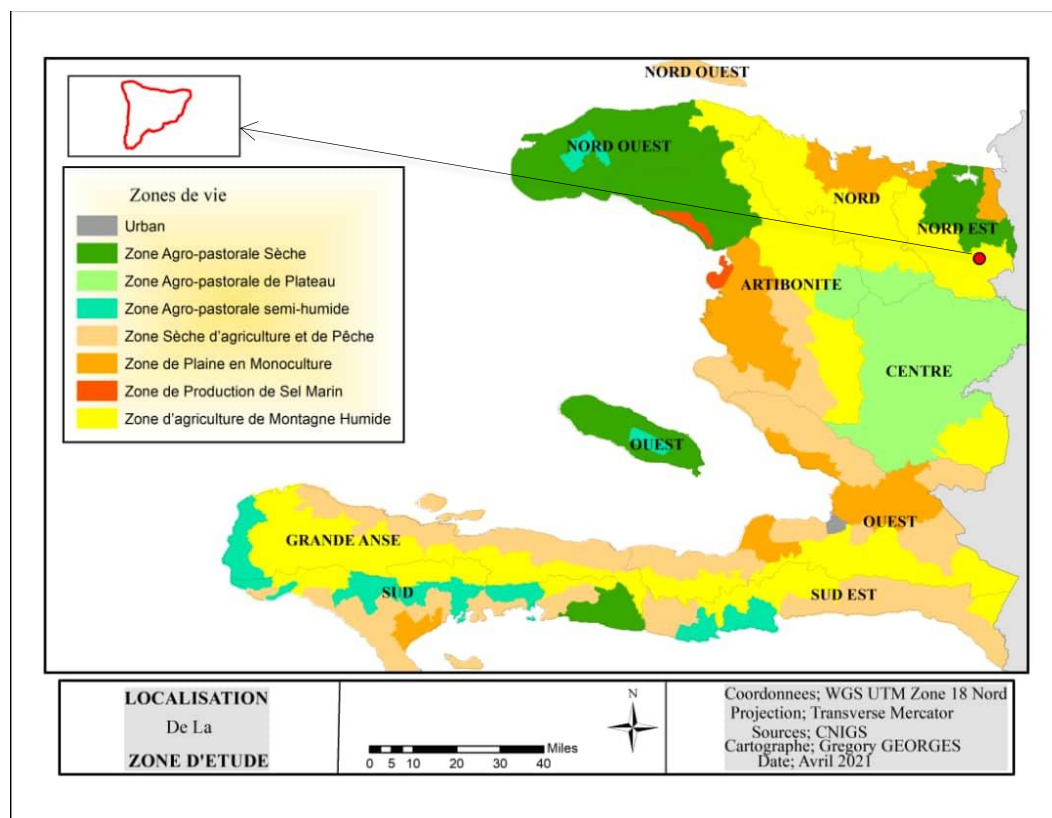


Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude

3.1.2 Pluviométrie

Faute de station agro-climatologique fonctionnelle dans la zone, les données pluviométriques recueillies sont celles collectées par la station la plus proche du Centre Chrétien de Ouanaminthe, située à une distance de 19 km de la zone d'étude. Les figures suivantes présentent la pluviométrie moyenne par mois (figure 3) et la pluviométrie totale par année (figure 4) enregistrées à Ouanaminthe durant la période 1988-2019.

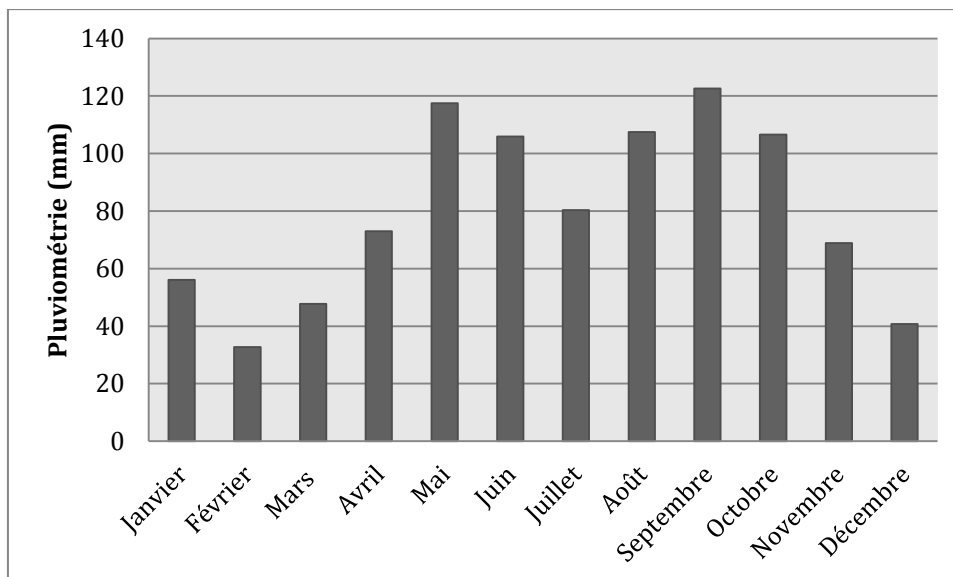


Figure 3: Pluviométrie moyenne mensuelle de Ouanaminthe (1988-2019)

Les mois de septembre et de mai sont les plus pluvieux avec le maximum de précipitations moyennes (122.4 mm) enregistré au mois septembre. Le mois de février est le moins pluvieux (32.7 mm de pluie). A Ouanaminthe, la saison estivale est beaucoup plus arrosée comparativement à la saison hivernale.

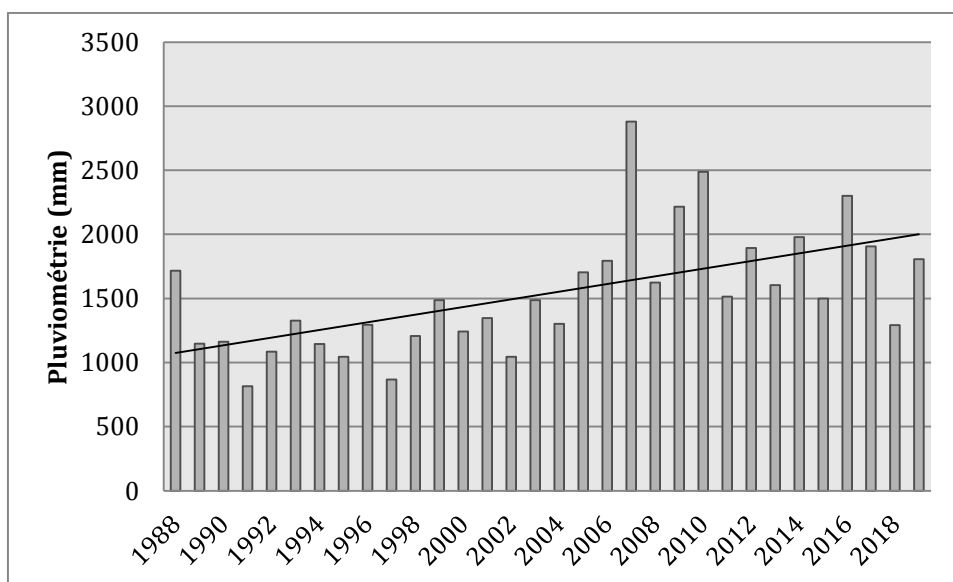


Figure 4: Variations annuelles de la pluviométrie totale de Ouanaminthe (1988-2019)

L'évolution de la pluviométrie s'est traduite par des écarts élevés entre les années ; le maximum (2881.2 mm) de pluie a été enregistré en 2007 et le minimum (815.3 mm) en 1991. La courbe tendance traduit une augmentation des précipitations avec le temps.

3.1.3 Température

Pour la même raison évoquée dans la section précédente, les données climatiques de température, pour la commune de Mont-Organisé sont presque inexistantes. Il a été estimé qu'elle varie de 15 à 30°C sur toute l'année et peut descendre jusqu'à 12°C en décembre (Valbrun, 2005).

3.1.4 Topographie et sol

Le site de l'étude est une montagne avec un relief très élevé et dont les pentes varient de 42 à 80 % avec une moyenne de 60 %. Les sols de Mont-Organisé sont majoritairement rouges à dominance argileuse, constitués de l'évolution de roches éruptives principalement basaltiques (Valbrun, 2005). Ce sont des sols fersialitiques assez perméables dont la profondeur corrèle avec les différentes classes de pentes. Ainsi pour les terrains à forte déclivité comme c'est le cas pour le site de l'étude, la profondeur est faible. Ce sont des sols très sensibles à l'érosion.

3.1.5 Végétation et faune

Au niveau de la parcelle la végétation naturelle est constituée de deux strates : la strate arborée constituée d'arbre forestier énergétique : l'*Acacia mangium* et la strate herbacée composée de plantes comme la citronnelle (*Cymbopogon citratus*), le zèb guinen (*Panicum maximum*). Quant à la faune, une observation directe a permis de constater la présence de pintade marron (*Numida meleagris*), de guêpe (*Vespula vulgaris*), de reptiles tel l'anolis et le mabouillard (*Ameiva chrysoloema*).

3.1.6 Mode de gestion actuelle

La plantation étudiée est gérée par une jeune association nommée ANEVERT (Action Noble pour un Environnement Vert) chargée de prendre toutes les mesures relatives à la protection des arbres du site. Dès le début de la plantation, des

opérations de désherbage ont été effectuées ainsi qu'un débroussaillage en amont de la parcelle. Depuis, aucun traitement sylvicole n'a été appliqué à la parcelle jusqu'à date. Aucun traitement n'a été effectué sur les arbres (éclaircissage, élagage,...) ou sur le site (amendement du sol,...), aucun procédé de régénération (coupe progressive régulière, coupe totale,...). Le site n'est pas clôturé, cependant les animaux ne représentent pas une menace au développement de la plantation.

3.2 Matériels et méthodes

3.2.1 Matériels utilisés

Les matériels utilisés pour réaliser ce travail de mémoire sont les suivants :

- ✓ GPS : pour la localisation des points sur le terrain
- ✓ Appareil photographique : pour des prises de vue sur le terrain
- ✓ Compas forestier : pour la mesure du diamètre à 1,30 m des tiges
- ✓ Ruban métrique : pour la mesure des distances et des diamètres
- ✓ Dendromètre SUUNTO : pour la mesure des angles permettant de calculer la hauteur des arbres et la pente du terrain
- ✓ Fiche d'inventaire : pour la saisie des données sur le terrain

3.2.2 Méthode de collecte des données

Dans le cadre de cette étude, il a fallu tout d'abord déterminer la superficie de la parcelle. Ensuite les données qui ont été collectées sont celles relatives à l'inventaire ; à savoir le nombre de tiges, leur DHP et les angles qui ont permis de calculer la hauteur totale.

3.2.2.1 Détermination de la superficie du site

La superficie du site a été calculée à l'aide d'un GPS calibré de façon à enregistrer les coordonnées du périmètre toutes les 30 secondes. Elle a été estimée à 7,15 ha soit 71500 m²

3.2.2.2 Inventaire des arbres

3.2.2.2.1 Pré inventaire

Le pré-inventaire a été réalisé dans la parcelle deux ans après la plantation des arbres d'*Acacia mangium*. Un total de 23 arbres répartis dans 3 placettes, de 25 m²

chacune a été compté et mesuré. Le coefficient de variation pour le nombre d'arbres inventoriés est estimé à 7.44 %.

3.2.2.2.2 Plan d'échantillonnage

Pour cet inventaire on a priorisé un type d'échantillonnage qui a permis de couvrir toute la parcelle forestière. Et d'après une visite de reconnaissance du site, aucune hétérogénéité n'a été constatée. Ainsi, le choix a été porté pour un échantillonnage systématique aléatoire car elle permet d'avoir une meilleure estimation des variables et elle offre également une certaine sécurité des estimations à cause de l'uniformité de la parcelle.

✓ Forme et dimension des placettes :

Nous avons opté pour des placettes de forme circulaire parce que selon Lecomte et Rondeux (2002), cette forme est facile à installer et elle ne présente aucune direction préférentielle. Et aussi, elle possède le plus petit périmètre à surface égale ce qui limite les risques d'erreur. La dimension des placettes quant à elle, dépend de l'exactitude, la précision, le temps et le coût de la mesure (Pearson et Brown, 2005). Chacune des placettes d'échantillonnage avait un rayon ($r=8\text{ m}$) et ($r_1=7.92\text{ m}$) en tenant compte du facteur correcteur de pente. La superficie de chaque placette calculée en appliquant la formule $s = \pi \times r \times r_1$ est de 198.97 m^2 .

✓ Taux d'échantillonnage :

Pour cette étude, l'effort d'échantillonnage de l'inventaire a été fixé à 10 %. Tenant compte du facteur correcteur de la pente, l'échantillon a couvert une superficie de 6963.98 m^2 .

✓ Nombres de placettes à échantillonner :

Le nombre de placettes d'échantillonnage est de 35. Il a été estimé à partir du taux de sondage (f), de la superficie totale de la parcelle (S) et de la superficie à échantillonner (s) en appliquant la formule : $n = (f \times S) / s$.

✓ Erreur d'échantillonnage :

Le calcul de l'erreur d'échantillonnage permet de vérifier la validité de l'échantillon. Pour un niveau de confiance de 95 %, elle a été estimée à 2.46 % en

appliquant la formule : $e = \frac{t \times CV}{\sqrt{n}}$, « t » représente le t de student, « CV » le coefficient de variation et « n » le nombre de placettes d'échantillonnage.

✓ Répartition des placettes d'échantillonnage :

La figure suivante montre la répartition des placettes suivant un échantillonnage aléatoire systématique. La première placette a été choisie au hasard et les autres sont placées de façon systématique à une distance moyenne de 45 m l'une de l'autre. Les coordonnées des centres des placettes sont mentionnées en annexe.

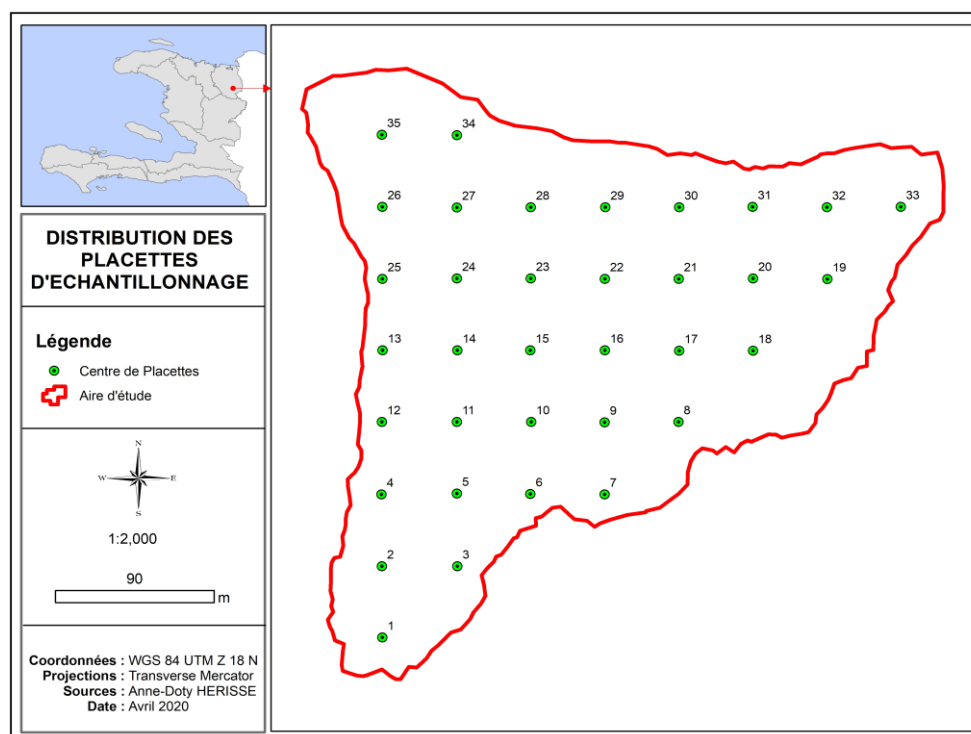


Figure 5: Distribution des placettes d'échantillonnage

3.2.2.3 Réalisation de l'inventaire

✓ Équipe d'inventaire

L'équipe d'inventaire était constituée de deux personnes, un compteur qui a implémenté les placettes et mesuré les diamètres à hauteur de poitrines et un pointeur qui a noté les mentions dictées par le compteur après les avoir répétées à voix haute et qui a aussi mesuré et noté les angles pour le calcul de la hauteur totale ainsi que les distances entre l'arbre à mesurer et lui.

✓ **Diamètre de précomptage**

Les mesures se sont portées sur tous les arbres d'*Acacia mangium* du site (âgés de 6 ans et 2 mois) dont le DHP est supérieur ou égal à 5 cm. Les arbres vivants comme les morts ont été mesurés.

✓ **Cheminement et localisation des placettes**

L'échantillonnage avait été préalablement réalisé sur le logiciel ArcGis (version 10.2.1). Les coordonnées des centres des placettes générées par le logiciel ont été préalablement enregistrées dans la mémoire du récepteur GPS. Pour localiser la première placette, il a suffi de sélectionner le point dans le GPS, lorsque la distance était nulle le centre était atteint. On a cheminé 45 m, toujours dans la direction Sud-Nord afin de localiser la placette 2. Dans cette même direction, on a parcouru toute la première rangée située à l'ouest jusqu'à la placette 35. La placette 34 a ensuite été localisée en cheminant la même distance dans la direction Ouest-Est. Une fois à la 2^{ème} rangée, on procède de la même manière jusqu'à la placette 3, sauf que c'est dans la direction Nord-Sud. La 6^{ème} placette a ensuite été localisée en parcourant 63 m dans la direction Sud-Ouest. On a recommencé les mêmes procédures et cheminé ainsi de suite en suite jusqu'à localiser toutes les placettes.

✓ **Implantation des placettes**

Une fois au centre des placettes, le compteur tend le ruban métrique au pointeur, ce dernier mesure la distance 8 m correspondant au rayon de la placette et marque la limite avec un piquet enfoncé dans le sol. Cette opération avait été effectuée quatre fois à partir du centre de chaque placette dans des directions différentes. Ensuite le compteur fait le tour de la placette en maintenant la ficelle tendue à un des jalons qui délimitent la placette ou à un arbre dans certains cas.

✓ **Mesure des arbres**

Les différentes mesures des arbres prises dans le cadre de cet inventaire sont celles du diamètre à hauteur de poitrine et celles permettant de calculer la hauteur totale. Pour chaque arbre des placettes le diamètre a été mesuré à 1.30 m en utilisant le compas forestier gradué jusqu'à 50 cm, qui a permis d'obtenir une mesure directe du diamètre des arbres.

Afin de déterminer la hauteur totale le dendromètre SUUNTO est l'instrument qui a été utilisé, cela a impliqué de mesurer des angles. Trois cas ont été rencontrés sur le terrain et d'après Mille et Louppe (2015), il faut faire dans ces cas une ou deux lectures en visant soit le sommet ou à la fois le sommet et la base de l'arbre. AB représente la hauteur des arbres à mesurer, h la hauteur de l'œil de l'observateur, d la distance de l'observateur à l'arbre et α et β sont les angles obtenus en visant soit le sommet ou la base de l'arbre. Suivant les trois cas rencontrés sur le terrain, les formules trigonométriques suivantes doivent être appliquées selon Mille et Louppe (2015) pour déterminer la hauteur totale.

1^{er} cas : Le terrain est horizontal et l'œil de l'observateur se trouve entre le sommet et la base de l'arbre, la formule appliquée a été: $AB = h + d.tg\alpha$

2^e cas : Le terrain est incliné et l'œil de l'observateur se trouve entre le sommet et la base de l'arbre, la formule utilisée : $AB = d (tg\beta + tg\alpha)$

3^e cas : Le terrain est incliné et l'œil de l'observateur se trouve en dessous de la base de l'arbre, alors on applique la formule : $AB = d (tg\alpha - tg\beta)$

✓ **Traitement des cas litigieux**

Les cas litigieux que nous avons traités concernent ; tout d'abord les arbres se trouvant sur la limite de la placette, alors l'inclusion dans la placette a été faite quand plus de $\frac{3}{4}$ de son tronc s'est trouvé à l'intérieur de celle-ci. Ensuite, le cas des arbres fourchus au-dessous de 1,30 m ; alors les diamètres des différentes fourches à 1,30 m ont été totalisés. Pour les arbres avec contreforts à 1.30 m de hauteur, on a considéré la moyenne des circonférences mesurées à 10 cm directement au-dessus et en-dessous de l'anomalie. Et enfin, le cas litigieux rencontré le plus souvent lors de la collecte des données est celui des arbres situés sur une pente. Dans ce cas, le diamètre à hauteur de poitrine (1.30 m) des arbres a été compté en amont du pied de l'arbre.

3.2.2.4 Calcul de la biomasse aérienne et souterraine des arbres

3.2.2.4.1 Calcul de la biomasse aérienne (AGB)

✓ **Arbres vivants**

Afin de déterminer la biomasse aérienne des arbres vivants, les modèles allométriques de Traoré et al. (2018) et de Chave et al. (2005) ont été utilisés. Les

modèles allométriques développés par Traoré et al. (2018) sont les suivants et elles ont permis l'estimation respective de la biomasse du tronc, des branches et des feuilles:

$$B_1 = \exp(-3.228 + 1.681 \times \ln(D) + 1.056 \times \ln(H))$$

$$B_2 = \exp(-0.865 + 0.498 \times \ln(D \times H))$$

$$B_3 = \exp(-0.882 + 1.339 \times \ln(D))$$

La biomasse aérienne totale a été déterminée en additionnant la biomasse des différentes composantes : $AGB = B_1 + B_2 + B_3$.

L'équation allométrique de Chave et al. (2005) a permis une estimation directe de la biomasse. Elle a tenu compte explicitement de la densité spécifique du bois. Pour l'espèce *Acacia mangium*, la densité du bois (0.6 g/cm^3) a été obtenue dans une publication faite par la FAO en 1979, donnant des informations sur les ressources forestières. Selon Dorvil (2010), la densité du bois à 12 % d'humidité (D_{12}) peut être convertie en densité spécifique du bois séché au four à partir d'une relation élaborée par Chave et al. (2006) à travers des données obtenues dans des forêts tropicales : $\rho = 0.872 \times D_{12}$.

L'équation allométrique de Chave et al. (2005) applicable en forêt tropicale utilisée dans le cadre de cette étude est la suivante:

$$AGB = \exp(-2.557 + 0.940 \ln(\rho D^2 H)) \cong 0.0776 \times (\rho D^2 H)^{0.940}.$$

Pour cette étude, les deux résultats obtenus pour la biomasse aérienne ont été comparés afin d'adopter le meilleur pouvant être utilisé pour le peuplement de Bois Nago.

✓ **Bois morts**

Se basant sur la classification faite dans le guide de mesure et de suivi du carbone élaboré par l'USAID en 2005, les bois morts du site appartiennent à la première catégorie : arbre avec branches et rameaux ressemblant à un arbre vivant (sauf pour le feuillage). La même méthode utilisée pour déterminer la biomasse des arbres vivants a donc été appliquée pour les arbres morts (Pearson et Brown, 2005).

NB : La biomasse des feuilles n'a pas été calculée pour les bois morts lorsqu'il a fallu appliquer le modèle Traoré et al. (2018).

3.2.2.4.2 Calcul de la biomasse souterraine (BGB)

Selon Cairns et al. (1997), la biomasse souterraine peut être calculée en appliquant un modèle allométrique après avoir estimé la biomasse aérienne des arbres mesurés. La formule suivante de Cairns et al. (1997) applicable en forêt tropicale a été utilisée afin de déterminer la biomasse souterraine.

$$BGB = 0.347 \times (AGB)^{0.884}$$

3.2.2.4.3 Calcul de la biomasse totale (TB)

La biomasse totale a été évaluée en additionnant la biomasse aérienne à la biomasse souterraine :

$$TB = AGB + BGB$$

3.2.2.5 Évaluation du stock de carbone et de la quantité de CO₂ équivalente

D'après les recommandations faites dans les directives du GIEC (2006), la fraction de carbone couramment appliquée par défaut est de 0.47. Pour évaluer le stock de carbone, la fraction (0.47) a été multipliée par la biomasse.

Selon le guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre élaboré en 2019 par le Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) du Québec, la quantité de dioxyde carbone (CO₂) équivalente peut être évaluée en multipliant le stock de carbone (C) par 44/12 qui est le résultat du rapport de la masse atomique du dioxyde de carbone à celle du carbone. C'est la méthode qui a été appliquée dans le cadre de cette étude afin de déduire le stock de CO₂ de celui du carbone.

Tout en respectant les règles des inférences statistiques tous les résultats obtenus à partir de l'échantillon ont été généralisés à toute la population d'où l'échantillon est tiré.

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Inventaire du peuplement

4.1.1 Densité

Les différentes placettes inventoriées à Bois Nago ont un total variant de 15 à 85 tiges ce qui a donné une moyenne de 34 tiges/placette. Majoritairement (77%), les placettes d'échantillonnage comptent de 21 à 40 tiges. La distribution du nombre de tiges des placettes est donc très hétérogène. Afin de mieux apprécier la densité du peuplement, la carte suivante représente par des boules le nombre de tiges des différentes placettes. Ainsi les endroits plus ou moins denses du peuplement sont localisés.

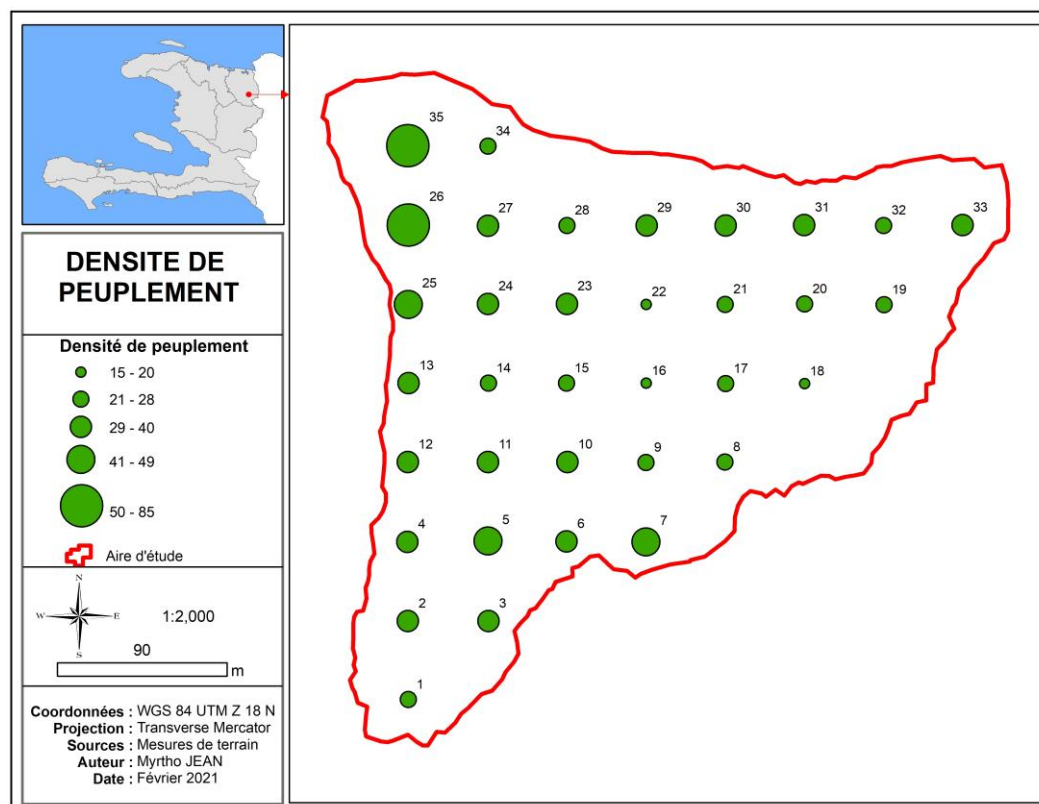


Figure 6: Carte présentant la densité du peuplement de Bois Nago

Le peuplement est plus dense au Nord-Ouest à l'extrémité de la parcelle d'où la pente est plus raide tandis qu'à l'Est la densité est plus faible car le nombre de tiges des placettes varie de 15 à 20 (figure 6). Le nombre de tiges de chaque placette a été ramené à l'hectare (tableau 6), et le coefficient de variation ainsi que

les valeurs minimum et maximum de densité montrent que la densité moyenne du peuplement n'est pas représentative de celle de toutes les placettes. Le coefficient de variation des arbres morts est plus élevé, cette distribution est donc très hétérogène comparativement aux arbres vivants. Les arbres morts ne représentent qu'1 % de la population, les résultats de cette distribution n'influencent pas beaucoup la distribution totale comprenant les deux catégories d'arbres. Le tableau suivant présente la densité du peuplement à l'hectare :

Tableau 6: Densité du peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago à l'hectare

Densité	Effectif	Moyenne/ ha	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Arbres vivants	1180	1694	0.40	226	704	4272
Arbres morts	9	13	3.98	17	0	302
Tous	1189	1707	0.39	222	754	4272

Le peuplement est beaucoup plus dense que ceux qui ont été mentionnés dans la littérature et dans l'étude de l'hypothèse en se référant aux travaux réalisés par Herdiyanti et Sulistyawati (2009), Hériansyah et al. (2007), Ilyas (2013) et Traoré et al (2018) dans des peuplements d'*Acacia mangium* âgé respectivement de 5, 5.5 et 7 ans. Ces écarts s'expliquent par le fait que les objectifs de plantation diffèrent de celui de Bois Nago qui a été principalement de couvrir le sol préalablement dénudé. De plus, le peuplement étudié n'a bénéficié d'aucun traitement sylvicole à la différence de ceux de la littérature.

4.1.2 Diamètre à hauteur de poitrine

✓ Structure diamétrique du peuplement

Les diamètres des tiges (arbres morts y compris) varient de 5 cm à 29 cm et ont été regroupés en 6 classes de 4 cm d'amplitude. Les tiges de classe [5 cm, 9 cm) et [9 cm, 13 cm) sont en plus grande proportion à Bois Nago et représentent à eux seuls 91.34 % de la distribution avec la fréquence de tiges la plus élevée (701) enregistrée dans la classe [5 cm, 9 cm). Cette distribution est illustrée par le diagramme en barres ci-dessous :

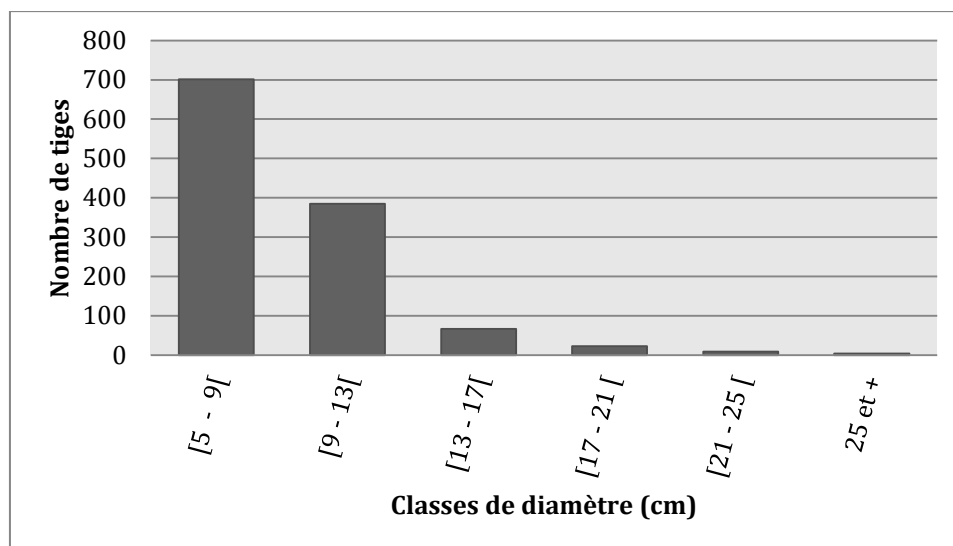


Figure 7: Histogramme montrant le nombre de tiges par classe de diamètre

La distribution diamétrique du peuplement montre qu'à Bois Nago les tiges de petits diamètres dominent, la forte présence de ces individus pourrait être justifiée par la densité trop élevée des tiges qui implique un espacement trop petit entre les arbres. En effet, l'augmentation de la densité réduit la croissance en diamètre des arbres (Fonton et al., 2002; Tonini et al., 2018; Prigent, 1998). Les DHP mesurés présentent une asymétrie positive et une distribution générale en forme de « J » inversé, traduisant un peuplement jeune et non exploitable. D'après le tableau 7, la dispersion de la distribution du DHP des arbres morts et des arbres vivants est presque similaire puisque le coefficient de variation présente seulement une différence de 2 %, cependant la distribution du DHP des arbres vivants est plus proche du DHP moyen.

Tableau 7: DHP du peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago

DHP (cm)	Effectif	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Arbres vivants	1180	8.82	0.36	0.18	5	29
Arbres morts	9	9.04	0.34	1.99	5.40	14.90
Tous	1189	8.83	0.36	0.18	5	29

Le DHP moyen du peuplement étudié est très faible par rapport à celui (23.4 cm) de l'étude de l'hypothèse réalisé par Traoré et al. (2018). Quoiqu'âgé de 7 ans, la

différence est énorme par rapport au DHP moyen du peuplement étudié, deux principales raisons expliquent ces écarts ; tout d'abord, à Bois Nago les tiges évoluent en exerçant une forte concurrence entre elles surtout par rapport aux ressources limitées, ce qui a conduit à l'obtention des tiges de faibles diamètres. Ensuite, l'absence d'application de technique sylvicole, notamment l'éclaircissage qui selon Prégent (1998) est très utile pour obtenir du bois de grosses dimensions.

4.1.3 Surface terrière

La surface terrière des arbres varie de 0.002 m^2 à 0.066 m^2 . Répartie entre les différentes classes de diamètre, elle varie de 3.25 m^2 à 0.22 m^2 . La distribution de la surface terrière occupée par les arbres de chaque classe de diamètre est présentée par l'histogramme ci-dessous.

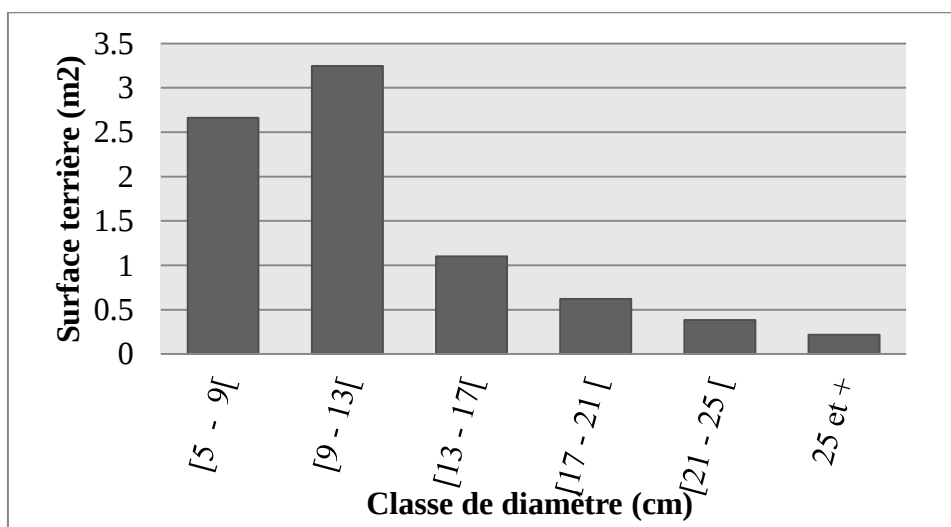


Figure 8: Histogramme présentant la surface terrière par classe de diamètre

Les arbres de la classe [9 cm, 13 cm) occupent la plus grande surface terrière quoiqu'elle ne compte pas le plus grand nombre de tiges. Cependant le DHP des arbres qui représentent cette classe est plus élevé par rapport à la première classe. Les tiges de plus gros diamètres de ce peuplement obtiennent les faibles valeurs de surface terrière car elles sont en plus petites proportions. Nos résultats confirment les affirmations de Prégent (1998) stipulant que la surface terrière est un paramètre tenant à la fois compte de la grosseur et du nombre de tiges. La surface terrière obtenue par les différentes catégories d'arbres de chaque placette a été ramenée à

l'hectare (tableau 8). Les résultats montrent que les arbres vivants occupent la plus grande surface terrière à Bois Nago comparativement à celle des arbres morts. Les valeurs totales et moyennes de la surface terrière du peuplement sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8: Surface terrière du peuplement

Surface terrière (m ² /ha)	Effectif	Total	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur-type	Min	Max
Arbres vivants	1180	11.67	0.33	0.31	0.03	0.15	0.55
Arbres morts	9	0.09	0.003	4.71	0.004	0	0.074
Tous	1189	11.77	0.34	0.30	0.03	0.15	0.55

Nos résultats corroborent avec celui (11.1 m²/ha) trouvé par Dupuy et N'Guessan (1990) pour un peuplement d'*Acacia mangium* âgés de 5 ans. Cependant, par rapport à l'étude de l'hypothèse réalisée par Traoré et al. (2018) la surface terrière du peuplement de Bois Nago corrobore à celui de 3 ans estimée à (10.42 m²/ha) mais elle est beaucoup plus faible que celle (30.75m²/ha) du peuplement de 7 ans.

4.1.4 Hauteur totale

Les résultats de cette étude montrent que la hauteur totale des arbres au niveau du site est non uniformément répartie, elle oscille entre 4.87 m et 27.62 m. La variabilité de la distribution est illustrée par la boîte à moustache ci-dessous.

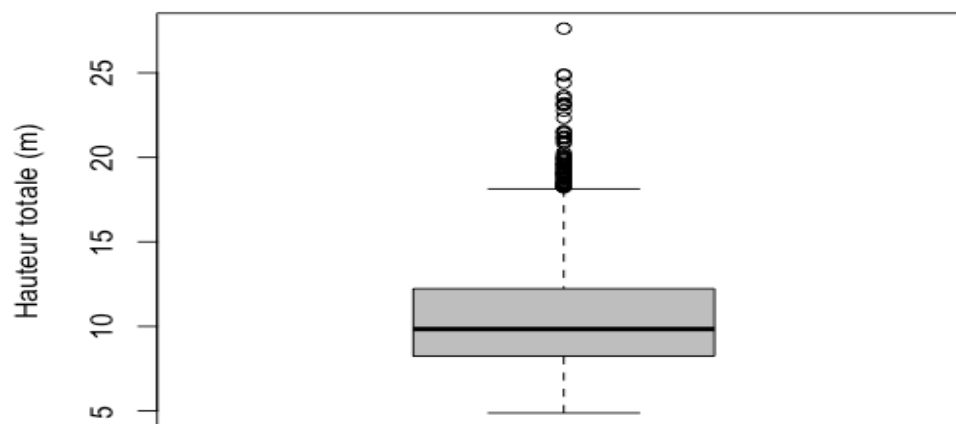


Figure 9: Boîte à moustache présentant la distribution de la hauteur totale du peuplement

La boîte à moustache (figure 9) montre une distribution asymétrique car la valeur de la médiane (9.84 m) est inférieure à la hauteur moyenne (10.70 m). En plus de cela, 75 % des arbres ont une hauteur totale supérieure à 8.24 m. La boîte à moustache permet également de constater que la hauteur totale du peuplement de Bois Nago présente un bon nombre de valeurs extrêmes et une valeur aberrante. Et d'après le tableau 9, les arbres vivants affichent un coefficient de variation plus élevé, qui traduit une plus forte dispersion de la distribution de la hauteur totale des arbres vivants comparativement aux arbres morts. La hauteur totale dominante c'est-à-dire la hauteur moyenne des 100 plus hauts arbres à l'hectare du peuplement ainsi que la hauteur totale moyenne est présentée dans le tableau 9:

Tableau 9: Hauteur totale du peuplement

Hauteur totale (m)	Effectif	Hauteur dominante	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Arbres vivants	1180	20.01	10.70	0.33	0.20	4.87	27.62
Arbres morts	9	-	9.08	0.21	1.24	6.47	12.73
Tous	1189	-	10.69	0.33	0.20	4.87	27.62

La valeur moyenne de la hauteur totale du peuplement étudié est inférieure à celle (18.95 m) de l'étude de l'hypothèse pour le peuplement de 7 ans. Il en est de même pour le peuplement de 3 ans dont la hauteur moyenne est de 12.58 m. Nos résultats se rapprochent plutôt de celle trouvée dans une étude réalisée par Dupuy et N'Guessan (1990) pour un peuplement d'*Acacia mangium* âgé de 5 ans. Le rapport entre la hauteur moyenne et le DHP moyen du peuplement de Bois Nago donne un facteur d'élancement égal à 121, cela traduit selon Massenet (2010) que le peuplement est très fragile et à ce stade, un éclaircissage pourrait augmenter le risque de chablis.

4.2 Biomasse

4.2.1 Biomasse aérienne avec l'équation de Chave et al. (2005)

En appliquant l'équation de Chave et al. (2005), les résultats obtenus pour la biomasse aérienne totale de l'échantillon inventorié est de 34.96 tonnes. Ramené à

l'hectare (tableau 10), chaque placette a une quantité de biomasse variant de 18.22 t/ha à 87.53 t/ha. La biomasse des placettes n'ayant aucun arbre mort est estimée à 0 t/ha. Les résultats trouvés en moyenne par catégorie sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 10: Biomasse aérienne du peuplement calculée à partir de l'équation de Chave et al. (2005)

Biomasse aérienne (t/ha)	Effectif	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Arbres vivants	1180	50.21	0.39	6.43	18.22	87.53
Arbres morts	9	0.33	4.94	0.54	0	9.71
Tous	1189	50.54	0.38	6.39	18.22	87.53

D'après les valeurs de coefficient de variation des deux catégories d'arbres, la distribution de la biomasse aérienne des arbres vivants est beaucoup plus homogène. Cependant, ces derniers ne représentent que 0.66 % de la biomasse aérienne du site, cela explique le fait que ces résultats n'influencent pas trop la distribution totale pour laquelle le coefficient de variation est sensiblement égal à celui des arbres vivants. Comparativement aux résultats (63.47 t/ha) de l'étude réalisée par Hériansyah et al. (2007) dans un peuplement d'*Acacia mangium* de 7 ans, la biomasse du peuplement de Bois Nago est moins élevée. Le résultat est également inférieur à la valeur (90 t/ha) présentée par Aalde et al. (2006) pour les plantations de forêt du système montagneux tropical dans les lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

4.2.2 Biomasse aérienne avec l'équation de Traoré et al. (2018)

La biomasse aérienne totale des arbres échantillonnés en appliquant l'équation de Traoré et al. (2018) est de 50.34 tonnes, dont les arbres vivants constituent 99.45 % de ce stock. Les résultats trouvés pour chaque placette ont été ramenés à l'hectare et la biomasse aérienne a été estimée à une valeur moyenne par placette de 72.68 ± 8.15 t/ha. La biomasse aérienne du peuplement par catégorie ainsi que

les valeurs minimum et maximum des placettes échantillonnées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11: Biomasse aérienne du peuplement calculée à partir de l'équation de Traoré et al (2018)

Biomasse aérienne (t/ha)	Effectif	Moyenne				CV	Erreur- type	Min	Max
		T	B	F	BA				
Arbres vivants	1180	37.74	20.93	13.62	72.29	0.34	8.25	29.36	122.96
Arbres morts	9	0.24	0.15	0	0.39	4.78	0.62	0	11.16
Tous	1189	37.98	21.08	13.62	72.68	0.34	8.15	29.36	122.96

T : Tronc, B : branches, F : feuilles, BA : biomasse aérienne, CV : coefficient de variation

Le coefficient de variation des arbres morts étant plus élevé, cela traduit que la distribution de la biomasse aérienne des arbres morts est beaucoup plus dispersée. Le résultat trouvé en appliquant l'équation de Traoré et al. (2018) est supérieur aux résultats de l'étude réalisée par Hériansyah et al. (2007) dans le peuplement d'*Acacia mangium* de 7 ans ; mais inférieur à la valeur présentée par Aalde et al. (2006) pour les plantations du système montagneux tropical.

4.2.3 Comparaison des résultats de la biomasse aérienne

Le premier modèle d'équation allométrique appliqué c'est-à-dire celui de Chave et al. (2005) a permis d'obtenir des résultats plus faibles comparativement au second modèle, celui de Traoré et al. (2018). Le coefficient de variation obtenue de la distribution de la biomasse aérienne à partir de l'équation de Chave et al. (2005) est de 2 % plus élevé que celui de Traoré et al. (2018), cela traduit que la distribution des résultats de l'application du premier modèle est plus dispersée autour de la moyenne. Les raisons expliquant cette différence dans les résultats de l'application des deux modèles sont le fait que : d'une part, l'équation de Chave et al. (2005) fait une estimation directe de la biomasse aérienne et est applicable aux zones de forêts tropicales humides, la réalité écologique du site étudié y a donc été

prise en compte. Ce modèle considère également la densité spécifique du bois, en plus du DHP et de la hauteur totale, ce qui permet d'avoir une meilleure précision des estimations. D'autre part, l'équation de Traoré et al. (2018) a permis une estimation séparée de la biomasse de chaque compartiment aérien (tronc, branches, feuilles) des arbres afin de calculer la biomasse aérienne, d'où une surestimation des valeurs par rapport aux précédents modèles. De plus, c'est un modèle développé seulement pour un site en Côte d'Ivoire dont les réalités climatiques et d'altitudes décrites dans la section 2.2.3, sont très différentes de Bois Nago. Ainsi, le modèle qui convient le mieux dans le cadre de cette étude est l'équation développée par Chave et al. (2005) et c'est celui dont les résultats ont été utilisés afin de poursuivre le travail.

4.2.4 Biomasse souterraine

La biomasse souterraine de l'échantillon a été estimée à 7.92 tonnes au total. Convertie à l'hectare elle varie entre les placettes de 4.35 t/ha à 19.06 t/ha. La biomasse souterraine du peuplement à l'hectare est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 12: Biomasse souterraine du peuplement

Biomasse souterraine (t/ha)	Effectif	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Arbres vivants	1180	11.37	0.36	1.37	4.35	19.06
Arbres morts	9	0.08	4.85	0.12	0	2.22
Tous	1189	11.45	0.36	1.35	4.35	19.06

Étant donné que c'est un seul et même échantillon et que la biomasse souterraine est étroitement liée à la biomasse aérienne, les constats sont pareils. En effet, la distribution de la biomasse des arbres vivants est beaucoup plus homogène. Comparativement aux études de la littérature (tableau 2) dont les résultats de la biomasse aérienne sont plus élevés ou plus faibles à celle de Bois Nago, la biomasse souterraine du peuplement étudié sera plus faible et inversement.

4.2.5 Biomasse totale

La biomasse totale de l'échantillon est de 42.88 tonnes. Les résultats ramenés à l'hectare sont présentés dans le tableau 13 et ils montrent à partir de l'erreur-type, une différence de 7.73 t/ha si tous les arbres du peuplement avaient été mesurés.

Tableau 13: Biomasse totale du peuplement

Biomasse totale (t/ha)	Effectif	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur-type	Min	Max
Arbres vivants	1180	61.58	0.38	7.79	22.57	105.64
Arbres morts	9	0.40	4.92	0.66	0	11.93
Tous	1189	61.98	0.38	7.73	22.57	105.64

La biomasse aérienne représentant 81.53 % de la biomasse totale influence davantage les résultats que la biomasse souterraine d'où la similitude du coefficient variation de la biomasse aérienne avec celui obtenu pour la biomasse totale.

4.2.6 Relation entre la biomasse totale et la densité

Comme vu dans la section 4.1.1, la densité du peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago est élevée et de plus très hétérogène. La relation existant entre la biomasse de ce peuplement et la densité de plantation est illustrée par le diagramme ci-dessous :

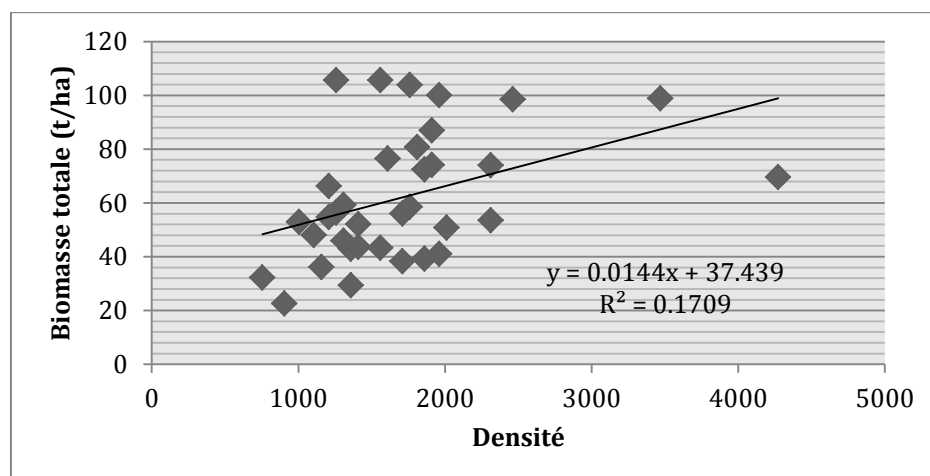


Figure 10: Diagramme de corrélation entre la biomasse et la densité du peuplement

Chaque nuage de point de la figure 10 représente la biomasse totale et la densité de chaque placette. On peut constater que la densité la plus élevée ne correspond pas au plus grand stock de biomasse. La figure 10 montre également que la relation entre la biomasse et la densité n'est pas linéaire car les nuages de point n'ont pas la forme d'une ligne. Etant donné que certains points de la figure sont proches et que d'autres sont éloignés, on peut dire que la relation entre la biomasse et la densité est modérée et le signe du coefficient de corrélation indique une relation positive. Donc on peut conclure que les résultats de cette étude montrent qu'il existe effectivement une relation, quoique non linéaire entre la biomasse et la densité du peuplement, mais ce dernier paramètre n'influence pas à lui seul le stock de biomasse trouvé pour le peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago.

4.3 Stock de carbone et quantité de CO₂ équivalente

Le stock de carbone total de l'échantillon est évalué à 20.29 tonnes. La distribution des données de stock de carbone présente presque les mêmes caractéristiques (sauf pour l'erreur-type) que celle de la biomasse aérienne, souterraine et totale à partir desquelles a été évalué le stock de carbone. Les valeurs moyennes à l'hectare par placette sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 14: Stock de carbone du peuplement

Stock de carbone (t/ha)	Moyenne	Coefficient de variation	Erreur- type	Min	Max
Partie aérienne	23.75	0.38	3.00	8.56	41.14
Partie souterraine	5.38	0.34	0.64	2.05	8.96
Totale	29.13	0.38	3.63	10.61	49.65

Le stock moyen de carbone du peuplement de Bois Nago (29.13 ± 3.63 t/ha) est inférieur à la quantité (86.33 t/ha) stockée par le peuplement d'*Acacia mangium* de 7 ans de l'étude réalisée par Traoré et al. (2018) mentionnée dans notre hypothèse, il est également inférieur au stock de carbone (53.72 t/ha) préconisé par Aalde et al. (2006). Lorsqu'on compare le résultat de l'étude de Traoré et al. (2018) à celle de Bois Nago, les deux raisons suivantes pourraient expliquer les écarts observés.

- ✓ La forte abondance des tiges de plus petits diamètres au niveau du peuplement ; 50 % des arbres ont un diamètre inférieur à 9 cm et une hauteur inférieure à 10 m. Le stock de carbone est étroitement lié à la biomasse, or les individus de petits diamètres représentent selon Mille et Louppe (2015) une faible fraction de la biomasse aérienne ; d'où le faible stock de carbone.
- ✓ La différence des conditions écologiques et d'âge du peuplement de Traoré et al. (2018) à celui de Bois Nago. En effet, le peuplement étudié par Traoré et al. (2018) âgé 7 ans, est situé à une altitude variant de 40 à 100 m, plus favorable au développement de l'espèce, car l'altitude optimale de développement de l'espèce est en-dessous de 300 m (CIRAD, 2003). La croissance des arbres diminuent dans les conditions peu favorables dont l'altitude, ce qui entraîne une faible portion de la biomasse et par la même occasion un faible stock de carbone. Des auteurs dont, Fayolle et al (2013), Ifo et al. (2018), Ifo et Binsangou (2019), Mugnier et al. (2009) ont effectivement observées des variations du stock de carbone selon l'altitude, le microclimat et l'âge de la forêt.

Par rapport à la valeur présentée par Aalde et al. (2006), les lignes directrices du GIEC sont très peu explicites quant à la méthode utilisée pour déterminer la biomasse dont dépend le stock de carbone, mais confirment que ce ne sont que des valeurs approximatives. De plus ces études ont été réalisées à très grande échelle et l'absence de données pour les régions d'un pays donne parfois lieu à des omissions. A côté de cela, la nature des sources de données peut être à l'origine des incertitudes, car les méthodes du GIEC sont généralement basées sur des données existantes mises à jour périodiquement (GIEC, 2003). Or à nos jours une base de données sur les inventaires forestiers en Haïti est pratiquement inexistante, ce qui écarte encore davantage la possibilité que la valeur approximative d'Aalde et al. (2006) corresponde à la réalité de Bois Nago. Dans cette étude, les données ont été collectées directement sur le terrain par échantillonnage systématique, ce qui permet d'avoir une bonne précision des estimations du stock de carbone.

Comparativement à la valeur (139.8 t/ha) de l'étude réalisée par Jean Baptiste

(2018) dans un peuplement multispécifique, le stock de carbone du peuplement d'*Acacia mangium* est beaucoup moins élevé. En effet, la méthodologie appliquée dans les deux études est similaire car il a été question d'appliquer des modèles d'équations allométriques généralisées. Cependant, le peuplement étudié par Jean Baptiste (2018) a un DHP très appréciable, qui va au-delà de 100 cm pour certains arbres et de plus, 40 % du peuplement a une hauteur qui dépasse 20 m. Contrairement au jeune peuplement d'*Acacia mangium* qui est monospécifique et dont moins de 2 % des arbres ont une hauteur qui dépasse 20 m et le DHP du peuplement est compris seulement entre 5 cm et 29 cm. D'où la raison expliquant le faible stock de carbone du peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago par rapport au peuplement de l'étude de Jean Baptiste (2018).

La quantité de CO₂ du site a été déduite directement du stock de carbone total. Les résultats trouvés pour le peuplement de Bois Nago sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15: Quantité de CO₂ équivalente du peuplement

Stock de carbone total	Quantité moyenne de CO ₂	Min	Max
29.13±3.63	106.82±16.32	38.90	182.06

Nos résultats montrent que le peuplement de Bois Nago est capable de stocker 106.82±16.32 t/ha de CO₂. Toujours est-il que ce stock est faible par rapport à celui de l'étude de Traoré et al. (2018) car il a été déduit du stock de carbone. Selon la banque mondiale (2016), chaque habitant du pays émettait par an 0.3 tonne de CO₂, ce qui fait que cette plantation est capable de stocker l'équivalent de CO₂ émise annuellement par 2545 habitants.

CHAPITRE V : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

5.1 Conclusion

A partir d'un inventaire statistique systématique réalisé sur le site, un total de 1189 tiges d'*Acacia mangium* parmi lesquels 9 bois morts a été échantillonné. Les résultats ont montré que le peuplement est très dense car il compte en moyenne 1707 tiges d'*Acacia mangium* par hectare, les bois morts y compris. Étant donné qu'il n'existe pas encore de modèle allométrique spécifique à la zone d'étude, pour le calcul de la biomasse aérienne le choix a été porté sur le modèle généralisé de Chave et al (2005) considérant trois variables indépendantes ; le DHP (en cm), la hauteur totale (en m) et la densité spécifique du bois sèche au four (en g/cm³). Ensuite l'équation de Cairns et al. (1997) a été utilisée pour estimer la biomasse souterraine. Les résultats obtenus sont : 50.54 ± 6.39 t/ha, 11.45 ± 1.35 t/ha et 61.98 ± 7.73 t/ha respectivement pour la biomasse aérienne, souterraine et totale. Le stock de carbone a été déduit de la biomasse totale en appliquant une fraction carbone (0.47) recommandée par le GIEC (2006), et le résultat obtenu pour le peuplement de Bois Nago est de 29.13 ± 3.63 t/ha ; de ce stock, la quantité de CO₂ équivaut à 106.82 ± 16.32 t/ha.

Le stock de carbone du peuplement d'*Acacia mangium* de Bois Nago est plus faible que celui du peuplement étudié par Traoré et al. (2018) en Côte d'Ivoire, l'hypothèse de l'étude est confirmée. Cependant, il ressort des résultats obtenus que l'*Acacia mangium* peut servir dans les projets de reboisement à objectif de stockage de carbone. Les plantations assistées de cette espèce sont à encourager dans les zones de terre dégradées ou déboisées. Par conséquent, ces plantations forestières à grande échelle pourraient non seulement jouer un rôle important en tant que puits de carbone, mais également procurer des avantages économiques à la communauté rurale comme bois énergétique. Toutefois, cette étude doit être complétée et devra être étendue à d'autres compartiments importants du cycle biogéochimique du carbone tels que le sol.

5.2 Recommandations

Sur la base des observations faites et des différentes analyses effectuées dans le cadre de cette étude, les recommandations s'adressent tout d'abord à la WHH qui avait pris en charge les activités de reboisement, ensuite à l'ANEVERT responsable de la gestion de la parcelle et enfin au propriétaire de la parcelle.

A la WHH, nous faisons les recommandations suivantes :

- ✓ Effectuer des études sur d'autres peuplements d'*Acacia mangium* du projet afin de comparer les performances de cette espèce dans divers sites écologiques du département.
- ✓ Développer des équations allométriques de la biomasse, spécifique à *Acacia mangium* et à la réalité écologique de la zone de l'étude.
- ✓ Faire des études complémentaires qui tiendraient compte du carbone du sol représentant selon Widhanarto et al. (2016), le principal contributeur aux stocks totaux de carbone dans les peuplements d'*Acacia mangium* jusqu'à 7 ans.

A l'ANEVERT nous recommandons de :

- ✓ Mettre en place un comité d'entretien qui serait chargé de l'entretien régulier du peuplement, entre autres le contrôle de la densité de plantation.
- ✓ Effectuer des travaux sylviculturaux dont, des coupes rases afin d'essayer de rattraper le retard de croissance des arbres et de favoriser leur croissance en diamètre.

Au propriétaire de la parcelle, il serait judicieux d'envisager de marquer les limites de la plantation afin qu'elles soient visibles ; cela facilitera l'identification de la parcelle et évitera d'empiéter sur les plantations avoisinantes lorsqu'il faudra entreprendre les différentes opérations sylvicoles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aalde H., Gonzalez P., Gytarsky M., Krug T., Kurz W. A., Ogle S., Raison J., Schoene D. et Ravindranath N. H., 2006. Terre forestière. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. GIEC, 65 p.

Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.S., Patiño, S., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M. and Martínez, R.V., 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 201-220.

Banque mondiale. 2021. Statistiques : émissions de dioxyde de carbone (CO₂), tonnes métriques par habitant. [Consulté le 20.04.21]. Disponible sur internet: URL : <https://donnees.banquemondiale.org>

Brown S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges, *Environmental pollution*, 116 (3): 363-372.

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. et Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111 (1): 1-11.

Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M. A., J. Chambers Q., Eamus D., Fölster, H., F. Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.-P., Nelson B. W., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T., 2005. Tree Allometry and Improved Estimation of Carbon Stocks and Balance in Tropical Forests. *Oecologia*, 145 (1): 87-99.

Chave J., Helene C. M.-L., Timothy R. B., Tomás A. E., Hans T. S., et Campbell O. W., 2006. Regional and Phylogenetic Variation of Wood Density. Neotropical Tree Species. *Ecological Applications*. 16 (6): 2356-2367.

Churches C. E., Wampler P. J., Sun W., Smith A. J., 2014. Evaluation of forest cover estimates for Haiti using supervised classification of Landsat data. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 30: 203-216

CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement). 2003. *Acacia mangium* : [Fiche technique]. Montpellier : CIRAD-Forêt, 2 p.

CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement). 2011. Dégradation de la biomasse ligneuse dans une forêt de Guyane, 8 p.

Dorvil W., 2010. Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de la Guadeloupe. Thèse d'université, Écosystèmes naturels et exploités. Université des Antilles et de la Guyane, la Guadeloupe, 44 p.

Dupuy B. et N'Guessan K., 1990. Sylviculture de l'*Acacia mangium* en basse Côte d'Ivoire. Bois et Forêts des Tropiques, 225: 24-32.

Fayolle, A., Doucet, J. L., Gillet, J. F., Bourland, N., Lejeune, P. 2013. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. Forest Ecology and Management, 305: 29-37.

Fonton N. H., Kakai R. G., Rondeux J., 2002. Étude dendrométrique d'*Acacia auriculiformis*, A. Cunn. ex Benth. en mélange sur vertisol au Bénin. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 6 (1): 29-37.

Food and Agriculture Organization (FAO), 1979. Essais d'*Acacia mangium* Willd. comme essence de plantation à Sabah. In : Informations sur les ressources génétiques forestières. [Consultée le 01.08.21]. Disponible sur internet : URL: <http://www.fao.org/3/n2511f/N2511F08.htm>

GIEC, 2006. Autres terres. Dans : Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Jennifer C. J., Hector D. G., Stephen O.] : IGES, Japon, 4 (9): 4-10.

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts

intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

GIEC, 2014. Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Rajendra K. Pachauri et Leo A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

GIEC. 2003. Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. Programme du GIEC sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, et Dina Kruger]. IGES, Kanagawa, Japon, 594 p.

Hardiyanto E.B., Anshori, S., et Sulistyono, D., 2004. Early results of site management in *Acacia mangium* plantations at PT Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia. In: Site management and productivity in tropical plantation forests, p.93-108.

Hardiyanto E.B. et Wicaksono, A., 2008. Inter-rotation site management, stand growth and soil properties in *Acacia mangium* plantations in South Sumatra, Indonesia. In: Site management and productivity in tropical plantation forests, p.107-122.

Hériansyah I., Miyakuni K., Kato T., Kiyono Y., Kanazawa Y. 2007. Growth characteristics and biomass accumulations of *Acacia mangium* under different management practices in Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 19 (4): 226-235.

Ifo S. A., et Binsangou S. 2019. Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo. Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Cotonou, Bénin. hal-02189395, 15 p.

Ifo S.A., Binsangou S., Ibocko Ngala L., Madingou M., Sanchez A.C., 2018. Seasonally flooded, and terra firme in northern Congo: Insights on their structure, diversity and biomass. In : African journal of ecology, 57: 92-103.

Ilyas S., 2013. Allometric equation and carbon sequestration of *Acacia mangium* Willd. in coal mining reclamation area in northern Congo: Insights on their structure, diversity and biomass. African Journal of Ecology, 12 p.

Jean Baptiste K., 2018. Evaluation du stock de carbone forestier dans les peuplements multispécifiques et inéquiennes: Cas de l'arboretum de Damien, Haïti. 43 p.

Kangas A., Maltamo M., 2006. Forest inventory: methodology and applications, Springer, 11 p.

Krisnawati, H., Kallio, M. and Kanninen, M. 2011. *Acacia mangium* Willd : ecology, silviculture and productivity. CIFOR, Bogor, Indonesia, 26 p.

Lecomte H., Rondeux J. 2002. Les inventaires forestiers nationaux en Europe : Tentative de Synthèse. Les Cahiers Forestiers de Gembloux, 29 p.

Lotfi A. 2008. Durabilité écologique des paysages agricoles et production de bois, bocage et néobocage. Ecologie, Environnement. Université Rennes 1, France, 190 p.

Madignier M.L., Benoit G., Roy C., 2015. Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique. Synthèse du rapport CGAAER, Paris, 83 p.

Massenet J. Y., 2010. Caractérisation et mesure des peuplements réguliers, 25 p.

McGhee W., Saigle W., Padonou E.A., Lykke A.M. 2016. Méthodes de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l'Ouest. Annales des Sciences Agronomiques, 20: 79-98.

MDE (Ministère De l'Environnement), 2013. Deuxième communication nationale sur les changements climatiques, Port-au-Prince, Haïti. Ministère De l'Environnement, 14 p.

MDE (Ministère De l'Environnement), 2015. Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN), Port-au-Prince, Haïti. Ministère de l'Environnement, 11 p.

MDE (Ministère de l'Environnement), 2006. Plan d'Action National d'Adaptation (PANA). Programme Changements Climatiques République d'Haïti. 61 p.

MELCC (Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les Changements Climatiques), 2019. Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre, Québec, 107 p.

Mergen F, Hodges C, Nicholson DI, Popenoe HL, Wiersum KF. 1983. Mangium and other acacias of the humid tropics. National Academy Press, Washington, DC, USA, 62 p.

Mille G., Louppe D. 2015. Mémento du Forestier Tropical. Editions Quae. Versailles, France; 1200 p.

Mugnier A., Cassagne B., Bayos N., Lafon C., 2009. Estimation des stocks de carbone des forêts du bassin du Congo pour la REDD: Etude comparative conduite sur 22 types forestiers, 4 pays et un dispositif d'aménagement 4,8 millions d'ha. Buenos Aires, Argentina, 12 p.

Nasi R., Mayaux P., Devers D., Bayol N., Eba'a Atyi R., Mugnier A., Cassagne B., de Marc ken P., Billand A., Sonwa D., 2008. Un aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans les Forêts du Bassin du Congo. Luxembourg, Belgique, Office des publications de l'Union européenne, p. 199-216.

Pearson T. H. et Brown S., 2005. Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses, Arlington, USA. Winrock International, 39 p.

Peltier R., Forkong N.C., Ntoupka N., Manlay R., Henry M., Morillon V., 2007. Evaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques. 294 (4): 39-50.

Picard N., Saint-André L., Henry M. 2012. Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : de la mesure de terrain à la prédiction, Rome, Italie et Montpellier, France. Organisation des

Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, et Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 220 p.

Pinyopusarerk K., Liang S.B., Gunn B.V. 1993. Taxonomy, distribution, biology and use as an exotic. In: *Acacia mangium* - Growing and Utilization. Winrock International and FAO, Bangkok, Thailand, p 56-62.

Prégent, G., 1998. L'éclaircie dans les plantations. Gouvernement du Québec, ministère des ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière, 38 p.

Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). 2016. Programme de pays pour Haïti, Port-au-Prince, Haïti. PNUD Haïti, 19 p.

Singh B. et Cohen M.J., 2014. Adaptation aux changements climatiques. Le cas d'Haïti. Rapport de recherche Oxfam. 39 p.

Tonini H., Schwengber D.R., Morales M. M., Magalhaes C. A., Franco J. M., 2018. Growth, biomass, and energy quality of *Acacia mangium* timber grown at different spacings. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 53 (7): 791-799.

Traoré S., Djomo A.N., N'Guessan A.K., Coulibaly B., Ahoba A., Gnahoua G.M., N'Guessan E. K., Adou Yao C.Y., N'Dja J. K., Guéde N. Z., 2018. Stand structure, allometric equations, biomass and carbon Sequestration Capacity of *Acacia mangium* Willd. (Mimosaceae) in Côte d'Ivoire. In: *Open Journal of Forestry*, 8: 42-60.

Tsoumou B.R., Lumandé K.J., Kampé J.P., Nzila J.D. 2016. Estimation de la quantité de carbone séquestré par la Forêt Modèle de Dimonika (Sud-ouest de la République du Congo). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 6: 39-45.

Valbrun O., 2005. Monographie agricole de la commune de Mont-Organisé, Programme de Relance Economique (PROREC)/ MARNDR, Haïti, 57 p.

William M. Ciesla, 1997. Les arbres et les forêts, sources et puits de GES et de carbone. In : *Le Changement Climatique, les Forêts et l'Aménagement Forestier : Aspects Généraux* [En ligne]. [Organisation des Nations Unies pour l'alimentation

et l'agriculture] 1997 [Consultée le 14.03.21]. Disponible sur internet : URL : <http://www.fao.org/docrep/v5240f/v5240f09.ht>

Zolkos S.G., Goetz S.J. et Dubayah R., 2013. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. Remote Sens. Environ. 128: 289-298.

ANNEXES

Annexe 1: Coordonnées des centres des placettes

# placettes	Longitude	Latitude
1	-71.81500156	19.40441313
2	-71.81499646	19.40478903
3	-71.81458986	19.40478189
4	-71.81499107	19.40516914
5	-71.81458439	19.40516582
6	-71.81418789	19.40515695
7	-71.81378736	19.40514802
8	-71.81338136	19.40552301
9	-71.81377995	19.40552809
10	-71.81417645	19.40553696
11	-71.81457702	19.40554399
12	-71.81498161	19.40555109
13	-71.81497022	19.40592918
14	-71.81456764	19.40592212
15	-71.81417311	19.40591519
16	-71.81377053	19.40590813
17	-71.81337000	19.40589919
18	-71.81297145	19.40589219
19	-71.81256351	19.40626333
20	-71.81296400	19.40627418
21	-71.81336460	19.40627930
22	-71.81376316	19.40628629
23	-71.81416369	19.40629523
24	-71.81456224	19.40630223
25	-71.81496486	19.40630738
26	-71.81495745	19.40668746
27	-71.81455495	19.40667657
28	-71.81415635	19.40667149
29	-71.81375377	19.40666442
30	-71.81335522	19.40665743
31	-71.81295864	19.40665238
32	-71.81255811	19.40664343
33	-71.81215952	19.40663835
34	-71.81454750	19.40705856
35	-71.81495206	19.40706757

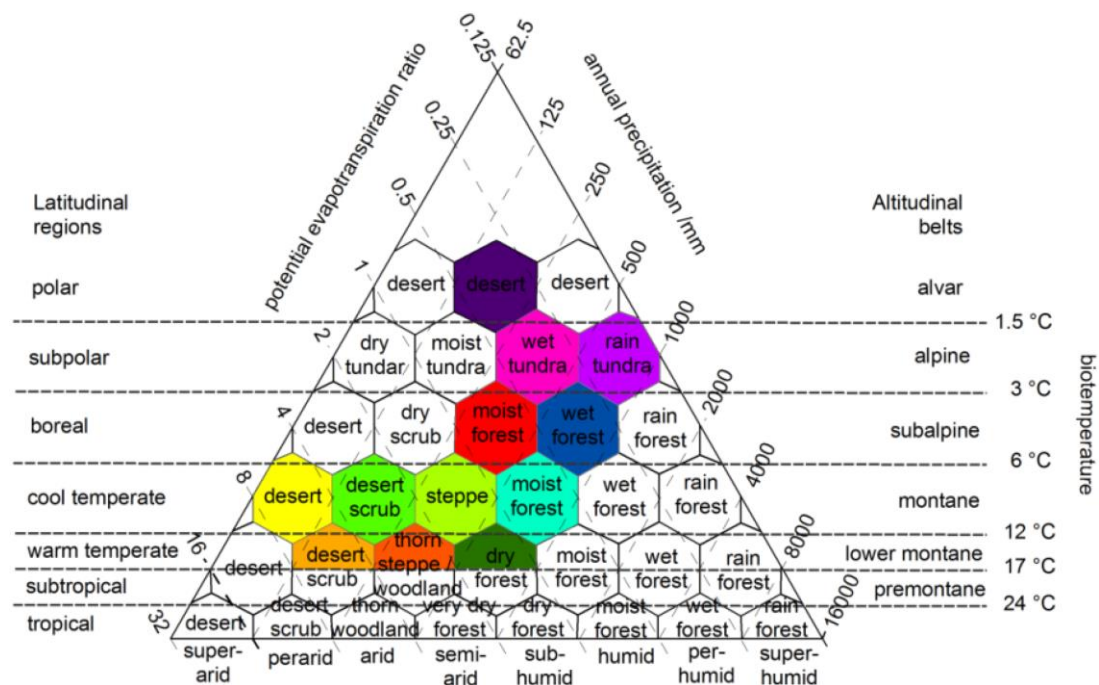
Annexe 2: Précipitation moyenne mensuelle de Ouanaminthe pour la période (1988-2019)

Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
56.0	32.7	47.7	73.0	117.4	105.9	80.3	107.5	122.6	106.6	68.9	40.7

Annexe 3: Précipitation totale annuelle de Ouanaminthe pour la période (1988-2019)

Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)
1988	1715.5	1999	1487.1	2010	2488.5
1989	1146.9	2000	1241.4	2011	1514.8
1990	1161.8	2001	1347.5	2012	1894.1
1991	815.3	2002	1044	2013	1604.9
1992	1084	2003	1487.3	2014	1977.5
1993	1328.2	2004	1302.5	2015	1500.3
1994	1145.6	2005	1705.2	2016	2301.6
1995	1043.9	2006	1793	2017	1907
1996	1294.2	2007	2881.2	2018	1292.3
1997	867	2008	1623.7	2019	1805.2
1998	1207.2	2009	2215.1		

Annexe 4: Classification des zones bioclimatiques de Holdridge



Annexe 5: Paramètres dendrométriques comptés, mesurés et calculés par placette

# placette	Nombre de tiges	N arbres vivants	N bois morts	Surface terrière (m ² /ha)	Hauteur moyenne	Diamètre moyen
1	25	25	0	0.31	12.12	9.9
2	38	38	0	0.41	11.33	9.45
3	37	37	0	0.25	9.26	7.51
4	38	38	0	0.50	10.97	9.83
5	46	46	0	0.36	8.50	7.82
6	32	31	1	0.41	11.85	9.98
7	46	45	1	0.45	10.01	8.74
8	24	24	0	0.31	12.95	10.25
9	27	27	0	0.28	9.98	9.1
10	34	33	1	0.27	12.52	8.24
11	31	31	0	0.27	12.40	10.91
12	40	40	0	0.31	9.79	7.98
13	36	36	0	0.42	11.48	9.66
14	23	23	0	0.22	11.17	8.95
15	26	26	0	0.24	11.49	8.78
16	18	18	0	0.15	8.71	8.26
17	26	26	0	0.30	12.25	9.57
18	20	14	6	0.29	11.14	10.18
19	28	28	0	0.33	9.47	9.25
20	25	25	0	0.37	8.51	10.36
21	24	24	0	0.33	9.26	10.07
22	15	15	0	0.20	10.06	10.19
23	39	39	0	0.53	12.02	10.03
24	35	35	0	0.44	15.36	10.26
25	49	49	0	0.54	10.91	9.23
26	69	69	0	0.55	10.09	8.08
27	37	37	0	0.37	12.34	9.05
28	27	27	0	0.19	8.93	7.69
29	39	39	0	0.24	9.72	7.22
30	35	35	0	0.29	11.79	8.44
31	31	31	0	0.32	8.48	9.25
32	28	28	0	0.29	9	9
33	34	34	0	0.21	10.40	7.19
34	22	22	0	0.24	12.79	9.83
35	85	85	0	0.40	9.83	6.41

Annexe 6: Biomasse (aérienne, souterraine et totale) des arbres échantillonnés par placette

# Placette	Biomasse troncs (t)	Biomasse branches (t)	Biomasse feuilles (t)	AGB ₁ (t)	AGB ₂ (t)	BGB (t)	Biomasse totale (t)
1	0.69	0.35	0.23	1.27	0.92	0.20	1.12
2	0.91	0.50	0.32	1.73	1.20	0.27	1.47
3	0.48	0.35	0.23	1.07	0.63	0.15	0.78
4	1.03	0.52	0.35	1.89	1.42	0.31	1.73
5	0.64	0.44	0.31	1.39	0.86	0.21	1.07
6	0.92	0.46	0.29	1.67	1.25	0.27	1.52
7	0.89	0.53	0.35	1.78	1.19	0.28	1.47
8	0.82	0.37	0.23	1.42	1.08	0.24	1.32
9	0.51	0.31	0.22	1.04	0.69	0.16	0.85
10	0.72	0.41	0.24	1.36	0.90	0.21	1.12
11	1.27	0.51	0.33	2.11	1.74	0.36	2.10
12	0.63	0.42	0.27	1.32	0.81	0.20	1.01
13	0.99	0.50	0.32	1.80	1.31	0.29	1.61
14	0.45	0.27	0.17	0.89	0.58	0.14	0.72
15	0.58	0.32	0.20	1.10	0.74	0.17	0.91
16	0.27	0.18	0.13	0.58	0.36	0.09	0.45
17	0.73	0.36	0.23	1.32	0.96	0.21	1.18
18	0.63	0.29	0.14	1.05	0.87	0.18	1.05
19	0.61	0.34	0.24	1.18	0.85	0.19	1.04
20	1.22	0.66	0.49	2.36	1.72	0.38	2.10
21	0.63	0.32	0.23	1.18	0.90	0.19	1.09
22	0.38	0.20	0.14	0.73	0.52	0.12	0.64
23	1.20	0.57	0.37	2.13	1.64	0.35	1.99
24	1.31	0.59	0.33	2.23	1.70	0.37	2.07
25	1.19	0.62	0.41	2.22	1.60	0.36	1.96
26	1.22	0.75	0.48	2.45	1.59	0.37	1.97
27	0.90	0.48	0.30	1.69	1.17	0.27	1.44
28	0.36	0.26	0.17	0.79	0.47	0.11	0.58
29	0.52	0.37	0.23	1.12	0.66	0.16	0.82
30	0.74	0.42	0.25	1.42	0.94	0.22	1.16
31	0.51	0.34	0.26	1.11	0.70	0.17	0.86
32	0.52	0.32	0.23	1.07	0.70	0.16	0.87
33	0.49	0.33	0.20	1.02	0.61	0.15	0.76
34	0.60	0.32	0.19	1.11	0.78	0.18	0.96
35	0.90	0.71	0.43	2.03	1.10	0.28	1.38

AGB₁ : Biomasse aérienne obtenue à partir des équations de Traoré et al (2018)

AGB₂ : Biomasse aérienne obtenue à partir l'équation de Chave et al (2005)

Annexe 7: Fiche de collecte des données

Date.../.../...

No placette :.....

Coordonnées des placettes :.....

[illegible]

Annexe 8: Quelques prises de vue du site

a- Vue aérienne du site



b- Feuilles d'*Acacia mangium*



c- Mesure du DHP



d- Mesure du DHP



e- Partie dense du site

