AgroParisTech - 2ème année
Spécialité Gestion Forestière

12 Juin 2018 - 24 Août 2018

CLOUDBRIDGE
NATURE RESERVE

COMPARAISON DE PEUPLEMENTS ISSUS DE REGENERATION NATURELLE ET DE PLANTATION

Etudiant : **LEFEBVRE Cléa**

Tuteur de stage : **POWELL Jennifer**

Enseignant référant : **LACOMBE Eric**

AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Remerciements :

Je voudrais remercier toutes les personnes qui m’ont aidées et soutenues durant ce stage.

Mes remerciements vont à :

Jennifer Powell, ma maître de stage, qui a toujours été présente pour m’aider et pour répondre à mes questions. Son aide m’a été précieuse pour le traitement des données et pour le bon déroulement de mon séjour

Tom Gode et *Linda Moskalyk*, pour les informations qu’ils m’ont apportés à propos de la réserve

Eric Lacombe, mon professeur référent, qui m’a apporté de nombreux conseils et qui a été très disponible durant mon stage pour répondre à mes questions

A toutes les personnes présentes à Cloudbridge (volontaires et chercheurs) avec qui j’ai passé un agréable séjour et qui ont été très attentives à m’aider à améliorer mon anglais.

Enfin, je remercie particulièrement Ella et Ellie qui m’ont particulièrement aidées dans la collecte de données durant mes premières semaines.

.

Table des matières :

Introduction : 1

A/ Informations générales sur la réserve de Cloudbridge 2

1. Présentation de la réserve .2.....
2. Organisation de la réserve .3.....
3. Activités présentes à la réserve .4.....
   - 3.1 La recherche 4.....
   - 3.2 L'éducation 4.....
   - 3.3 La reforestation .4.....
4. Les attentes du stage .5.....

B/ Mise en place du projet d'étude 6

1. Description des zones d'études .6.....
   - 1.1 Choix des placettes .6.....
   - 1.2 Marquage des placettes 6.....
2. Choix des informations collectées 7.....
   - 2.1 Diamètre 7.....
   - 2.2 Hauteur 8.....
   - 2.3 Classe de dominance des arbres 9.....
   - 2.4 Fermeture de la canopée .9.....
   - 2.5 Densité du bois .10.....
   - 2.6 Biomasse et stockage du carbone .11.....
3. Les retours des données terrains .12.....

C/ Résultats et analyses statistiques.....13

1. Relation hauteur diamètre .13.....
2. Existe-t-il une différence significative des diamètres dans les deux habitats .14.....
   - 2.1 Comparaison de structure en classe de diamètre .14.....
   - 2.2 Analyse statistique des diamètres .15.....
3. Existe-t-il une différence significative des hauteurs dans les deux habitats .16.....
   - 3.1 Comparaison des classes de dominance .16.....
   - 3.2 Analyse statistique des hauteurs .17.....
4. Existe-t-il une différence significative des volumes dans les deux habitats .18.....
5. Comparaison de la fermeture de la canopée dans les deux habitats .18.....
6. Existe-t-il une différence significative de stockage de carbone dans les deux habitats .19.....
   - 6.1. Comparaison de la densité des bois .19.....
   - 6.2. Comparaison du stockage de carbone .19.....

D/ Synthèse des résultats et discussion de la meilleure méthode à adopter....21

E/ Limite et perspectives.....22

Conclusion 23

Bibliographie 24

Annexes : 25

Table des illustrations :

Figure 1 : Situation géographique de la réserve de Cloudridge 2
Figure 2 : Organigramme de la réserve.3
Figure 3 : Images avant et après le début des travaux de reforestation.5
Figure 4 : Emplacement des zones d'études .6
Figure 5 : Mesure de diamètre pour les arbres particuliers 7
Figure 6 : Mesure de hauteur.8
Figure 7 : Différentes classes de dominance des arbres 9
Figure 8 : Illustration de l'utilisation du densiomètre 9
Figure 9 : Illustration des différentes sections présente dans le bois .10
Figure 10 : Relation hauteur/diamètre en zone de plantation (a) et en zone de régénération naturelle (b) .13
Figure 11 : Diagramme en barre du nombre d'arbre par classes de diamètre en plantation (a), en régénération naturelle (b) et en forêt primaire (c).14
Figure 12 : Comparaison des diamètres entre les deux zones d'études.15
Figure 13 : Diagramme en barre du nombre d'arbre par classes de dominance en plantation (a), en régénération naturelle (b) et en forêt primaire (c).16
Figure 14 : Comparaison des hauteurs entre les deux zones d'études 17
Figure 15 : Comparaison des volumes entre les deux zones d'études.18
Figure 16 : Comparaison de la fermeture de la canopée entre les deux zones d'études 18
Figure 17 : Comparaison de la densité entre les deux zones d'études.19
Figure 18 : Comparaison de l'estimation du stockage de carbone entre les deux zones d'études.20

Annexes :

Annexe 1 : Script R utilisé pour les analyses 25

Résumé :

L’un des objectifs principaux de la réserve de Cloudbridge est la reforestation. Il reste de nombreuses zones où l’ancienne activité agricole est encore visible, traduite par des zones dénudées d’arbres. Une méthode de reforestation dans la réserve est la plantation de diverses essences mais il y a également des espaces qui sont laissés sans intervention et où la régénération se fait naturellement.

Il est donc intéressant de savoir si leur méthode de plantation est plus intéressante et plus utile que de laisser la nature suivre son cours et se régénérer naturellement. Mon étude était alors de comparer l’état de la forêt dans ces différentes zones avec la forêt primaire prise comme référence pour l’objectif recherché. J’ai alors collecté des données durant mes premières semaines de stage à savoir relevés de diamètre, de hauteur, de canopée, de classe de dominance des arbres, de densité et du nombre d’arbre présent dans chacune des placettes.

J’ai ensuite analysé statistiquement mes données afin de chercher des différences notables entre les zones de plantation et de régénération naturelle dans le but de pouvoir proposer la meilleure des solutions pour atteindre l’objectif fixé. Les différences observables entre les zones de plantation et de régénération naturelle concernent les diamètres, le volume, la fermeture de la canopée et le stockage de carbone. Tandis que les hauteurs et la densité ne sont pas significatives. Il reste cependant difficile de proposer une méthode de reforestation préférable au vu du jeune âge de ces forêts par rapport à la forêt primaire.

Abstract :

The main goal in Cloudbridge is reforestation. There are a few places where it is possible to see the old agricultural activity. Theses places are without trees, only open pasture. One reforestation method in the reserve is plantation, but some places are left without human activity, the reforestation is only due to natural regeneration.

It is of interest to know which of the two reforestation methods is most effective. My study was focused on the comparaison the forest structure in these different habitats, using the primary forest as a reference. I collected my data during my first nine weeks, namely DBH (diameter at breast height), height, canopy closure, crown class, wood density, and the number of trees in each plot. Aboveground biomass and carbon storage were also calculated. To finish, I looked for a significant difference in the structure between the plantation area and the natural regeneration area to propose the most effective method to achieve the aim. Significant differences between the plantation and the natural regeneration habitats were found for diameter, volume, canopy closure, and carbon storage, while the heights and the wood density were not significant. However, it remains difficult to propose a most effective method given the young age of these habitats compared to primary forest

Introduction :

Bien que la superficie boisée représente une grande part de la superficie mondiale, les problèmes de déforestation se font de plus en plus ressentir, les forêts du monde sont particulièrement menacées avec des millions d'hectares qui disparaissent chaque année, et particulièrement sur le continent Africain et en Amérique du Sud. Les forêts sont des écosystèmes indispensables pour faire face à de nombreuses problématiques (réchauffement climatique, érosion, qualité de l'air,…), il est alors nécessaire de conserver et de reboiser tous ces espaces victimes de déforestation massive. La réserve de Cloudbridge défend donc du mieux qu'elle le peut ces valeurs, la conservation et la reforestation. Pour mener à bien ses projets de reforestation, la réserve s'appuie beaucoup sur l'aide de volontaires et de chercheurs, qui viennent passer des séjours de durée variable, pour reboiser les zones dépourvues d'arbres. Au vu des deux méthodes employées pour reboiser la réserve, il peut être nécessaire de savoir quelle est la meilleure méthode de reforestation pour atteindre l'objectif fixé et se rapprocher de la structure de la forêt primaire. Si bien sûr il existe une différence notable.

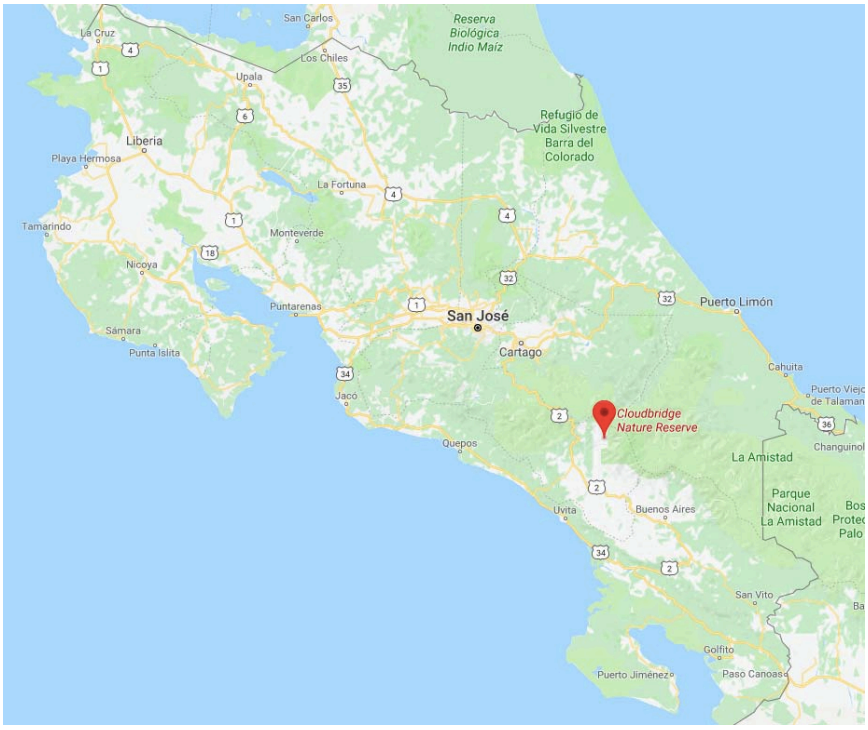
Le but de mon projet est alors de répondre à cette problématique en comparant la structure de la forêt dans les zones de plantation et de régénération naturelle du même âge. La richesse de la réserve de Cloudbridge est qu'elle possède les trois différents habitats dans un espace proche, les forêts se développent donc dans une atmosphère relativement similaire. Cependant, il peut exister des différences entre autre sur la nature du sol mais cela dépasse mon sujet d'étude.

A/ Informations générales sur la réserve de Cloudbridge

1. Présentation de la réserve

Cloudbridge est une réserve naturelle privée située dans la vallée de San Gerardo de Rivas, à 2km du village, dans les montagnes de Talamanca au Costa Rica. La réserve se situe entre 1550 et 2600 mètres d'altitude et comprend 280 hectares de forêt. La forêt est une forêt tropicale humide dans laquelle les nuages se condensent apportant ainsi une humidité nécessaire au bon développement des arbres. La forêt est très dépendante de l'humidité apportée par ces nuages et non de la pluie bien que cette dernière soit très présente du mois de mai au mois de novembre. Le pourcentage d'humidité y est proche de 100% (Samauma o Bresil, 2018). La réserve se situe entre deux réserves, celle du parc national du Chirripo, reconnue au patrimoine mondiale de l'UNESCO et celle de la réserve de Talamanca.

Figure 1 : Situation géographique de la réserve de Cloudridge



La réserve a été créée en 2002 par Geneviève Giddy et son mari. A cette époque, 255 hectares étaient réservées pour le pâturage des bovins ou pour les terres cultivées. Le Costa Rica a subit une forte vague de déforestation à partir 1970 car les éleveurs recevaient une subvention pour bruler les forêts afin de fournir au pays des ressources en viande (Community carbon trees, 2018). Or les conséquences de la déforestation sont bien connues à l'heure actuelle, c'est pourquoi ces dernières années, le Costa Rica s'est engagé à reboiser au maximum les anciennes zones forestières.

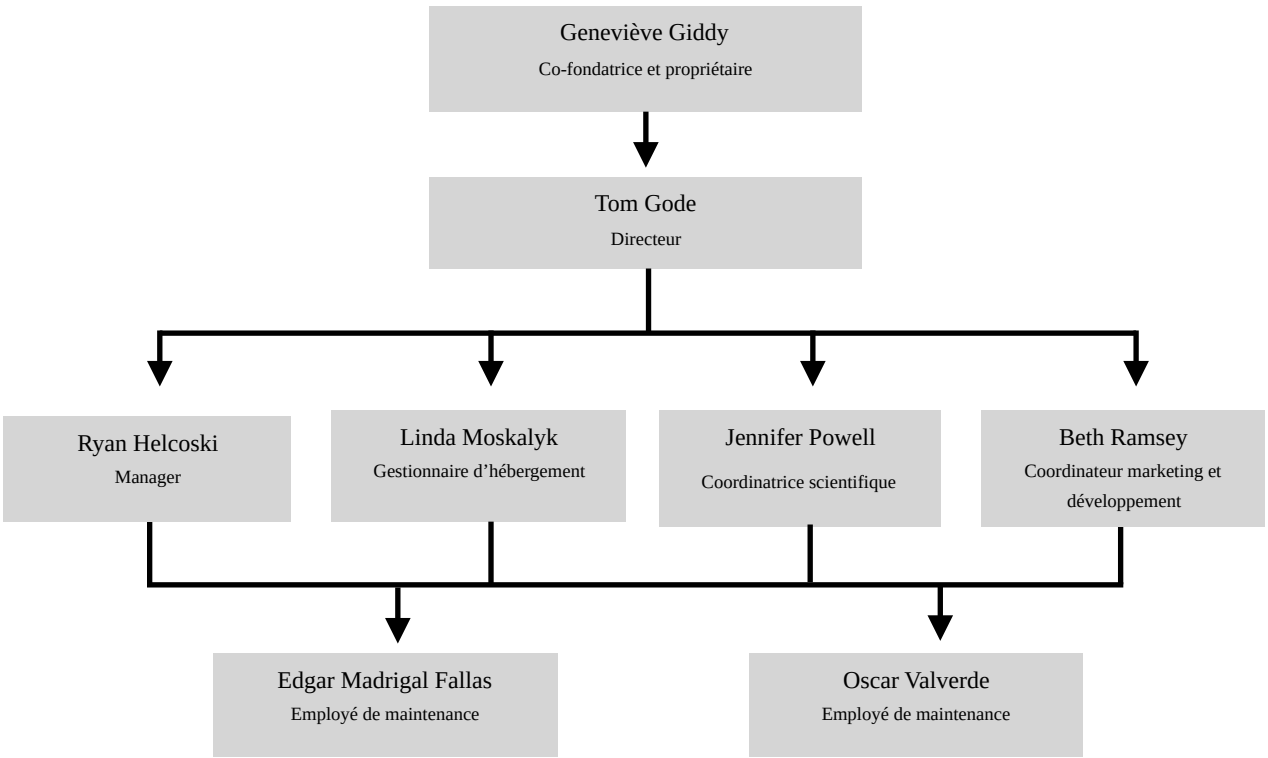
Le Costa Rica compte actuellement 161 parcs nationaux plaçant ainsi le pays au 5ème rang mondiale dans la protection de l'environnement (Imagenes Tropicale, 2012).

Face à ces problèmes de déforestation, 255 hectares de zone non boisée et 28 hectares de forêts primaires ont été achetés pour créer la réserve de Cloudbridge qui se consacre à la conservation et à la reforestation. Ainsi, de nombreux chercheurs, volontaires et groupes scolaires viennent y passer des périodes plus ou moins longues afin d'aider ce projet à se développer au mieux (Cloudbridge, 2018).

2. Organisation de la réserve

Aujourd'hui, Cloudbridge est dirigée par un conseil d'administration comprenant Geneviève Giddy, co-fondatrice, et Tom Gode qui a rejoint le projet en 2005 et vit à l'année à la réserve. Cloudbridge est une structure privée qui se développe avec les dons des visiteurs.
En 2005, Tom Gode était seul à gérer la réserve avec un employé, alors qu'aujourd'hui, huit personnes y travaillent améliorant ainsi l'organisation et la structure (figure 2) :

Figure 2 : Organigramme de la réserve



3. Activités présentes à la réserve

3.1 La recherche

L'activité de recherche est très présente à Cloudbridge en accueillant des étudiants venant de partout dans le monde afin de réaliser des stages dans toutes sortes de domaine. Elle permet d'améliorer les activités d'éducation et de reforestation. L'activité de recherche est très importante car elle permet de connaitre au mieux le fonctionnement de l'écosystème en étudiant la faune et la flore présente sur le site. Comme bien connu, le Costa Rica possède une faune et une flore très diversifiée. De nombreuses espèces d'oiseaux, de papillons, de mammifères, d'insectes et de plantes ont déjà été recensées. Cependant, le travail est encore long en ce qui concerne le recensement des essences forestières, puisque seule la moitié des essences est aujourd'hui identifiée.

3.2 L'éducation

L'éducation à la protection de la forêt est un point qui tend à se développer de plus en plus dans la réserve. En effet, Cloudbridge accueille très souvent des groupes scolaires pour les faire participer à différents projets comme par exemple aider à la plantation d'arbre. L'éducation est l'un des meilleurs moyens pour faire prendre conscience de l'importance de maintenir ces écosystèmes en bonne santé. Une intervenante vient quelque fois donner de petites conférences à ces groupes scolaires sur les problèmes liés au réchauffement climatique en lien avec l'importance de la conservation et de la reforestation des forêts.

3.3 La reforestation

La reforestation a été l'activité principale au début de la création de cette réserve. Depuis 2002, 50 000 arbres ont été plantés afin de reboiser les anciennes zones d'élevage qui avaient été défrichées. Une mortalité élevée a été observée trois ans après les premières plantations, il a alors fallu continuer les plantations les années suivantes. Ainsi, grâce à tous ces efforts passés et ces efforts à venir, le paysage a déjà très fortement changé (figure 3) avec une évolution nettement visible par image aérienne.

Figure 3 : Images avant et après le début des travaux de reforestation

Cependant, toutes les zones de la réserve n'ont pas été reboisées, en effet certaines sont laissées sans action humaine afin que la colonisation reprenne son cours. A l'heure actuelle, la plantation n'est plus aussi intensive, 500 à 1000 arbres sont plantés chaque année depuis 2009. En 2002 et 2003, 20 000 arbres avaient été plantés, puis de 2004 à 2008 le nombre de plantation avait diminué à 5 000 arbres par année. De plus, certains arbres (au nombre de 10 20) sont plantés le long des sentiers chaque année pour les renforcer, les stabiliser.

La réserve prête maintenant plus d'attention à la recherche et à l'éducation tout en continuant l'activité de plantation.

4. Les attentes du stage

Les attentes du stage m'ont été clairement définies lors de mon arrivée dans la réserve par ma maître de stage (*POWELL Jennifer*, Juin 2018). Ainsi, les données importantes pour la comparaison de structure entre les zones de plantation et les zones de régénération naturelle sont : le diamètre, la hauteur, la fermeture de la canopée, la classe des arbres et enfin la densité afin d'étudier la différence de stockage de carbone. L'identification des essences ne semblait pas être une donnée prioritaire pour ma maitre de stage, car le nombre d'essences est très important dans ces forêts et la reconnaissance est très difficile du fait que les feuilles sont parfois très hautes et les troncs recouvert de plantes épiphytes, de lichens, de mousses ou encore de fougères.

Toutes ces mesures ont été relevées pour déterminer s'il existe une différence entre les zones de plantation et de régénération naturelle afin d'essayer de savoir laquelle des deux méthodes est la plus intéressante pour retrouver une forêt proche de celle de la forêt primaire.

B/ Mise en place du projet d'étude

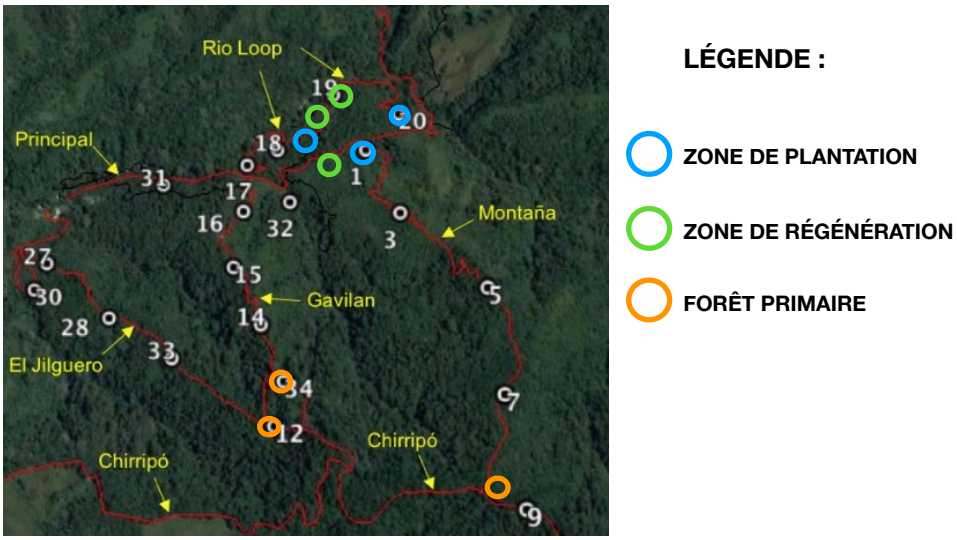
1. Description des zones d'études

Il existe trois types d'habitat dans la réserve à savoir les zones de plantation, les zones de régénération naturelle et enfin la forêt primaire. Mes zones d'études se trouvent dans chacun de ces habitats avec trois placettes par type d'habitat.

1.1 Choix des placettes

Mes placettes ont été choisies de sorte à avoir une forêt d'âge similaire avoisinant une vingtaine d'années pour les habitats de régénération naturelle et de plantation. Elles sont situées à différents endroits de la réserve comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous.

Figure 4 : Emplacement des zones d'études



Les placettes, circulaires à surface fixe, ont un diamètre de 25 mètres, dans lesquelles tous les arbres de 5 cm de diamètre et plus y sont étudiés.

1.2 Marquage des placettes

Certaines placettes étaient déjà existantes, j'ai donc pu récupérer les données de l'étudiant qui avait travaillé sur les arbres de 10 cm de diamètre et plus (cela concerne trois de mes placettes : deux en forêt primaire et une en plantation). J'ai alors complété les données pour y ajouter les arbres compris entre 5 et 10 cm de diamètre. Cependant je n'ai pu utiliser d'autres de ses placettes car certaines se trouvaient à moitié en plantation et en régénération naturelle. J'ai alors dû créer six nouvelles placettes.

Pour les placettes de régénération naturelle, il fallait suffisamment s'éloigner du sentier car de part et d'autre de celui-ci des arbres ont été plantés. Ensuite, les placettes ont été marquées au centre et à chaque pôle à 12,5 mètres.

Le marquage des arbres se fait en commençant dans la direction nord et en se déplaçant vers l'est. Chaque arbre est alors marqué à l'aide d'une petite étiquette en métal. Il est important de commencer du nord puis de se déplacer vers l'est pour permettre aux futurs chercheurs d'y retrouver facilement les arbres.

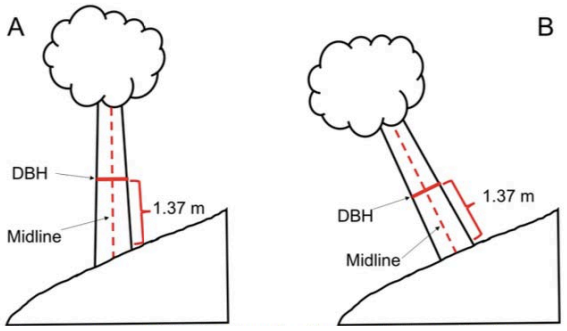
2. Choix des informations collectées

Dans chacune des neufs placettes étudiées, le diamètre, la hauteur, la classe des arbres, la fermeture de la canopée et le relevé du nombre d'arbre ont été effectué. De plus, sur trois placettes, à savoir une dans chaque habitat des prélèvements de carotte de bois ont été effectués afin d'étudier la densité des arbres et en déduire le stockage de carbone.

2.1 Diamètre

Le diamètre a été pris à hauteur de poitrine, une marque sur un bambou à 1,37 mètre à permis de s'assurer que chaque diamètre était pris à la même hauteur. Si une fourche se trouvait à hauteur de poitrine, le diamètre était alors pris juste en dessous de la fourche. Pour les arbres penchés, qui sont très présents dans ce genre de forêt, la mesure du diamètre se faisait selon la figure ci dessous.

Figure 5 : Mesure de diamètre pour les arbres particuliers



Pour les arbres présentant plusieurs stems, le calcul du diamètre s'est fait grâce à la relation suivante :

$$DBH_{multistem} = \sqrt{DBH1^2 + DBH2^2 + DBH3^2 \ldots}$$

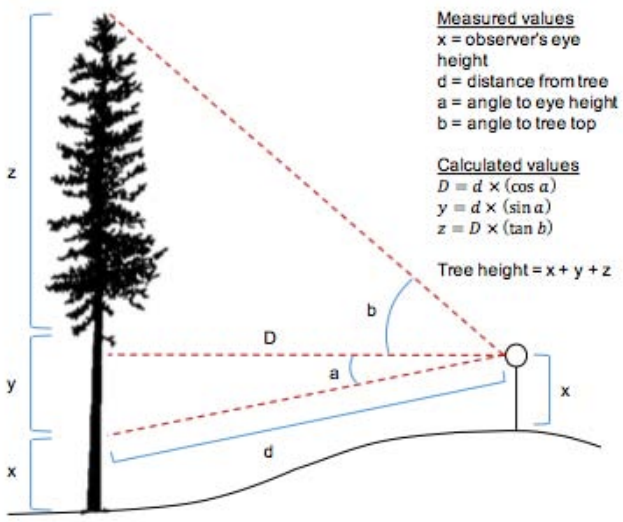
Ainsi, après la collecte de tous les diamètres, j'ai pu classer les arbres en cinq catégories différentes (cf 2.2.3) ce qui m'a permis d'étudier la structure des différents habitats.

2.2 Hauteur

La collecte de hauteur des arbres a été une des étapes les plus compliquées. En effet, en forêt tropicale humide, les arbres grandissent très rapidement et peuvent vite atteindre des hauteurs assez importantes, le sommet des arbres était parfois difficile à voir.

J'ai alors utilisé un clinomètre Suunto pour mesurer la hauteur des arbres afin d'obtenir les angles a et b de la figure ci-dessous.

Figure 6 : Mesure de hauteur



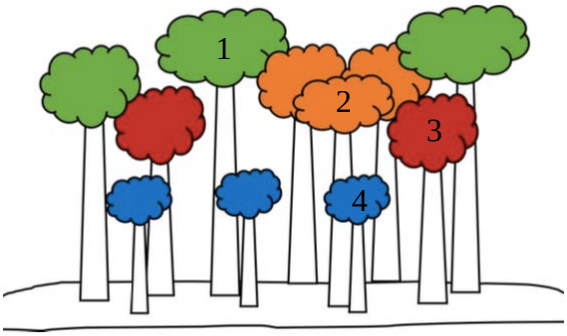
- La distance d correspond à la distance d'œil à œil entre la personne qui mesure et celle restée à coté de l'arbre.
- x correspond à la hauteur d'œil de la personne prenant les mesures. A l'aide d'un bambou et d'une marque rose, il était facile de voir où se trouvait la hauteur d'œil afin de relever l'angle a.
- y = sin(a)*d
- z = tan(b)*cos(a)*d

Ainsi la hauteur de l'arbre est déterminée en additionnant x, y et z.

2.3 Classe de dominance des arbres

La classe de chaque arbre a également été relevée. Les arbres sont alors rangés dans quatre catégories :

Figure 7 : Différentes classes de dominance des arbres



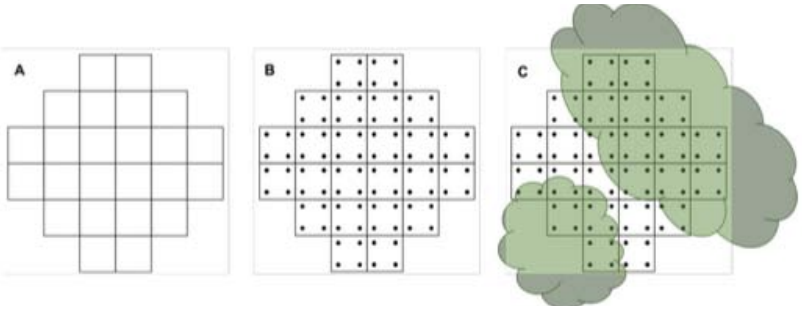
1 : arbre dominant avec au moins 80% du soleil arrivant directement dans le houppier
2 : arbre co-dominant avec entre 50-80% du soleil arrivant dans le houppier
3 : arbre intermédiaire avec entre 20-50% de soleil
4 : arbre dominé sans contact direct avec le soleil.

Selon le protocole, la réflexion se faisait surtout concernant la proportion de soleil qui arrive directement sur le houppier à savoir que des petits arbres se trouvant dans une petite zone ouverte avec un contact direct avec le soleil étaient notés 1.

2.4 Fermeture de la canopée

La fermeture de la canopée a été mesuré à l'aide d'un densimètre. Cet instrument convexe permet d'avoir une vue de la canopée. Il est composé de différents carrés comme sur la photo ci-dessous. Il faut alors imaginer que dans chaque angle des carrés, il y a quatre points, et c'est alors le nombre de point dans les arbres qu'il faut compter (figure 8). Cependant, l'instrument possède 24 carrés, il y a donc au total 96 points, il suffit alors de multiplier par 1,04 afin d'obtenir un pourcentage de la fermeture de la canopée.

Figure 8 : Illustration de l'utilisation du densiomètre



Dans la figure 8, il y a 69 points dans les arbres ainsi la fermeture de la canopée est de 69*1,04=71,8%.

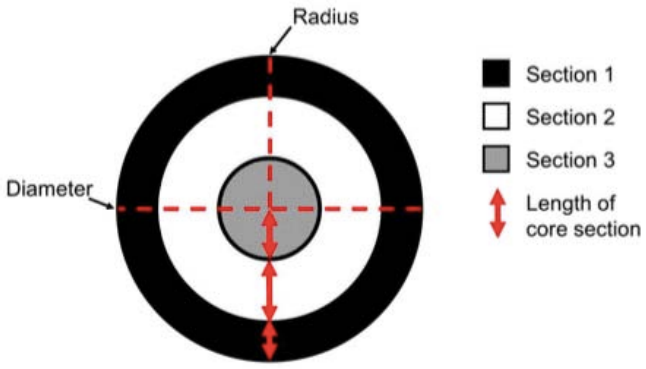
La fermeture de la canopée a été mesurée à 8 mètres du centre à chaque pôle et quatre mesures ont été prises dans chaque direction (N,E,S,O). Puis la moyenne à chaque pôle a été calculée.

2.5 Densité du bois

Le prélèvement de carotte de bois permet de déterminer la densité de chaque arbre et ainsi avoir une idée de la quantité de carbone stocké. Cette étape est délicate car le prélèvement de carotte est un travail minutieux, il faut faire attention à ne jamais forcer sur la tarrière de Pressler car cette dernière est très fragile d'autant plus que le prélèvement est parfois très difficile. Les carottes ont été faites à la même hauteur que le diamètre à savoir à 1,37 mètre pour avoir le même repère pour chaque arbres.

J'ai alors prélevé des échantillons de chaque arbres présents dans les placettes sélectionnées à savoir une placette de chaque type d'habitat.
Une fois toutes les carottes prélevées, il faut découper l'échantillon en fonction des variations de couleur ou de texture visible. Si aucune différence n'est visible sur l'ensemble de l'échantillon, il faut le séparer en deux dans le doute d'avoir une différence de densité dans chaque section. La figure 9 ci-dessous montre l'exemple d'un arbre qui sera divisé en trois section pour le calcul de densité.

Figure 9 : Illustration des différentes sections présente dans le bois



Les échantillons ont ensuite été mis dans des bacs remplis d'eau pendant plus de deux heures afin de les saturer en eau. Ensuite, dans un bac rempli d'eau posé sur la balance, chaque section d'échantillons a été mise dans ce bac afin de relever la variation de poids et ainsi obtenir le volume vert. 1g correspondant à 1 cm^3.

Puis, chaque échantillon a été séché dans un four durant deux heures et demie voire trois heures à 150°C et ainsi j'ai pu obtenir la masse sèche des différentes sections.

$$WSG_{section} = W/V$$

Grâce à ces données, j'ai pu déterminer la densité de chaque section de l'échantillon de la manière suivante :

Où :

- $WSG_{section}$: correspond à la densité de la partie « section » de l'échantillon
- W : la masse sèches de la partie « section »
- V : volume vert, masse de la partie « section » saturée en eau

$$WSG_T = \frac{(WSG_1 \times P_1) + (WSG_2 \times P_2) + (WSG_3 \times P_3) \ldots}{N}$$

J'obtiens alors la densité du bois, grâce à la formule suivante :

Où :

- WSG_T : densité du bois
- WSG_1 : densité du bois de la partie 1 de l'échantillon
- WSG_2 : densité du bois de la partie 2 de l'échantillon
- WSG_3 : densité du bois de la partie 3 de l'échantillon
- P_1 : proportion de la partie 1 de l'échantillon dans l'arbre (aire section 1 / aire total)
- P_2 : proportion de la partie 2 de l'échantillon dans l'arbre
- P_3 : proportion de la partie 3 de l'échantillon dans l'arbre
- N : nombre de partie différente de l'échantillon dans l'arbre

2.6 Biomasse et stockage du carbone

La détermination de la biomasse aérienne est vraiment très complexe, car les arbres sont différents en terme d'espèce, de hauteur, de structure, de densité, etc. Des modèles sont actuellement disponibles pour évaluer plus précisément cette biomasse aérienne. En ce qui concerne les forêts humides, comme c'est le cas pour mon étude, il est très compliqué d'établir des équations précises car ces dernières peuvent renfermer des centaines d'essences différentes par hectare. Ainsi, des modèles mixtes doivent être utilisés. Celui retenu pour mon étude est celui de Chave et al. (2005) car il utilise des données faciles à obtenir sur le terrain. Les données qui sont alors nécessaires sont la densité des bois, leur diamètre et leur hauteur. La formule suivante permet alors d'avoir une estimation de la biomasse aérienne.

$$AGB_{est} = 0.0776\,(\rho D^2 H)^{0.940}$$

Où :

- AGB est : estimation de la biomasse aérienne

- ρ : densité du bois appelé précédemment
- D : diamètre à 1,37 mètre WSG_r
- H : hauteur

Finalement de cette estimation de la biomasse aérienne, il est facile d'estimer le stockage de carbone car il est supposé que 50% de la biomasse aérienne stocke du carbone. Pour les forêts tropicales, le pourcentage de la biomasse aérienne stockant du carbone retenue est de 47 % (IPCC, 2006). Ainsi, grâce à la formule suivante, il est rapide d'avoir une estimation du stockage de carbone :

$$C_{AGB} = AGB \ x \ 0.47$$

Où :
- CAGB : estimation du stockage de carbone
- AGB : estimation de la biomasse aérienne

3. Les retours des données terrains

Après la fin de ma collecte de données, ma base de données s'élève à 460 arbres avec 121 arbres en plantation, 160 arbres en régénération naturelle et enfin 179 arbres en forêt primaire.

J'ai rencontré quelques difficultés notamment lors des mesures de hauteur et de densité.

Concernant les hauteurs, la principale difficulté rencontrée était de ne pas voir clairement le sommet des arbres. De plus, lors de la mesure de la distance entre l'arbre et l'observateur, il était difficile de garder le mètre rectiligne à l'horizontale à cause de la forte végétation présente. L'imprécision des hauteurs est importante car il y a une incertitude dans la mesure de la distance, dans le relevé des angles a et b (surtout l'angle b visant le haut de l'arbre), dans l'instrument de mesure Suunto et de plus les hauteurs ont été relevées par différents observateurs car quelques volontaires sont venues m'aider.

En ce qui concerne la densité, il a parfois été très difficile d'obtenir des carottes, et pour certains totalement impossible car le bois était trop dur. Pour les arbres de trop gros diamètre (>65 voire 70 cm de diamètre) l'instrument de mesure était soit trop petit ou soit trop fragile, j'ai donc du enlever quelques arbres pour l'étude de la densité. De plus, l'imprécision sur la densité du bois est également élevée car lors des prélèvements, je n'étais pas sûre d'avoir chaque partie du bois, le coeur étant parfois excentré. Egalement, lors de la pesée des échantillons secs, il aurait été préférable d'avoir une balance plus précise pour les petits échantillons. La pesée s'est faite avec une balance précise au centigramme.

C/ Résultats et analyses statistiques

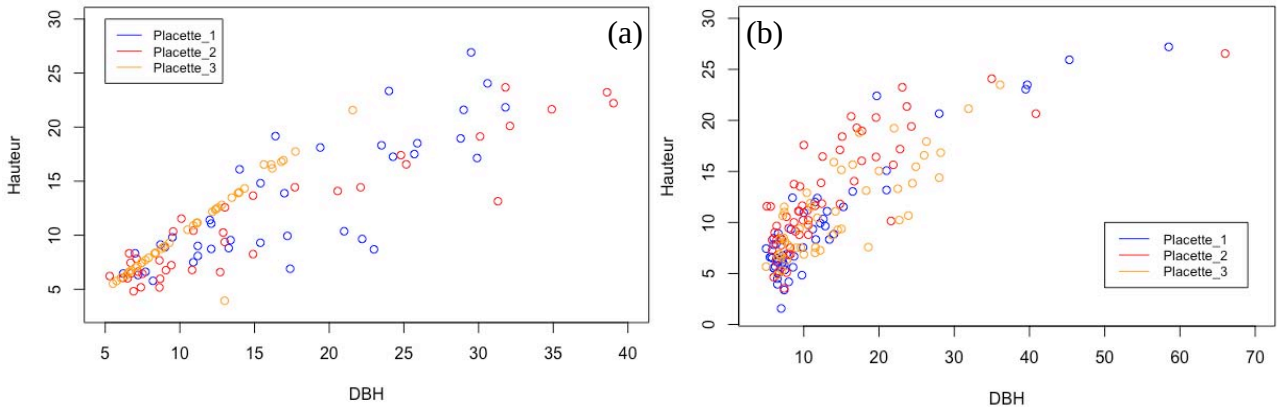
1. Relation hauteur diamètre

Dans un premier temps, je me suis concentrée sur les graphiques donnant une relation hauteur/diamètre dans les deux zones d'études à comparer donc zone de plantation et zone de régénération naturelle. Suite aux premiers graphiques obtenus, j'ai pu observer des aberrations avec des hauteurs bien trop grandes pour le diamètre correspondant. Ainsi, ces premiers graphiques m'ont permis de sélectionner certains arbres afin de retourner sur le terrain pour en vérifier la hauteur.

De plus, pour l'ensemble de mon étude, j'ai enlevé de ma base de données, les arbres morts car ils faussaient les résultats. En effet, certains de gros diamètre étaient cassés donc cela influençait beaucoup les résultats.

Après vérification et correction des hauteurs, j'obtiens les figures ci-dessous, avec 121 arbres relevés en zone de plantation et 160 en zone régénération naturelle.

Figure 10 : Relation hauteur/diamètre en zone de plantation (a) et en zone de régénération naturelle (b)



Nous pouvons alors constater que l'allure des courbes est relativement différente. En effet, en zone de plantation (graphique (a)), nous obtenons une courbe plutôt linéaire avec des points très alignés dans la placette n°3. Ceci peut être expliqué par l'absence de compétition entre les arbres en plantation. Chaque plant se développe à son rythme sans interaction avec les autres donc sans besoin de se défendre pour obtenir les ressources nécessaires à sa croissance. Cependant, l'alignement presque parfait des points de la placette 3 est très intriguant. La placette 3 est la seule qui est séparée en deux avec le passage d'un des sentiers de recherche de la réserve. Cette caractéristique joue peut être un rôle sur le développement des arbres car l'ouverture du sentier apporte plus de lumière et favorise la croissance « indépendante » de chaque plant jusqu'à des hauteurs plus importantes que les autres placettes.

Tandis qu'en zone de régénération naturelle (graphique (b)), l'allure de la courbe est plutôt exponentielle. Nous pouvons expliquer cela par le fait que les jeunes arbres entament une course vers le soleil durant leurs premières années, donc croissent très rapidement en hauteur avant de ralentir leur croissance en hauteur et se concentrer sur leur croissance en diamètre.

Une fois de plus, il aurait été intéressant d'avoir connaissance des essences, car entre les essences de lumière et les essences d'ombre le comportement est différent et va jouer sur la structure de la forêt dans les années à venir.

2. Existe-t-il une différence significative des diamètres dans les deux habitats

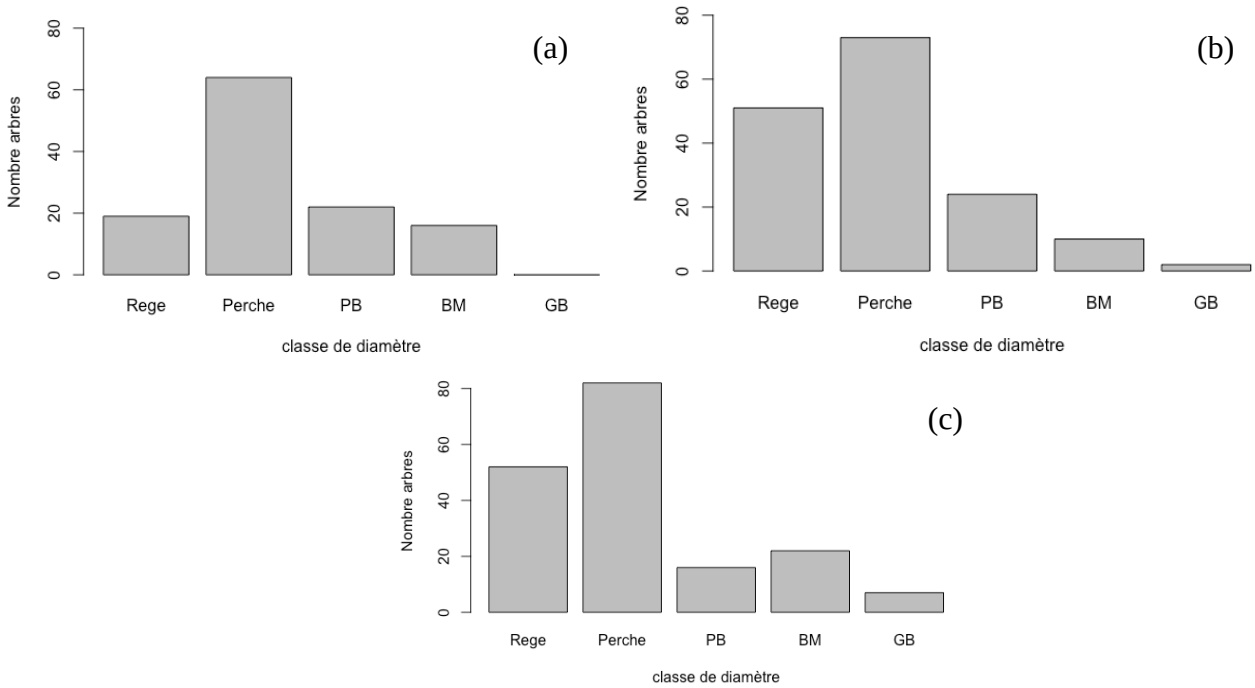
2.1 Comparaison de structure en classe de diamètre

La différence de structure entre les différents habitats peut être étudiée à partir des classes de diamètre. Grâce au relevé de diamètre, j'ai pu différencier les arbres en cinq catégories :

- Régénération : pour les arbres de diamètre inférieur ou égal à 7,5 cm
- Perche : pour les arbres de diamètre compris entre 7,5 et 17,5 cm
- PB (petit bois) : pour les arbres de diamètre compris entre 17,5 et 27,5 cm
- BM (bois moyen) : pour les arbres de diamètre compris entre 27,5 et 47,5 cm
- GB (gros bois) : pour les arbres de diamètre strictement supérieur à 47,5 cm

J'obtiens alors les graphiques suivants :

Figure 11 : Diagramme en barre du nombre d'arbre par classes de diamètre en plantation (a), en régénération naturelle (b) et en forêt primaire (c)



En zone de plantation (a), une classe de diamètre se distingue des autres et aucun gros bois n'est présent. En comparaison avec les autres habitats, les zones de plantation semblent posséder très peu de régénération ce qui peut poser un problème pour l'avenir mais cela reste incertain car le fort nombre de perche est suffisant pour assurer la génération suivante.

En zone de régénération (b), le nombre d'arbre considéré comme régénération et perche est plus important qu'en zone de plantation. Nous pouvons aussi constater une certaine structure avec une diminution progressive du nombre d'arbre entre les perches, petit bois, bois moyen et enfin gros bois.

En zone de forêt primaire (c), le nombre de gros bois est plus conséquent avec une dizaine d'arbres. Le nombre d'arbre considéré comme régénération et perche est quasiment équivalent à celui en zone de régénération naturelle.

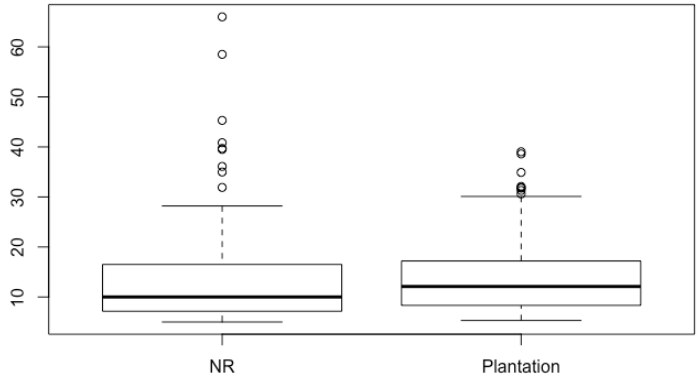
Bien que la structure en zone de régénération naturelle semble proche de celle de la forêt primaire, il est impossible de le dire avec certitude et cela ne reste qu'une supposition. En effet l'âge de la forêt primaire étant bien plus importante, le comportement des arbres et la structure sont par conséquent très différents.

Intéressons nous maintenant à savoir s'il existe une différence significative de diamètres entre les zones de plantation et celles de régénération naturelle. En effet, mes analyses statistiques se feront uniquement entre les zones de plantation et de régénération naturelle car ce sont des zones de même âge. Il serait scientifiquement incorrect de faire intervenir la forêt primaire dans ces analyses puisque car son âge est très différent.

2.2 Analyse statistique des diamètres

Nous pouvons dans un premier temps regarder ce que nous donne la répartition des diamètres dans les deux zones d'études principales. Nous obtenons alors les résultats suivantes :

Figure 12 : Comparaison des diamètres entre les deux zones d'études



Valeurs médiane :

- NR = 10
- Plantation = 12,1

Avant tout test statistique, j'ai dû vérifier la normalité de ma variable avec le test de Shapiro-Wilk. J'obtiens alors une p_value inférieure à 2.2e-16, ainsi l'hypothèse de la normalité de ma variable est rejetée. J'ai alors utilisé le test de Kruskal Wallis qui est une alternative au test de student lorsque la normalité des variables est rejetée.

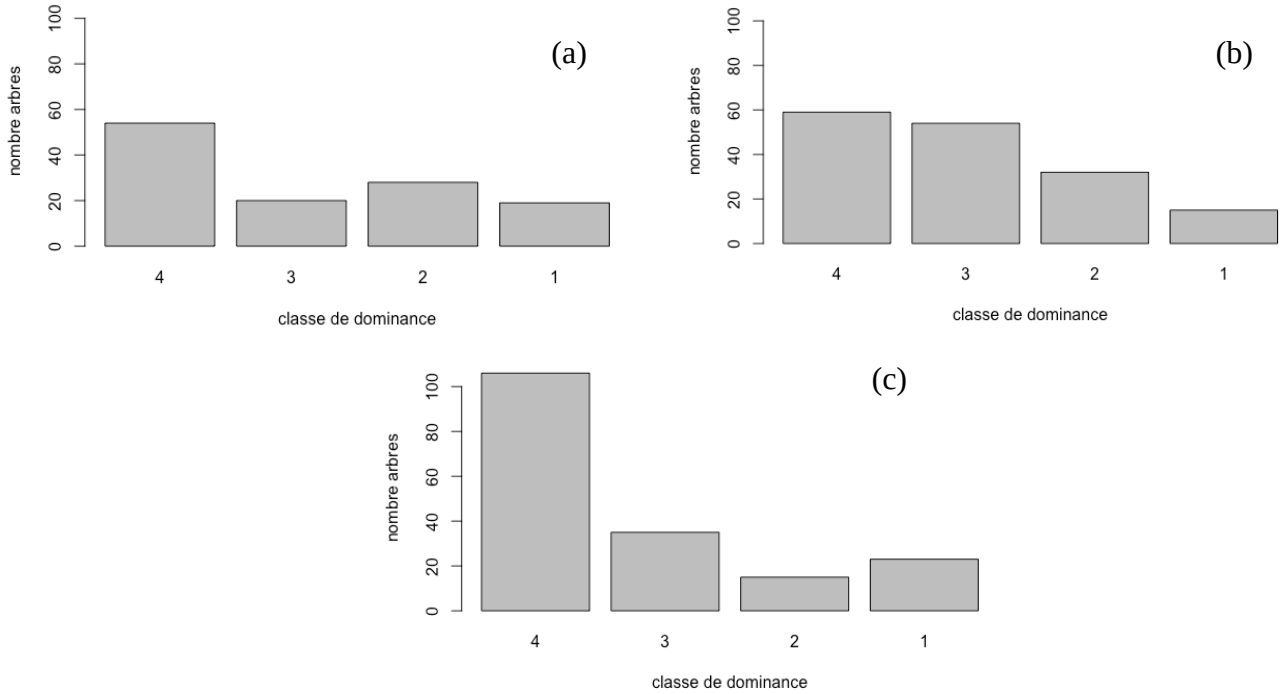
Le résultat du test Kruskal Wallis renvoie une p_value de 0,04076, inférieure à 0,05, ainsi nous pouvons conclure que les diamètres entre les deux zones d'études sont significativement différentes. Les diamètres des arbres en zone de plantation est légèrement plus important. Cela rejoint l'observation faite au paragraphe C.1, à savoir que les arbres en régénération naturelle se focalisent en premier lieu sur une croissance en hauteur plutôt que sur une croissance en diamètre tandis qu'en zone de plantation, ce besoin de se démarquer des autres arbres est beaucoup plus faible. Ainsi, les arbres répartissent leur énergie entre la croissance en hauteur et en diamètre, sans en favoriser une en particulier.

3. Existe-t-il une différence significative des hauteurs dans les deux habitats

3.1 Comparaison des classes de dominance

Comme nous l'avons vu dans la partie B.2.2.3, la classe de dominance des arbres a été relevée, classant alors les arbres en quatre catégories avec pour rappel la catégorie 1 correspondant aux arbres dominants et la catégorie 4 aux arbres dominés.

Figure 13 : Diagramme en barre du nombre d'arbre par classes de dominance en plantation (a), en régénération naturelle (b) et en forêt primaire (c)



D'après la figure 13, nous constatons, une fois encore, en régénération naturelle (graphique (b)) une forêt plus structurée avec une diminution progressive du nombre d'arbre lorsque que la classe de dominance augmente.

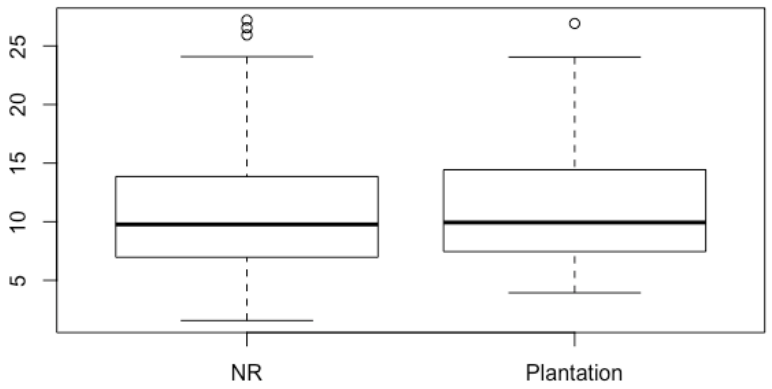
Tandis qu'en zone de plantation, la forêt reflète une structure constituée de majoritairement deux strates principales à savoir les arbres dominants qu'il est possible de regrouper avec les arbres co-dominants et les arbres dominés. En effet, la strate intermédiaire est très peu présente.

En forêt primaire, nous constatons un très grand nombre d'arbres de classe 4, donc beaucoup d'arbres dominés sans accès direct à la lumière. Ceci est cohérent avec le nombre plus importants d'arbres dominants et de gros diamètres (cf figure 11) qui ferment fortement la canopée ralentissant alors la croissance des arbres qui se trouvent en dessous. La forêt primaire se caractérise donc par de nombreux gros arbres dominants diminuant fortement l'accès à la lumière pour les autres arbres restant au stade dominé ou intermédiaire.

3.2 Analyse statistique des hauteurs

Comme pour l'analyse des diamètres, nous pouvons regarder dans un premier temps l'allure des boîtes à moustache pour les hauteurs, nous obtenons les graphiques suivants :

Figure 14 : Comparaison des hauteurs entre les deux zones d'études



Valeurs médiane :
- NR = 9,77
- Plantation = 9,94

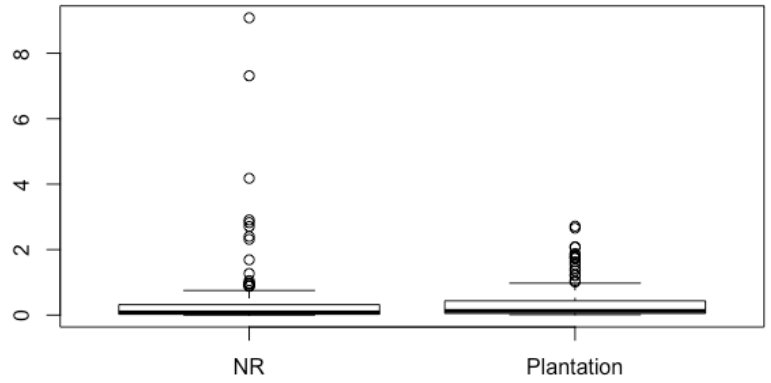
La normalité de la variable hauteur a été analysée de la même manière que pour le diamètre avec le test de Shapiro-Wilk. Nous obtenons alors une p_value de 4.867e-11, ainsi la normalité n'est pas vérifiée. Nous allons une nouvelle fois utiliser le test de Kruskal Wallis pour déterminer si il existe une différence significative des hauteurs.

Nous obtenons alors une p_value de 0.4514, supérieure à 0,05, ainsi les hauteurs ne sont pas significativement différentes entre les zones de plantation et de régénération naturelle.

4. Existe-t-il une différence significative des volumes dans les deux habitats

Le volume des arbres a été calculé grâce aux données de diamètre et de hauteur, ainsi il était intéressant de regarder si les volumes sont différents d'une placette à une autre. La normalité de cette variable a également été rejetée, car nous obtenons une p_value inférieure à 2.2e-16.

Figure 15 : Comparaison des volumes entre les deux zones d'études



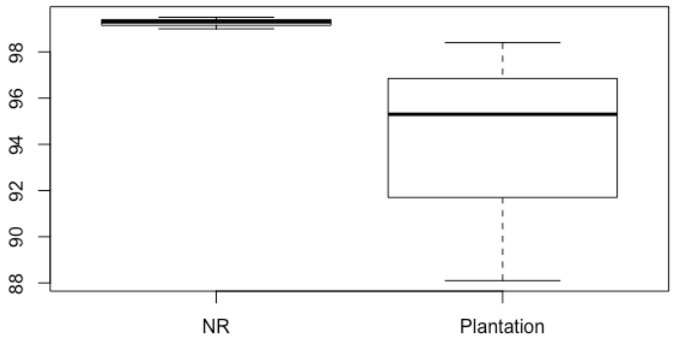
Valeurs médiane :
- NR = 0,08
- Plantation = 0,13

Le résultat du test de Kruskal Wallis, nous donne une p_value de 0.00601, inférieure à 0,05, ainsi bien que les hauteurs n'étaient pas significativement différentes, nous pouvons à la suite de ce test constater que les volumes sont significativement différents entre les deux zones d'études.

5. Comparaison de la fermeture de la canopée dans les deux habitats

La fermeture de la canopée a été relevée dans chacune des placettes. Nous avons calculé la moyenne des résultats trouvés dans chaque direction. Le test de Shapiro-Wilk, nous donne une p_valure de 0.01365, ainsi la normalité n'est pas acceptée.

Figure 16 : Comparaison de la fermeture de la canopée entre les deux zones d'études



Valeurs médiane :
- NR = 99,3
- Plantation = 95,3

Le test de Kruskal Wallis nous donne alors une p_value de 0.04953, inférieure à 0,05, nous permettant de conclure qu'il y a une différence significative de la fermeture de la canopée entre les zones de plantation et de régénération naturelle.

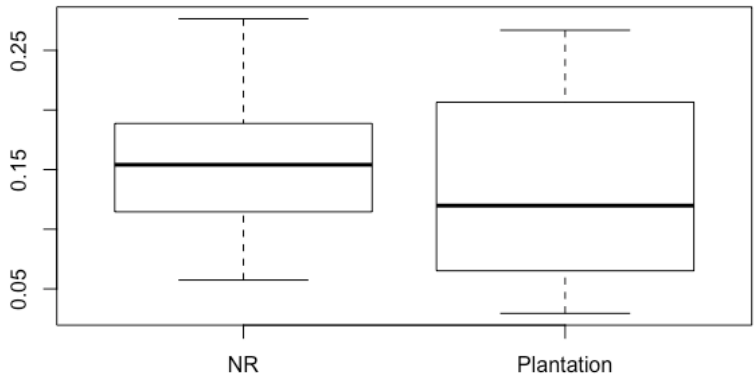
Cependant, il est difficile de tirer des conclusions de la comparaison de la fermeture de la canopée car l'imprécision des relevés de mesures est très importante. De plus, je ne possède que six valeurs à savoir trois par type d'habitat, car c'est une moyenne des moyennes de fermeture de canopée de chaque pôle. Il serait alors préférable d'avoir plus de résultats afin de pouvoir réellement comparer les deux habitats et de formuler des hypothèses concernant la fermeture de la canopée et le comportement des essences.

6. Existe-t-il une différence significative de stockage de carbone dans les deux habitats

6.1. Comparaison de la densité des bois

Intéressons nous à la différence de densité des bois dans chaque placette. Seule une placette parmi les trois de chaque type de placette a été choisie en raison du manque de temps. La densité a alors été calculée sur 36 arbres en zone de plantation et sur 51 arbres en zone de régénération naturelle. Le test de Shapio-Wilk renvoie une p_value de 0.08737, ainsi la normalité est acceptée. Cette condition étant validée, il est alors possible de réaliser un test de Student.

Figure 17 : Comparaison de la densité entre les deux zones d'études



Valeurs médiane :
- NR = 0,15
- Plantation = 0,12

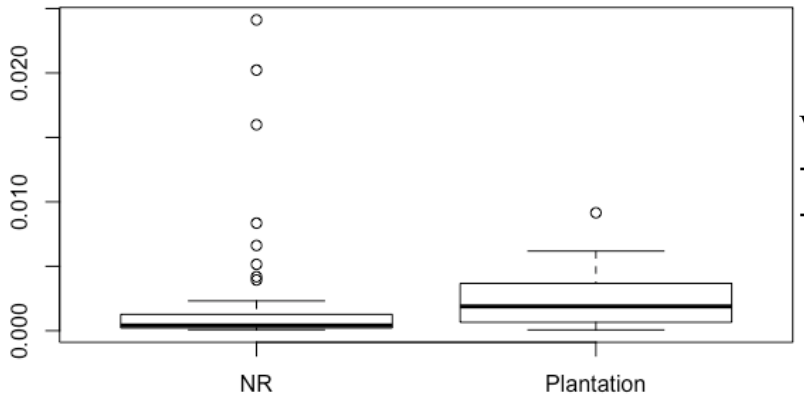
Les résultats du test de Student renvoie une p_value de 0.2188, supérieure à 0,05, ainsi la densité des bois n'est pas significativement différente entre les deux types de régénération.

6.2. Comparaison du stockage de carbone

Pour finir, intéressons nous au stockage de carbone (exprimé en m^3) dans chaque habitat. Pour rappel, le stockage de carbone s'estime après estimation de la biomasse aérienne qui prend en compte le densité, le diamètre élevé au carré et la hauteur (cf B.2.2.6). Le diamètre intervenant au carré dans la biomasse aérienne, il y a de forte chance que les résultats soient significatifs car les diamètres le sont entre les deux habitats. Le test de Shapiro-Wilk renvoie une p_value de

4.503e-15, ainsi la normalité est de nouveau rejetée. Utilisons alors le test de Kruskal Wallis pour valider ou non notre hypothèse d'une différence significative du stockage de carbone.

Figure 18 : Comparaison de l'estimation du stockage de carbone entre les deux zones d'études



Valeurs médiane :
- NR = 4e-4
- Plantation = 1,89e-3

Le test de Kruskal Wallis renvoie alors une p_value de 0.0007537, inférieure à 0,05, ainsi notre hypothèse est validée, le stockage de carbone est significativement différent entre les deux habitats. Ainsi, nous pouvons supposer que les plantations sont susceptibles de capter plus de carbone que les forêts de régénération naturelle au même âge.

D/ Synthèse des résultats et discussion de la meilleure méthode à adopter

Pour résumer les résultats, nous avons trouvé des résultats significativement différents pour le diamètre, la fermeture de la canopée, le volume et le stockage de carbone. Ces deux derniers sont calculés à partir du diamètre élevé au carré, ce n'est donc pas surprenant de trouver des résultats significatifs. Les résultats concernant les hauteurs et la densité ne sont quant à eux pas significativement différents.

Au vue de ces résultats, nous ne pouvons pas réellement proposer une meilleure méthode de reforestation à adopter pour se rapprocher d'une structure de forêt primaire. En effet, le problème d'un âge différent entre les sujets d'études et la cible recherchée empêche de porter des conclusions précises car la dynamique des arbres en forêt primaire est complètement différente d'une jeune forêt qui tente de s'installer comme c'est le cas pour nos deux habitats d'études. Cependant, d'après le graphique 11, nous avons constaté que la structure en diamètre en régénération naturelle était plus proche de celle de la forêt primaire. De même, d'après le graphique 13, nous avons constaté que la forêt issue d'une régénération naturelle possédait toutes les classes de dominance apportant une nouvelle fois une certaine structure et un avenir plus sûr en cas d'intempérie. La succession a plus de chance d'être assurée grâce aux arbres intermédiaires qui sont bien représentés en zone de régénération naturelle contrairement à la zone de plantation où la strate intermédiaire est peu représentée.

En revanche, le stockage de carbone semble être plus important en zone de régénération naturelle, ce qui est un point très important en vue des problèmes actuels de réchauffement climatique mais la différence n'est pas très marquée pour le moment, il faudrait voir comment cela évolue dans le temps.

E/ Limite et perspectives

Une des limites à mon étude est l'absence de la connaissance des essences présentes sur mes placettes. Cette donnée aurait pu m'apporter de nombreuses réponses notamment en terme de différence de comportement de la croissance des arbres, car la différence d'allure des graphiques hauteur/diamètre peut peut-être s'expliquer par une différence d'essences présentes dans chaque placette. En effet, les essences ont des comportements différents vis à vis de l'accès à la lumière par exemple.

De plus, les relevés terrains se font avec des instruments de mesures plutôt rustique, notamment pour le relevé des hauteurs. Il serait nécessaire d'investir dans un appareil de mesure tel un vertex car nous aurions que deux imprécisions de mesure à savoir celui de l'instrument et celui du manipulateur. Avec les instruments de mesure actuelle, nous avons quatre imprécisions de mesure : mesure de la distance, mesure de la hauteur d'œil, l'instrument de mesure et le manipulateur (pointage vers la marque rose du bambou, celui du sommet et lecture d'angle). Les résultats pourraient alors être plus précis.

A l'avenir, il semble indispensable d'identifier les essences afin de pouvoir prendre en compte tous les éléments et produire une comparaison complète. De plus, avec l'identification des essences, une comparaison avec celles présentes en forêt primaire est possible, et cela pourrait permettre de mieux savoir quelle méthode de reforestation est la plus efficace pour essayer de retrouver l'état de la forêt naturelle. La connaissance des essences permettrait également d'étudier la diversité des essences présentes et de comparer le nombre d'essences présentes. Cette diversité est un élément important car elle permettrait de savoir comment les placettes pourraient réagir en cas d'intempéries comme par exemple de forts vents (avec peut-être des essences moins sensibles), de maladies ou encore face aux problèmes liés réchauffement climatique. Il serait alors intéressant de voir si la biodiversité en régénération naturelle est plus importante qu'en plantation comme nous pouvons les constater dans nos régions tempérées, car seule une petite dizaine d'essences différentes sont plantée dans la réserve. Il pourrait être intéressant de voir les essences qui se développent à la suite en plantation pour comparer avec la diversité présente en régénération naturelle et en plantation.

Je recommande également de regarder la croissance en diamètre et en hauteur pour avoir une connaissance de l'accroissement moyen.

Enfin, il pourrait être intéressant de prendre en compte les conditions environnementales, comme par exemple, la pente, l'humidité du sol, l'altitude, l'exposition, l'ombrage, etc. Il peut y avoir des endroits où la plantation serait plus avantageuse que la régénération naturelle et inversement.

Conclusion

Le projet de reforestation à Cloudbridge, mené depuis 2002, montre des résultats très satisfaisants avec un paysage qui a déjà énormément changé. Grâce aux relevés que j'ai effectué durant mes 11 semaines à la réserve, j'ai pu comparer les structures et les caractéristiques des forêts en plantation et en régénération naturelle. Ces jeunes forêts toutes deux âgées d'une vingtaine d'années, ne semblent cependant pas présenter de différences très marquées de structure et de caractéristiques. Ce projet doit alors être mené sur le long terme afin d'étudier l'évolution de la structure car ces forêts tropicales ont une très forte dynamique. Ainsi, leur structure change très rapidement. Il sera également possible de comparer la croissance en diamètre et en hauteur des arbres entre les habitats et cela pourrait ainsi compléter l'analyse et permettre de voir dans quel habitat la croissance est la plus rapide et lequel serait le plus susceptible d'atteindre rapidement une structure similaire à celle de la forêt primaire. De plus, dans les années à venir il serait nécessaire d'identifier les essences présentes sur les placettes. L'identification des essences apporterait des connaissances très riches et des comparaisons avec la forêt primaire seraient alors possible en terme de présence des essences. Avec ces données, il serait alors possible de porter un jugement plus précis à propos de la méthode de reforestation à adopter pour atteindre l'objectif, car il n'est actuellement pas possible de porter un jugement définitif sur la méthode la plus adaptée pour retrouver une structure proche de celle que nous trouvons en forêt primaire.

Bibliographie

- Samauma o Bresil, 2018 : Samauma o Brésil, 2018, *Les forêts au Costa Rica*, 1p, https://samaumaobresil.wordpress.com/les-forets-du-costa-rica/
- Community carbon trees, 2018 : Community carbon trees, 2018, *Rainforest deforestation*, 1p, http://www.communitycarbontrees.org/rainforest-deforestation
- Imagenes Tropicale, 2012 : Imagenes Tropicale, 2012, *Les différents types de forêts _ Costa Rica d'Amérique centrale*, 1p, http://www.costarica-nature.org/FRANCAIS/infos_generales_Costa_Rica/Fiches_Infos/Foret-Costa-Rica/Foret-CostaRica.htm
- Cloudbridge, 2018 : CloudBridge réserve naturelle, 2018, *The project*, 1p, http://cloudbridge.org/
- Chave et al., 2005 : Have et al., 2005, Ecosystem ecology, *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest*, 13p
- POWELL Jennifer, Juin 2018 : POWELL Jennifer, Juin 2018, *Draft - Forest Assessment Protocol*, 26p

Annexes :

Annexe 1 : Script R utilisé pour les analyses

```
library(sf)
library(car)
setwd("~/Documents/Stage costa rica/Rapport de stage")
data=st_read("data_compact.xlsx") #Excel complet avec données OG
habitat=st_read("data_compact_NR_P.xlsx")
canopee= st_read("canopée_P_NR.xlsx")
densite = st_read("densite.xlsx")
Plantation= head(habitat, n=121)
NR= head(habitat[122:281,], n=281)
Canop= canopee[c(-7,-8,-9),]

Plantation_1=head(habitat, n=38)
Plantation_2=head(habitat[39:76,], n=76)
Plantation_3=head(habitat[77:121,], n=121)
NR_1=head(habitat[122:175,], n=175)
NR_2=head(habitat[176:231,], n=231)
NR_3=head(habitat[232:281,], n=281)
OG_1=head(data[282:352,], n=352)
OG_2=head(data[353:411,], n=411)
OG_3=head(data[412:460,], n=460)


#Graphique Hauteur diamètre en distingant les placettes en plantation

par(mfcol=c(1,1))
with(Plantation_1, plot(x=Diam, y=Hauteur,col="blue",xlim=c(5,40),
ylim=c(3,30),
                      main="Relation hauteur diamère en zone de
plantation" ,xlab="DBH", ylab="Hauteur"))
with(Plantation_2, points(x=Diam, y=Hauteur,col="red", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
with(Plantation_3, points(x=Diam, y=Hauteur,col="orange", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
legend(5, 30, legend=c("Placette_1", "Placette_2", "Placette_3"),
       col=c("blue", "red", "orange"), lty=1:1, cex=0.8)

#Graphique Hauteur diamètre en distingant les placettes en NR

with(NR_1, plot(x=Diam, y=Hauteur,col="blue",xlim=c(4,70),
ylim=c(1,30),
                main= "Relation hauteur diamètre en zone de
régénération naturelle", xlab="DBH", ylab="Hauteur"))
with(NR_2, points(x=Diam, y=Hauteur,col="red", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
with(NR_3, points(x=Diam, y=Hauteur,col="orange", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
legend(50, 10, legend=c("Placette_1", "Placette_2", "Placette_3"),
       col=c("blue", "red", "orange"), lty=1:1, cex=0.8)

#Graphique Hauteur diamètre en distingant les placettes en OG

with(OG_1, plot(x=Diam, y=Hauteur,col="blue",xlim=c(4,80),
ylim=c(1,60),
                main= "Relation hauteur diamètre en forêt primaire",
```

```
xlab="DBH", ylab="Hauteur"))
with(OG_2, points(x=Diam, y=Hauteur,col="red", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
with(OG_3, points(x=Diam, y=Hauteur,col="orange", xlab="DBH",
ylab="Hauteur"))
legend(60, 20, legend=c("Placette_1", "Placette_2", "Placette_3"),
       col=c("blue", "red", "orange"), lty=1:1, cex=0.8)

#Classe de diamètre
PL_Ordre = factor(Plantation$Classe.diam, c("Rege", "Perche", "PB",
"BM", "GB"))
plot(PL_Ordre, ylab="Nombre arbres", xlab="classe de diamètre",
     ylim= c(0,80), main="nombre arbres par classe de diamètre en zone
de plantation")
NR_Ordre = factor(NR$Classe.diam, c("Rege", "Perche", "PB", "BM",
"GB"))
plot(NR_Ordre, ylab="Nombre arbres", xlab="classe de diamètre",
     ylim= c(0,80), main="nombre arbres par classe de diamètre en zone
de
     régénération naturelle")
OG_Ordre = factor(OG$Classe.diam, c("Rege", "Perche", "PB", "BM",
"GB"))
plot(OG_Ordre, ylab="Nombre arbres", xlab="classe de diamètre",
     ylim=c(0,80), main="nombre arbres par classe de diamètre en forêt
primaire")

#Crown_class
plot(factor(Plantation$Crown.class, c("4","3","2","1")), ylab="nombre
arbres", xlab="classe de dominance", ylim= c(0,110),
     main="Classe de dominance en zone de plantation")
plot(factor(NR$Crown.class, c("4","3","2","1")), ylab="nombre arbres",
xlab="classe de dominance", ylim= c(0,110),
     main="Classe de dominance en zone de régénération naturelle")
plot(factor(OG$Crown.class, c("4","3","2","1")), ylab="nombre arbres",
xlab="classe de dominance", ylim= c(0,110),
     main="Classe de dominance en forêt primaire")

#Boite à moustache
a=boxplot(habitat$Diam~habitat$Type, main="Boite à moustache des
diamètres dans les deux zones d'études") #boite à moustache diam par
zone étude
b=boxplot(habitat$Hauteur~habitat$Type, main="Boite à moustache des
hauteurs dans les deux zones d'études") #boite à moustache hauteur par
zone étude
c=boxplot(habitat$Volume~habitat$Type, main="Boite à moustache des
volumes dans les deux zones d'études")
d=boxplot(canopee$Canopee~canopee$Type, main="Boite à moustache de la
fermeture de la canopée
          dans les deux zones d'études")
e=boxplot(densite$WSGr~densite$Type,  main="Boite à moustache des
densités dans les deux
          zones d'études")
f=boxplot(densite$Cagb~densite$Type,  main="Boite à moustache de
l'estimation du stockage de carbone
          dans les deux zones d'études")
```

```
#Valeur de la médiane [3] des boites à moustaches :
a$stats
b$stats
c$stats
d$stats
e$stats
f$stats

# test de normalité : test de Shapiro-Wilk
shapiro.test(habitat$Diam)
shapiro.test(habitat$Hauteur)
shapiro.test(habitat$Volume)
shapiro.test(canopee$Canopee)
shapiro.test(densite$WSGr)
shapiro.test(densite$Cagb)

#test kruskal Wallis
kruskal.test(Diam~Type, data=habitat)
kruskal.test(Hauteur~Type, data=habitat)
kruskal.test(Volume~Type, data=habitat)
kruskal.test(Canopee~Type, data=canopee)
kruskal.test(Cagb~Type, data=densite)
kruskal.test(Crown.class~Type, data=habitat)

# test de student
t.test(WSGr~Type, data=densite)
```