

# Etude des paramètres biotiques et abiotiques influençant le développement de 10 essences d'arbres guyanais. Essences choisies dans le cadre du remplacement des usages de l'*Acacia mangium*

Titouan BOSCUS - Coursus Ingénieur agronome ENSAIA

Période de stage : du 1er mai au 31 octobre 2023

Organismes d'accueil :

Groupe pour l'Etude et la Protection des Oiseaux en Guyane (GEPOG),

431 route Attila Cabassou, 97354 Rémire Montjoly





# Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction</b>   | <b>3</b>  |
| <b>A) Présentation et bibliographie des espèces sélectionnées</b>                         | <b>4</b>  |
| <b>B) Cartographie et tests statistiques</b>  | <b>6</b>  |
| <b>I - Le protocole</b>   | <b>6</b>  |
| <b>II - Tests statistiques</b>  | <b>7</b>  |
| a) Données brut   |           |
| b) Choix des tests  |           |
| c) Tests généraux sur les essences  |           |
| <b>C) Choix des paramètres abiotiques et expérimentation</b>                              | <b>9</b>  |
| <b>I - Impact du type de sol sur la croissance des arbrisseaux</b>                        | <b>9</b>  |
| a) Granulométrie et catégorie de sol  |           |
| b) Potentiel hydrogène (pH) de la solution du sol   |           |
| c) Teneur en nutriments   |           |
| d) Activité biologique des sols   |           |
| <b>II - Impact de l'environnement aérien sur la croissance des arbrisseaux</b>            | <b>14</b> |
| a) Température de l'air   |           |
| <b>III - Impact de l'environnement terrestre proche sur la croissance des arbrisseaux</b> | <b>16</b> |
| a) Formation végétale   |           |
| b) Ombre et temps d'ensoleillement quotidien  |           |
| <b>D) Remarques transversales</b>   | <b>19</b> |
| <b>Conclusion et discussions</b>  | <b>20</b> |
| <b>Bibliographie</b>  | <b>22</b> |

## Introduction

Les savanes de Guyane, vestiges de l'ère glaciaire, sont des milieux ouverts rares, localisés et très riches en biodiversité. Concentrés sur le littoral, ces milieux subissent de nombreuses pressions dont de nombreuses d'origine anthropique (parcelles agricoles, logements, etc). Importé d'Australie au XX<sup>ème</sup> siècle afin de reforester efficacement et rapidement les sites miniers, l'*Acacia mangium* s'est très vite implanté dans le paysage Guyanais et fait désormais partie des espèces exotiques envahissantes (EEE) à plus fort enjeux sur le territoire.

Cette EEE, très utilisée par les particuliers, prolifère dans les milieux ouverts, présentant alors de réelles menaces quant à la préservation des savanes Guyanaises.

Dans ce cadre-là, le projet Life Biodiv'Om, porté localement par le GEPOG a établi une liste de 10 essences locales d'arbres et arbustes afin de remplacer auprès des particuliers et professionnels, les usages de l'*Acacia mangium*.

Après avoir effectué des tests de germination et de cultures en pépinière via l'entreprise "Solicaz", 4500 plants de 8 espèces (2 espèces n'ayant pas pu être produites) ont été plantés sur des parcelles agricoles et municipales des communes d'Iracoubo et Sinnamary.

Ce rapport présente dans les grandes lignes, les expérimentations et réflexions ayant eu lieu autour de ces plants afin de déterminer les facteurs biotiques et abiotiques impliqués dans la croissance et le développement de ces 8 essences locales de remplacement des usages de l'*Acacia mangium*.

Un rapport plus complet est disponible sur demande à [association@gepog.org](mailto:association@gepog.org).



**Figure 1 : Savane du Gallion, Montsinéry-Tonnegrande, un habitat menacé par l'*Acacia Mangium*.**

## A) Présentation et bibliographie des espèces sélectionnées

- *Inga edulis* (ou pois sucré) est un arbre de la famille des fabacées (fixateur d'azote) pouvant atteindre une 20<sup>ème</sup> de mètres de haut. Il est utilisé pour son ombrage important, en tant que bois de chauffe, de construction ou encore pour ses qualités d'arbre fruitier (fruit et miel). Il est assez sensible à la sécheresse et préfère les sols irrigués. Dans des conditions optimales, il possède une croissance rapide. De nature très résistant aux ravageurs, il semble cependant assez sensible aux chenilles de lépidoptère ainsi qu'à divers insectes parasites [1]. Il peut également être utilisé dans la délimitation de parcelles, en Bois Raméal Fragmenté (BRF), etc.



- *Inga ingoides* (ou pois sucré) cousin de l'*Inga edulis* est un arbre de la famille des fabacées pouvant atteindre une 15<sup>ème</sup> de mètres de haut. Il est utilisé pour son ombrage important, en tant que bois de chauffe, de construction ou encore pour ses qualités d'arbre fruitier (fruit et miel). Bien qu'héliophile, il est plus sensible à la sécheresse que l'*Inga edulis* et préfère les sols très irrigués. Dans des conditions optimales, il possède une croissance rapide, légèrement inférieur à l'*Inga edulis*. De nature très résistant aux ravageurs, il semble cependant assez sensible aux chenilles de lépidoptère ainsi qu'à divers insectes et parasites [2].

- *Senna multijuga* est un arbre de la famille des fabacées pouvant atteindre une 15<sup>ème</sup> de mètres de haut. Utilisé principalement pour l'ornement et l'ombrage, le *Senna* nécessite une irrigation régulière et est relativement sensible aux ravageurs (scolyte, cochenilles, etc.). Le *Senna* possède une vitesse de croissance assez importante si les conditions de croissance sont réunies. Il peut également être intégré aux haies coupe-vue, coupe-vent et coupe-bruit.



- *Protium heptaphyllum* (bois encens) est un arbre à croissance lente qui peut atteindre une 10<sup>ème</sup> de mètres de haut. Il pousse préférentiellement sur des sols sableux avec une irrigation convenable. Il possède une grande longévité mais son ombrage est assez faible. Il peut être utilisé en tant que bois d'ouvrage mais ses usages premiers sont la production fruitière et la production de résine utilisée en encens par les Amérindiens. Il s'agit également d'une essence peu sensible aux ravageurs [3].



- *Spondias Mombin* (prunier mombin) est un arbre fruitier aux drupes très appréciées, assez massif et pouvant mesurer une 20<sup>ème</sup> de mètres de haut. Dans de bonnes conditions, il tolère assez bien la sécheresse. Il s'agit également d'une essence à croissance lente et peu sensible aux ravageurs [4].



- *Tapirira guianensis* est un arbre fruitier pouvant atteindre une 20<sup>ème</sup> de mètres de haut, au tronc assez fin et léger. Le *Tapirira* possède un bois aux très nombreuses propriétés médicinales. Également, son bois léger (bien que putrescible si non traité), est très maniable et peut être utilisé à de nombreux usages (planchers, artisanat, etc.). À noter également qu'il s'agit d'un très bon arbre mellifère. Il tolère, à condition de recevoir assez de lumière, la sécheresse et l'hydromorphie temporaire. D'après les tendances, le *Tapirira* se développera mieux sur un sol relativement sableux ou assez drainant [5] Il peut être utilisé à des usages de délimitation de parcelles ou encore comme ombrage de jardin.

- *Varronia curassavica* est un arbuste (2/3m) à croissance assez rapide. Utilisé pour l'ornement et pour son caractère mellifère, il possède une écorce très solide, utilisée par les pêcheurs Amérindiens pour réaliser leurs cordages. Cet arbre est également utilisé dans la lutte biologique contre les ravageurs de la canne à sucre ou encore pour ses propriétés médicinales. Un de ses points forts est le stockage de ces graines possible bien plus aisément que les autres essences étudiées [6].



- *Varronia schomburgkii* est un arbuste à la croissance lente. Comme le *Curassavica*, il préfère les sols sableux et le stockage de ses graines est bien maîtrisé. Très peu étudié il n'a été planté qu'en très petit effectif lors de l'étude. Il est surtout utilisé pour ses propriétés mellifères.

## B) Cartographie et tests statistiques

### I - Le protocole

La zone d'étude se trouve principalement sur la commune d'Iracoubo (*Figure 2*). Les deux parcelles agricoles utilisées (COQ et OTHILLY) ont été géoréférencées par GPS puis mises sur SIG (Qgis). On retrouve ces parcelles ci-dessous (*Figure 3*).

Suite à cela chaque arbre a également été géoréférencé puis importé sous SIG (*Figure 4*). La barre d'erreur du GPS étant de 3m lors de la prise de point, le résultat SIG conservent cette incertitude. Cependant, du fait de la précision moyenne des autres mesures prévues et des surfaces et distances d'études, cette incertitude de mesure n'apparaît pas significative pour le bon déroulement des expérimentations.

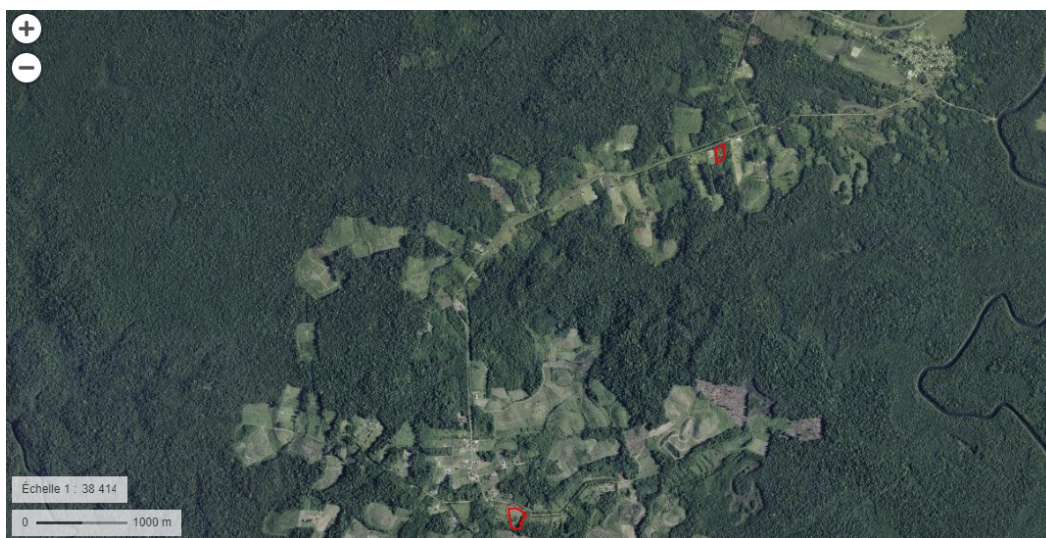
Les informations relatives aux plants (*Figure 5*) sont :

- L'identité du plant (parcelle, ligne, numéro) et son espèce.
- Le plant précédant (en cas de plantation suite à une mortalité).
- Les données issues des suivis (4) de l'entreprise "l'Agroforestière" (hauteur et quatre indicateurs de l'état sanitaire). Celles-ci sont insérées dans le même fichier afin de faciliter la balance SIG/R.



**Figure 2 : Commune d'Iracoubo, ouest Guyanais**

D'autre part une couche est créé pour chaque paramètre étudié avec un zonage en fonction des valeurs relevés. La dernière étape consiste à recouper ces deux couches et d'importer les informations relatives aux paramètres et aux arbrisseaux dans R pour réaliser les tests statistiques. Les arbrisseaux morts ne sont comptabilisés qu'en tant qu'espèce (leur hauteur et état pré-décès n'étant pas exploitables). En ce qui concerne l'échantillonnage, les milieux et zones de biotopes homogènes ont été repérés. Suite à ça, des zones d'échantillonnage ont été établies (9 pour COQ, 4 pour OTHILLY et 1 pour Sinnamary). Ces zones serviront aux tests d'activité biologique, de température, de luminosité, de nutriments et de type de sol.



**Figure 3 : Parcelle OTHILLY (haut) et COQ (bas) [Geoportail, Iracoubo, 2023]**

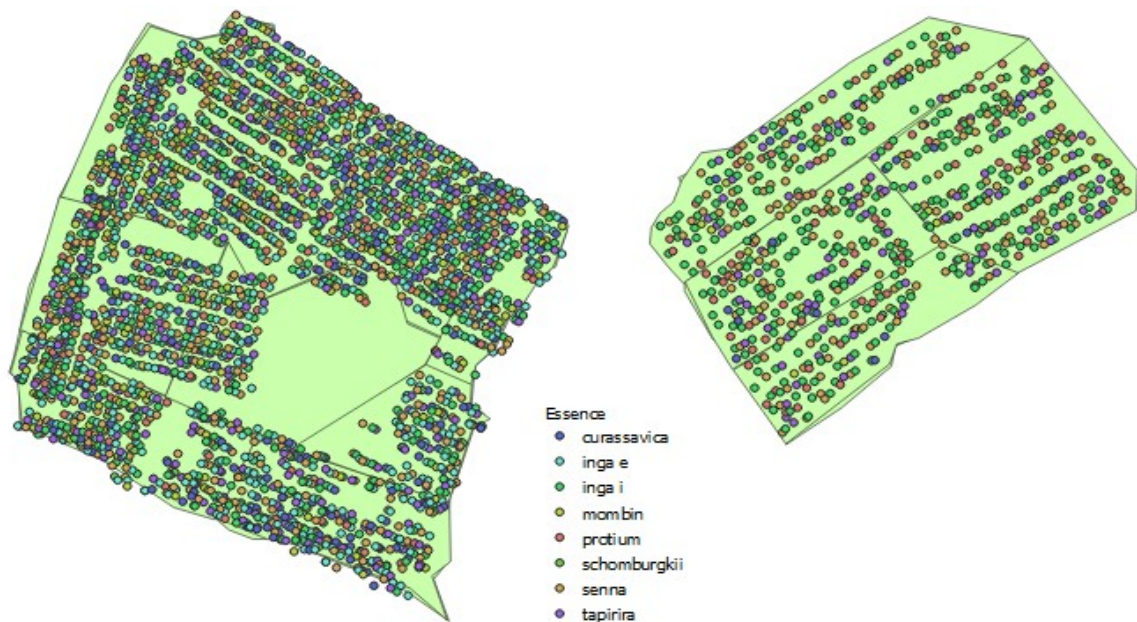


Figure 4 : Cartographie de la parcelle et des différents arbrisseaux sur Qgis

|     |   |     |        |             |          |    |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |
|-----|---|-----|--------|-------------|----------|----|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|
| OTH | D | D42 | OTHD42 | senna       |          | 90 | E | B | D | F | B | 200 | E | R | D | F | B |
| OTH | G | G1  | OTHG1  | curassavica | inga i   |    |   |   |   |   |   | 50  | E | E | D | F | B |
| OTH | G | G4  | OTHG4  | inga i      |          | 80 | D | E | C | C | D |     |   |   |   |   |   |
| OTH | G | G7  | OTHG7  | protium     | tapirira |    |   |   |   |   |   | 90  | E | E | C | C | D |
| OTH | G | G8  | OTHG8  | senna       |          | 35 | D | E | D | F | B | 80  | E | R | D | F | B |
| OTH | G | G9  | OTHG9  | tapirira    | inga i   |    |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |

Figure 5 : Table attributaire de la couche "Arbrisseaux\_Life" après le second suivi (juillet 2023)

## II - Tests statistiques

### a) Données brut

L'entreprise et pépinière "L'Agroforestière", a réalisé des suivis sur les parcelles et recueilli des données sur la hauteur des arbrisseaux et leurs état physiologique (équilibre hauteur/diamètre, densité de feuillage, couleur des feuilles, morphologie du tronc et état sanitaire général), à 4 période différentes (mars, juin, août et octobre 2023).

De ces données, ont été choisis l'étude des différents taux de croissances (suivi n°1 à 3 et suivi n°2 à 4) et d'observer l'impact des paramètres extérieurs sur ces derniers. Le choix a été fait d'étudier les hauteurs relevées lors du suivi n°3 pour comparer les individus d'une même essence entre eux, suivis le plus représentatif vis à vis des conditions de terrain et de l'avancée de la saison sèche.

En ce qui concerne les états des plants, on retrouve l'équilibre hauteur/diamètre (équilibré ou déséquilibré), la densité de feuillage (clairsemé ou dense), la couleur des feuilles (foncée, clair ou grillée), la morphologie du tronc (buissonnant, élancé, plagiotrope ou ramifié), et enfin l'état sanitaire du plant (bon, dépérissant, dépérissant mais en reprise ou mauvais).

Ces données sont analysées en tant que fréquence (tendance d'un milieu à favoriser tel ou tel état). Les tests ont été réalisés sur les 4 suivis pour analyser l'évolution d'un même groupe au fil des 4 suivis. Les données de vie ou de mort des individus suite à la première plantation ont été formatées et analysées de manière analogue afin de déterminer les paramètres favorisant ou non



l'implantation et le développement des arbrisseaux (taux de survie). Si la hauteur est prise en tant que telle, le taux de croissance est calculé au temps  $t = \text{suivi } n^{\circ}2$  ou  $\text{suivi } n^{\circ}3$ . Le suivi  $n^{\circ}2$  ayant été réalisé sur plusieurs semaines, chaque arbrisseau possède plusieurs dates (en semaines) des suivi réalisés (1, 26, 31 et 38). À partir de ces informations, on utilise le "relative growth rate" ou taux de croissance relatif [7] afin de caractériser la croissance de l'arbrisseau lors de la phase exponentielle (i.e la première phase de croissance chez les végétaux).

D'après Blackman [7], ce taux de croissance ( $r$ ) se détermine via l'équation ci-dessous :

$$H(t_2) = H(t_1)e^{r\Delta t} \iff r = [\ln(H(t_2)) - \ln(H(t_1))] / \Delta t$$

Avec  $H(t)$  la hauteur du plant au temps  $t$ .

Les unités usuelles de  $r$  sont des  $s^{-1}$  (i.e par semaines)

### b) Choix des tests

Tous les tests sont réalisés avec le logiciel Rstudio (i.e R). Les fichiers d'entrée sont des tableaux Excel convertis au format texte (.csv). Dans l'analyse des hauteurs et taux de croissance, les manipulations préliminaires consistent à filtrer les valeurs (hauteurs aberrantes, absence de données, etc.), importer les tableaux remaniés dans R et réaliser les statistiques descriptives de base (moyenne et écart type). Il faut ensuite vérifier les conditions nécessaires à la validité du Test ANOVA à deux facteur (indépendance des résidus, normalité des résidus avec le test de Shapiro, homogénéité des variances avec le test de Levène et correction de Bonferroni).

Afin d'expliquer les taux de mortalité et les différences d'état sanitaire, le calcul des proportions puis un test de KHI2 et de Fisher (moins puissant mais représentatifs pour les petits effectifs comme les *Mombin*) permet alors d'expliquer les paramètres favorisant ou non l'implantation des arbrisseaux lors de la plantation.

### c) Tests généraux sur les essences

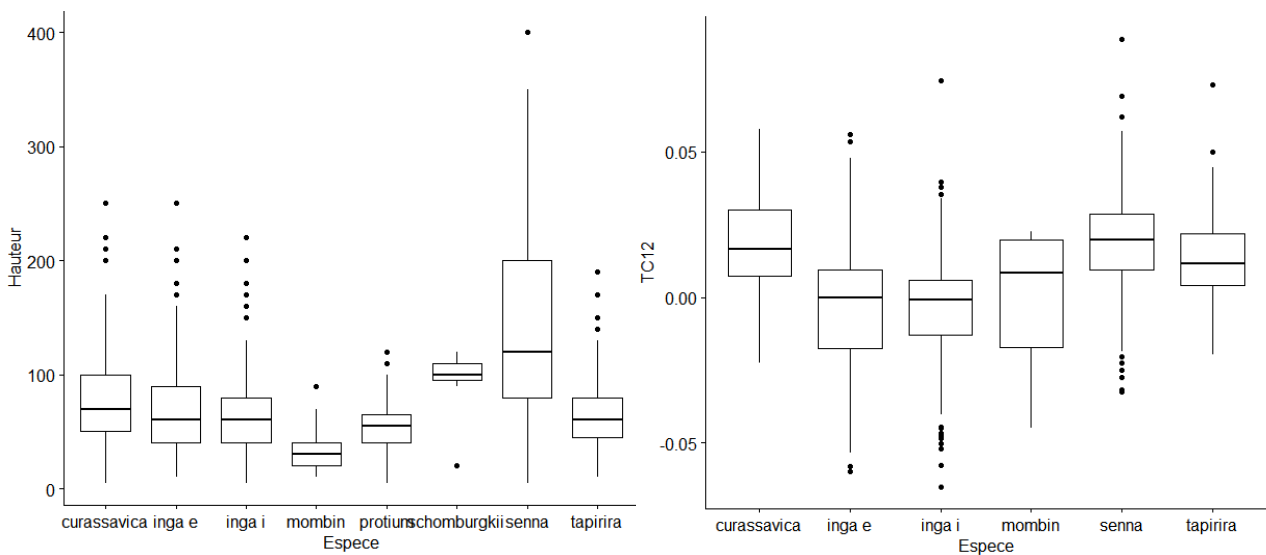


Figure 6 : Hauteurs au suivi  $n^{\circ}3$  et taux de croissance entre les suivis  $n^{\circ}1$  et  $n^{\circ}3$  en fonction de l'essence



Dans un premier temps, sans regarder les paramètres, on remarque que les deux *Varronia* (*Curassavica* et *Schomburgkii*) arrivent vite à maturité, certains atteignant déjà la taille adulte en a peine plus d'un an. Parmi les croissances rapides, le cas du *Senna* est également intéressant avec des hauteurs de près d'1/4 sur cette même durée. Viennent ensuite les *Inga* et les *Tapirira*, en moyenne proches du mètre au même âge. L'arbre adulte de 15/20m arrivera donc sur un temps bien plus long. Si l'on considère les taux de croissances, on remarque que les taux de croissance moyen sont assez proches avec une grande variation due aux différents milieux. Cependant la tendance des *Inga* à faire rapidement des descentes de cimes en cas de stress vis à vis d'un paramètre est un fait assez marqué. Parmi nos essences, le *Senna* se démarque ici encore pour son taux de croissance toujours très bon. Durant la saison sèche, résultats sont unanimes avec un arrêt global de la croissance chez toutes les essences.

Enfin on remarque une très bonne résistance à la plantation avec des taux de survie très élevés pour les *Senna*, *Inga* et *Curassavica* contrairement aux *Tapirira* et *Mombin*, bien plus délicats (*Figure 6*).

### **C) Choix des paramètres abiotiques et expérimentation**

Les paramètres ont été choisis dans l'optique de la réalisation d'un guide d'appui accessible aux particuliers. Certains paramètres n'ont donc pas été testés bien qu'envisagés car peu accessibles et non déterminants dans le choix. Certains paramètres dont les tests sont complexes à mettre en place (taux de Phosphore notamment) ont toutefois été testés car importants dans la bibliographie. Les résultats non significatifs n'ont pas été retenus dans les fiches espèces.

## **I - Impact du type de sol sur la croissance des arbrisseaux**

### *a) Granulométrie et catégorie de sol*

La granulométrie d'un sol et les caractéristiques géologique de celui-ci sont des éléments clef dans la croissance des végétaux. Un sol se classe usuellement dans 4 catégories distinctes :

- Les textures sableuses ( $D > 0,05\text{mm}$ ) sol bien aéré, facile à travailler, très drainant, pauvre en réserve d'eau, pauvre en éléments nutritifs.
- Les textures limoneuses ( $0,05\text{mm} > D > 2\mu\text{m}$ ), sol généralement bien structuré présentant un bon drainage et une capacité de stockage en eau moyenne. L'excès de limon accompagné d'une insuffisance d'argile, d'humus et de calcium peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques.
- Les textures argileuses ( $2\mu\text{m} > D$ ), sol chimiquement riche, mais aux piètres propriétés physiques qui induisent un milieu peu perméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines.
- Les textures équilibrées, elles correspondent à l'optimum, dans la mesure où elles présentent la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts. [8]

Comme le montre la carte géologique ainsi que les études de terrain, la géologie est très différente entre les parcelles [9].

Protocole :

- Échantillonnage des horizons de surface sur les parcelles.
- Caractérisation (granulométrie, pourcentage d'argiles, etc.) des échantillons.
- Synthèse cartographique des sols dans les parcelles.
- Placer pour chaque échantillon 0,75L de terre dans une bouteille en verre d'1L aux bords réguliers (i.e droit) et mélanger ensuite avec 0,25L d'eau (*Figure 7*).
- Désagréger la terre de telle sorte que les particules se trient par gravité.
- Les bouteilles sont ensuite étiquetées et mises à décanter 24h.
- Mesurer les différents horizons puis calculer les taux d'argiles et de sables pour déterminer la nature du sol.

Résultats :

Après synthèse des résultats on peut distinguer 5 sols différents. Des sols de sable blanc (OTHILLY), de sable rouge, limono-sableux et limoneux demi-fin (COQ) et un sol limono-argileux à Sinnamary

De manière générale, le type de sol n'exerce pas une influence majeure sur la hauteur des plants, on remarque cependant que les sols mixtes (limono-sableux) plaisent d'avantage aux *Senna* et *Curassavica*. Pour ces derniers la composante sableuse semble attrayante en saison humide mais ils préfèrent de nouveau les sols plus argileux en saison sèche. On peut en déduire que ces essences couvrent un spectre plus large que les autres tant que le sol n'est pas desséché.

Pour les taux de croissance, la tendance est identique pour les *Inga* qui subissent plus de descentes de cimes sur les sols trop argileux (anoxiques en saison des pluies et très compact en saison sèche).

En ce qui concerne l'état sanitaire des arbrisseaux, les *Inga* sont buissonnants avec un beau feuillage sur les sols argileux mais plus élancés avec un feuillage moins dense et foncé sur un sol sableux. Ces deux espèces sont donc relativement tolérantes quant au type de sol sur lequel elles sont plantées avec une préférence pour les sols limono-sableux.

En ce qui concerne les *Varronia*, l'hypothèse faite aux vues des hauteurs est confirmée ici avec un attrait particulier des sols limono-sableux avec une belle fraction sableuse. Au regard de l'évolution entre les suivis n°2 et n°3, il semble qu'un sol sableux trop sec devient cependant vite inhospitalier pour ces deux espèces.

Les *Mombin*, dont le taux de survie a été très bas, ne sont pas assez nombreux pour obtenir des résultats significatifs. Si l'on passe outre les valeurs de P, une appétence pour les sols mixtes peut être suggérée.

Le *Senna*, comme remarqué avec les hauteurs, opte pour un spectre de sol assez large avec un optimum sur les sols mixtes à tendance sableuse comme les *Varronia*.

Les résultats pour les *Tapirira* et *Protium* sont plus serrés, et il n'apparaît pas de réelle tendance fiable.

Enfin, toutes ces essences possèdent des meilleurs taux de survie dans les sols pouvant stocker de l'eau de manière durable excepté le *Senna* qui semble résister un peu plus aux sols secs.





*Figure 7 : Échantillons de sol des différentes placettes des deux parcelles*

*b) Potentiel hydrogène (pH) de la solution du sol*

Le potentiel hydrogène (ou pH) du sol est un paramètre important dans le développement des végétaux. En effet, le pH et donc les flux de protons entre la plante et la solution du sol, gouverne la biodisponibilité des nutriments (le pH influence notamment leurs solubilité) comme le Phosphore (P), le Potassium (K) ou l'Azote (N) [12].

Ces non-disponibilités peuvent aboutir à des carences, à l'origine de maladies telle que la chlorose. Le pH du sol est lié directement à la géologie et la teneur en matière organique (Mo) de celui.

Les Parcelles de COQ, d'OTHILLY et de Sinnamary se retrouvent sur des couches géologiques bien distinctes, leurs pH est donc vraisemblablement un paramètre à étudier.

Protocole :

- Mélanger les échantillons de sols dans de l'eau Volvic® à pH = 7, en proportion volumique (75% terre et 25% eau).
- Prendre les valeurs pH à l'aide d'un pH-mètre de poche, calibré avec cette même eau Volvic® à pH = 7.
- Découper les parcelles par zones semblables \*
- Découper le spectre des valeurs pH obtenu en 3 (bas, moyen et haut).

\*Ici, on fait le postulat que le pH est le même sur la zone échantillonnage et que les limites sont précises. Il s'agit là de deux biais très importants à prendre en compte à la lecture des résultats.

La proportion Sol/Eau influençant les valeurs du pH, ces données sont uniquement qualitatives (protocole identique pour les différents sols). Bien qu'un peu technique, les particuliers n'ayant pas spécialement le matériel ni les compétences pour utiliser une sonde pourront aisément estimer le pH de leurs sols à l'aide de bandes aquariophile (disponibles en jardinerie et animalerie).

## Résultats :

Tout d'abord, on remarque un impact très fort du pH du sol sur la hauteur des *Curassavica* qui va préférer les sols peu acides. De manière analogue, les *Inga* et *Tapirira* préfèrent les sols les moins acides mais la différence de hauteur reste faible. Entre les deux on retrouve le *Senna* qui n'apprécie pas les zones de faibles pH mais dont la hauteur pour des pH plus élevés ne semble plus dépendre de celui-ci. Enfin, on ne remarque pas d'effet pour les *Protium*.

Ces tendances se retrouvent sur les taux de croissances où les *Curassavica* ont une croissance nettement plus importante pour des pH relativement élevés. Il faudra donc étudier la dynamique des ions  $H^+$  sur la parcelle pour trouver les zones à plus forts pH, notamment en bas de pente pour les sols drainants. On remarque là encore un léger avantage des plants d'*Inga ingoides* (et *Inga edulis* entre le suivi n°1 et n°3) et de *Senna* sur les zones à pH plus élevés.

En ce qui concerne l'état sanitaire des arbrisseaux, la tendance reste globalement de prioriser les sols les moins acides. Si l'on analyse plus finement, l'*Inga edulis* est moins sensible que l'*Inga ingoides* aux sols acides. Le *Tapirira* est assez difficile et aura un état nettement meilleur sur les pH haut, ce qui n'est pas le cas pour les *Protium*, *Senna* et *Varronia*, plus tolérants vis à vis de ce paramètre. Également, la quantité de *Mombin* ne permet pas de conclure pour cette espèce. Enfin, il ne semble pas y avoir un lien réel entre taux de survie à la plantation et pH du sol.

### c) Teneur en nutriments

Le facteur déterminant de la croissance des végétaux, permettant de construire la biomasse de l'arbrisseau, est la richesse en nutriment du sol. En effet les végétaux, autotrophe pour le carbone, restent hétérotrophe pour bon nombre d'éléments clefs. Bien que leur disponibilité soit dépendante des autres facteurs ciblés précédemment, quantifier certains éléments clef permet de rendre compte de la richesse relative des sols [13].

Le stockage de Carbone organique dans le premier horizon du sol, semble par exemple lié par une corrélation négative à la granulométrie du sol [14].

### Étude de la Teneur en nitrate de la solution du sol

Les nitrates sont les sources d'Azote pour les végétaux hétérotrophe. Via plusieurs réactions, ces molécules sont transformées en ammonium avant d'être utilisées dans la synthèse des acides aminés. En plus d'être un nutriment essentiel, il s'agit d'une molécule signal ayant un rôle dans la croissance des racines [15]. L'avantage de ce paramètre est qu'il est facilement quantifiable. On peut utiliser les tests colorimétriques utilisés pour l'aquariophilie disponibles en jardinerie. L'avantage réside dans la simplicité de mise en œuvre de ces tests par les particuliers. Pour l'étude, et dans un but de résultats plus précis, des tests par spectrophotométrie ont été réalisés par l'entreprise "Solicaz".

#### Protocole :

- Récolter un jeu de 14 échantillons (environ 1Kg) de sols issu des 20 premiers centimètres du profil (horizons de surface) et les placer dans une boîte hermétique.
- Sécher à l'air climatisé (25°C) durant 4 jours avant de les stocker au réfrigérateur (4°C).
- Classer les données issues des tests par zones semblables.
- Découper le spectre des valeurs qui s'étend de 25,2 à 80mg.Kg<sup>-1</sup> en 3 parties :  
Les zones de faibles ( $NO_3 < 30mg.Kg^{-1}$ ), moyennes ( $30 < NO_3 < 60mg.Kg^{-1}$ ) et fortes ( $NO_3 > 60mg.Kg^{-1}$ ) teneurs en nitrates.



## Résultats :

Parmi les 8 essences de l'étude, 3 sont autotrophe à l'Azote (fabacées), de telle sorte, la richesse du sol en Azote n'est pas un élément important dans la croissance des deux *Inga*. Ce constat est à nuancer lors de stress sur d'autres paramètres, en effet les *Inga* des sols les plus riches en Azote souffriront moins de décentes de cimes que leurs congénères. À l'inverse, le *Senna*, 3ème Fabacée de l'étude est très sensible au taux d'Azote du sol. Bien qu'ils soient assez haut dans les sols pauvres, ils possèdent un potentiel de croissance qui augmente fortement avec la teneur en Azote du sol. Les deux *Varronia* et le *Tapirira* ont un besoin en Azote assez important, il semble y avoir un palier (aux environs de  $60\text{mg.Kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3$ ) au-delà duquel leur croissance est décuplée. Enfin le *Protium* semble être assez tolérant vis à vis du stress azoté.

Sans parler de hauteurs et de vitesses de croissance, il est évident et mis en lumière plus bas que la teneur en Azote du sol est corrélée positivement à un bon état foliaire et sanitaire. De plus les *Varronia* semblent ne ramifier que dans les zones au-dessus du seuil indiqué ci-dessus, ces espèces bien qu'assez généralistes sur le biotope et la physique du sol sont donc assez exigeantes sur la chimie du sol. Vis à vis du taux de survie, en fonction de la teneur du sol en Azote, il ne semble pas que ces paramètres soient réellement corrélés.

## Étude de la disponibilité du Phosphore

Le Phosphore est un élément clef dans la croissance des végétaux, nécessaire à la synthèse des acides aminés et protéines, des nucléotides, etc. Cependant, cet élément se fait de plus en plus rare et sa biodisponibilité varie de manière importante vis à vis des paramètres du milieu. Il apparaît alors que le Phosphore est un des nutriments les plus limitants dans la croissance de la biomasse forestière [16]. Ici aussi, le jeu de terre récolté pour les tests d'Azote a été utilisé pour quantifier les teneurs en Phosphore des échantillons. Ces tests ont été englobés dans la même prestation "Solicaz" que les tests pour l'Azote.

### Protocole :

- Récolter un jeu de 14 échantillons (environ 1Kg) de sols issu des 20 premiers centimètres du profil (horizons de surface) et les placer dans une boîte hermétique.
- Sécher à l'air climatisé ( $25^{\circ}\text{C}$ ) durant 4 jours avant de les stocker au réfrigérateur ( $4^{\circ}\text{C}$ ).
- Classer les données issues des tests par zones semblables.
- Découper le spectre en deux types de zones ( $t > 10\text{mg.Kg}^{-1}$  et  $10\text{mg.Kg}^{-1} > t$ )\*

\*Les sols de l'étude étant de nature très pauvre en Phosphore, il a été compliqué de véritablement scinder les résultats.

## Résultats :

Dans l'ensemble, on retrouve les arbres les plus haut, au meilleur état sanitaire et au taux de croissance le plus fort dans les zones à plus forte concentration de Phosphore. Bien que la différence soit souvent faible (*Inga*, *Protium* et *Mombin*), les *Tapirira*, *Varronia* et plus spécialement le *Senna*, un peu à l'instar de l'Azote, répondent très favorablement aux zones les plus riches en Phosphore (Hauteur, taux de croissance ainsi que taux de ramification) sans pour autant être rachitique dans les zones pauvres en Phosphore. Il s'agit donc d'essences sur lesquels la main de l'Homme peut aisément permettre une augmentation de la croissance par l'ajout d'un amendement. Le *Senna* est la seule espèce où le taux de survie semble être impactée par la teneur en Phosphore du sol.

#### d) *Activité biologique des sols*

Un sol actif biologiquement permet de rendre les nutriments disponibles, et donc d'augmenter les prélèvements par la plante (notamment le phosphore via les turricules de lombric [17]). Les organismes ont également un rôle de structuration du sol (décompaction, oxygénation, drainage et hydratation, etc.) [18].

##### Protocole :

- Récupérer des slips 100% coton (avec un élastique pour le retrouver).
- Les enterrer durant 3 mois (15 juin au 15 septembre pour l'expérience) dans une zone reconnaissable.
- Étudier qualitativement le spectre de dégradation (*Figure 8*) et qualifier la dégradation de cette matière organique.

##### Résultats :

Après avoir effectué les tests statistiques nos résultats ne semblent pas probant, en effet, tous les résultats vont à l'encontre de toutes les études scientifiques consultées en bibliographie. Ces résultats pourraient en partie s'expliquer de la manière suivante. Il est remarqué que les zones à forte activité biologique sont les sols aérés et dans notre zone d'étude les zones sableuses. Les parties à haute activité biologique recourent donc les zones de sables et les parties à faible activité les zones argileuses. Les résultats obtenus sont donc trait pour trait l'inverse de ceux obtenus sur les tests de granulométrie. L'hypothèse qui vient alors est que l'impact de l'activité biologique du sol en milieu tropical est négligeable devant l'impact de d'autres paramètres (granulométrie, hygrométrie, etc.).



*Figure 8 : Slip en coton plus ou moins dégradés après 3 mois enterrés*

## **II - Impact de l'environnement aérien sur la croissance des arbrisseaux**

### *a) Température de l'air*

La température est un paramètre abiotique présent dans la cinétique de toutes les réactions du vivant. Dans le cas des végétaux, les épisodes de sécheresse et la hausse excessive des températures de l'air (stress thermique) bouleverse l'homéostasie cellulaire (en ayant des effets sur la composition, les concentrations et la structure des différents composants de la cellule) [19], augmente la respiration cellulaire, réduit la conductance stomatique (flux de CO<sub>2</sub> à travers les



stomates) et donc réduit la photosynthèse [20]. Cependant, sans parler des extrêmes, chaque essence d'arbre possède une température optimum, à laquelle elle peut pleinement se développer [21]. L'avantage certain de ce paramètre est sa simplicité de mise en place.

#### Protocole :

- Se munir de capteurs de température et luminosité (ici hobo®) et les placer sur des piquets à 1 mètre du sol.
- Quadriller la parcelle en zone relativement homogène.
- Effectuer des relevés réguliers (toutes les minutes sur plusieurs journées).
- Dresser un bilan de l'évolution des températures sur les différentes zones des parcelles.

#### Résultats :

Après avoir récupéré les données terrain, on remarque 3 tendances d'évolution de la température journalière. Tout d'abord des profils réguliers où la température croît et décroît de manière régulière pour atteindre un maximum vers 12h/14h, ce profil est appelé "Cloche" dans les expérimentations. Le second profil correspond à des températures qui vont croître et décroître plus rapidement sur une plage horaire plus courte. Ces derniers peuvent être regroupés en deux entités, les "Pics importants" et les "Pics modérés". Ces 3 groupes s'observent sur la figure ci-dessous (Figure 9).

Dans un premier temps, les zones de pics (important et modéré) ne présentent pas ou peu (*Senna*) de différences entre elles et les zones de cloches sont toujours moins propices à la croissance des arbrisseaux que celles-ci. Cette différence est très marquée chez les *Senna* et les *Curassavica* mais notable pour toutes les essences ou presque, le *Tapirira* est la seule essence où la croissance ne semble pas être impactée par le profil de température. On en déduit alors que des hautes températures ne posent pas de problème à nos essences. Ces profils dépendent de la présence de formations végétales hautes dans un périmètre proche (pas ou peu de mouvements d'air), cela permet donc de cerner les espèces pour lesquels la présence de végétation annexe sera avantageuse. À noter cependant qu'un *Senna* ou un *Curassavica* (planté en plateau et donc avec un profil de température en cloche, conserve un taux de croissance supérieur aux autres essences à l'optimum. Ces essences peuvent donc être intéressantes pour les zones sans grande végétation environnante (Zonage agricole, ombrage).

Avec l'analyse des états sanitaires, on note les mêmes conclusions que pour les taux de croissance et de hauteur.

Enfin, il est à souligner qu'en plus des espèces rustiques que sont les *Curassavica*, *Senna* et *Tapirira*, les *Inga* ne subissent pas une plus forte mortalité en plateau, il s'agit de l'avantage des descentes de cimes qui permet à l'arbrisseau d'attendre le retour de conditions plus favorables.

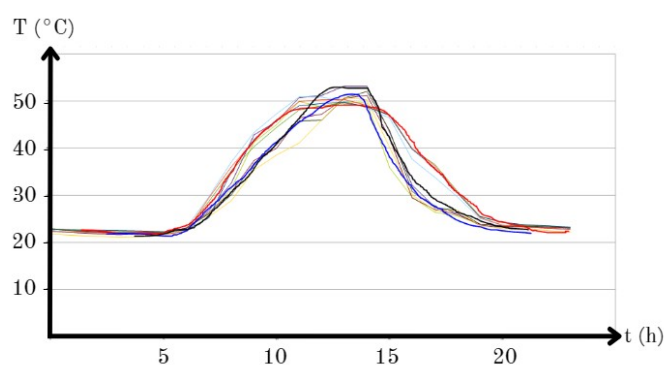


Figure 9 : Evolution des températures sur une journée moyenne de la parcelle COQ, données brutes ainsi que les différents profils [Cloche (rouge), Pic important (noir) et modéré (bleu)]

### III - Impact de l'environnement terrestre proche sur la croissance des arbrisseaux

#### a) Formation végétale

Au sein des parcelles, de nombreuses formations végétales annexes (forêt voisine, andain, graminées, etc.) cohabitent avec les plants du projet. Ces végétaux ont des impacts divers sur les plantations : ombre, apport de matière organique, compétition pour la lumière et les nutriments, protection des parasites, etc.

#### Effet de la lisière forestière et de la lisière des andains :

Bien que l'influence de la lisière forestière aille de pair avec l'ombrage, il s'avère intéressant d'étudier les arbres à proximité directe de la forêt (COQ notamment), l'effet lisière aboutissant à un écotone spécifique pour ces arbrisseaux. Le taux de matière organique des sols de lisière étant plus importants qu'ailleurs sur les parcelles, ce paramètre pourra également expliquer certains résultats.

#### Protocole :

- Définir via une géolocalisation Qfield les limites de l'écotone des lisières forestière, les zones jouxtant les andains et les gros arbres déjà présents (un tampon à 3m et un autre à 10m) et les zones non impactées
- Étudier les différences entre les groupes.

#### Résultats :

Aux premiers abords, une corrélation directe entre la taille des *Curassavica* et des *Senna* et la zone de plantation apparaît, mais non avec leur état sanitaire (cela peut s'expliquer par le fait que ce soient les essences les plus tolérantes de manière générale). On en déduit tout de même que ces espèces apprécient grandement les hautes végétations environnantes. Chez les *Inga* cette corrélation est moins flagrante quoi que significative. Quant au *Tapirira*, ils seront légèrement plus grands en lisière ou dans les 3 mètres suivants. Contrairement aux attentes les taux de croissances ne sont pas si significatifs. On remarque des descentes de cimes moins fréquentes dans les 3 premiers mètres des zones de hautes végétations pour les *Inga*.

Vis à vis de l'état sanitaire, les conclusions sont les mêmes que pour les différences de hauteurs. Il semble que le *Protium* soit assez tolérant. Information intéressante pour les *Mombin* et *Schomburgkii*, il semble qu'ils soient plus élancés et en meilleure santé dans les zones de clairières protégées par des andains qu'en lisière ou en clairière non protégée.

Les taux de survie sont non significatifs pour toutes les essences, exceptés pour l'*Inga ingoides* qui préfère ici encore les zones à moins de 3 mètres des lisières.

#### Effet des végétaux "adventice" :

La végétation présente entre les plants à son importance, en effet, cette compétition peut permettre un meilleur développement racinaire et une meilleure assimilation des nutriments du sol. Ces adventices (i.e mauvaises herbes) qui agissent comme cocultures pourraient également garder l'humidité de l'air et conférer un grand avantage aux arbrisseaux en saison sèche. À l'opposé, les végétations hautes peuvent aussi être néfaste pour les arbrisseaux. En effet, en manque de lumière, ils se pourraient que ces derniers mobilisent toute leur énergie afin de grandir rapidement et deviennent plus vulnérable à la sécheresse ou aux ravageurs [22]. Sur les parcelles, outre les zones "GEPOG" avec des adventices naturels, les autres zones ont été plantés avec des *Desmodium*, un genre appartenant aux fabacées (fixatrice d'azote). On retrouve également de nombreuses espèces

naturelles comme les sensibles (*Mimosa pudica*), adventices de grande taille de la famille des fabacées également.

Protocole :

- Catégoriser et cartographier les différentes cocultures présentes dans les parcelles (adventices divers bas, *Desmodium adscendens* bas, *Mimosa pudica* (sensitives) et *Desmodium* haut) sur Qgis.
- Réaliser une synthèse cartographique de l'ensemble des données\*.

\*À noter que la diversité des assolements rend difficile la cartographie précise et donc ajoute un biais très important sur les résultats.

Résultats :

Chez toutes les essences, les plus grands individus se retrouvent dans les zones de *Mimosa* (basse à hautes), on retient donc que les arbrisseaux de l'étude nécessitent une formation végétale adventice d'au moins 50/70cm autour des plants afin d'optimiser leur croissance.

Au niveau des essences, on remarque des espèces plus sensibles à la présence de ces cocultures.

On retrouve notamment les *Curassavica* et les *Senna*. Au contraire des essences tel que le *Protium* semblent moins sensibles à l'absence de cocultures hautes à proximité.

On remarque également qu'aucune espèce ne préfère les zones de cocultures rases. Comme pour la hauteur, on remarque pour les taux de croissance une tendance globale assez nette qui favorise les zones de *Mimosa* basses à hautes. Ces adventices ont un fort potentiel dans la conservation de l'humidité de l'air et du sol ainsi que dans la protection contre les rayons solaires. On note également que l'effet d'enrichissement du sol par la plantation de *Desmodium* n'est pas notable par rapport à l'enrichissement naturel par les *Mimosa* (fabacées également). On peut donc ici recommander de planter des cocultures hautes et denses afin de favoriser une vitesse de croissance importante.

Si l'on regarde plus en détail pour chaque espèce, on remarque que ces conclusions sont unanimes. Dans le cas d'adventices ras (*Desmodium* ou diverses herbacées), on remarque également que les *Senna* et *Tapirira* présentent une vitesse de croissance plus importante que les autres, autrement dit, les plantes nécessitant prioritairement une coculture adventice haute seront les *Inga* et les *Varonia*. Etant donné les conditions expérimentales, nous n'avons pas de données pour les *Mombin* et les *Protium*. Enfin, au sein de chaque parcelle, les taux de mortalité sont similaires, on peut donc en déduire que les cocultures n'ont pas une influence principale sur le taux de survie des arbrisseaux.

Attention cependant à ces conclusions car la hauteur et nature des co-cultures dépendent elles aussi des paramètres abiotiques du milieu, l'effet réel de ces co-cultures est alors probablement plus faible que celui notifié précédemment.

*b) Ombre et temps d'ensoleillement quotidien*

La lumière est un facteur clef de la production de biomasse et donc de la croissance des végétaux. La photosynthèse dépendant de la réception des photons solaires, le temps et l'intensité d'ensoleillement est un paramètre crucial à prendre en compte. Sur ce point, les formations végétales évoquées ci-dessus ont un grand rôle, en effet une forêt voisine des plantations peut diminuer de moitié les rayonnements solaires reçus par rapport à la même plantation sans voisinage [23].

En plus des facteurs biotiques tels que les ramages des arbres environnants, des facteurs abiotiques jouent un rôle très important dans le temps quotidien d'ensoleillement.



### Durée d'ensoleillement :

#### Protocole :

- Cartographie des zones d'ombres sur Qfield toutes les heures entre 7h et 18h sur une journée.
- Attribution d'une valeur comprise entre 0 et 11, correspondant aux nombres d'heures d'ensoleillement reçues, pour chaque arbrisseau.
- Spectre est divisé en 3 (0/4h, 5/8h et 9/11h) et tests statistiques.

#### Résultats :

On observe un impact de la durée quotidienne d'ensoleillement sur les hauteurs des *Curassavica*, *Inga edulis* et *Senna*. En effet, le *Senna* pousse mieux dans les zones de faible à moyenne durée d'ensoleillement (à nuancer avec les grands *Senna* présents en zone éclairés), on retrouve un optimum entre 6 et 8h d'ensoleillement chez l'*Inga edulis* et le *Curassavica*. Les autres essences ne présentent pas de différences de hauteurs significatives selon les durées quotidiennes d'éclairage. Dans l'ensemble un plant peu ensoleillé sera plus élancé, ramifié avec un bon état foliaire et inversement. Parmi les nouvelles données fournies par l'état sanitaire on remarque que l'*Inga edulis* est plus héliophile que l'*Inga ingoides* et que les *Protium* ainsi que les *Tapirira* sont les plus héliophiles (entre 7 et 8h).

Ce paramètre est donc assez peu important, en témoigne notamment l'absence d'impact du temps d'ensoleillement sur le taux de survie des arbrisseaux.

### Intensité d'ensoleillement :

#### Protocole :

- Caractériser avec une valeur LUX\* (intensité lumineuse reçue par unité de surface en  $\text{lumen.m}^{-2}$ ) chaque minute durant plusieurs jours, chaque zone d'échantillonnage avec de capteurs spécifiques (Hobo® ici).
- Faire une synthèse quotidienne des données relevées sur plusieurs jours.
- Regrouper les arbrisseaux en 3 zones de luminosité équivalente (Faible, moyen, haut) (Figure 10).

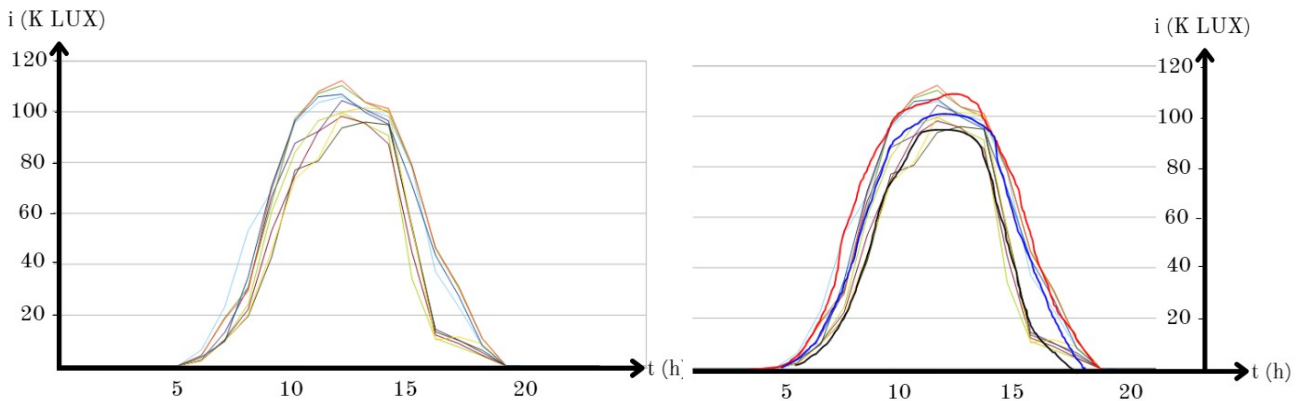
\*Cette valeur LUX peut être à posteriori convertie en valeur PAR (Photosynthetically Active Radiation) agronomiquement interprétables, valeur qui caractérise le flux de photons reçu par unité de surface et de temps.

#### Résultats :

De manière générale les arbrisseaux vont être plus hauts dans les zones recevant les intensités lumineuses les plus faibles. Cette règle ne semble pas affecter les *Protium* et *Tapirira* qui atteignent des tailles similaires dans les zones "faible" et "moyenne" ce qui confirme les hypothèses sur ces espèces plus héliophiles.

En cas de très bonnes conditions sur les autres paramètres (hautes cocultures, etc.), on observe cependant de très beaux arbrisseaux dans les zones à forts rayonnements lumineux comme chez les *Senna*. Constat similaire pour les taux de croissance où les essences préfèrent globalement des intensités lumineuses basses. On remarque en effet que chez les *Inga*, les descentes de cimes se font plus nombreuses à haute intensité avec une tolérance plus forte pour l'*Inga edulis* plus héliophile que l'*Inga ingoides*. Enfin le taux de croissance

des *Curassavica* et des *Tapirira* n'est que faiblement impacté par la hausse de l'intensité lumineuse tandis que celui des *Senna* reste plus haut que les autres essences.



**Figure 10 : Evolution de la luminosité (LUX) quotidienne (données brutes) à droite et différents profils retenus [bas (noir), moyen (bleu), haut (rouge)] à gauche**

#### **D) Remarques transversales**

Tous ces paramètres, bien que non exhaustifs, permettent une vue d'ensemble et recourent toutes les conditions abiotiques et biotiques pouvant expliquer les différences de croissance intra et interspécifiques. Comme souvent dans le vivant, ces paramètres sont infiniment liés et l'étude d'un seul paramètre isolé est impossible sur le terrain. Le couplage des études en fin de projet a alors pour but de caractériser la croissance des arbrisseaux par type de milieux. Les paramètres comme le taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique, la profondeur du sol, l'hygrométrie de l'air et la température du sol ont été évoqués mais non choisis pour les expérimentations car peu pertinent.

## Conclusion et discussions

Ces espèces sont des espèces très fortement forestière ayant des besoins relativement proches. À partir de ce constat, il paraît complexe de sortir des informations sur leurs biologie sans les discriminer entre elles. De cette manière il est préférable de se focaliser dans un premier temps sur les spectres de tolérance plus ou moins large des essences. Ainsi il est aisé de mettre en évidence des espèces tolérantes (*Senna*) et d'autres beaucoup moins (*Inga*), des espèces résilientes (*Inga*) et d'autres beaucoup moins (*Mombin*), etc. Après avoir évalué ces spectres, il est ensuite pertinent de chercher les optimums et leurs emplacements sur le spectre, cela permet entre autres de remarquer des différences entre les espèces, comme des essences assez héliophiles (*Tapirira*) et d'autres moins (*Curassavica*). Enfin il est possible de remarquer des paramètres abiotiques modifiables par la main de l'homme et dont l'impact en fonction de l'espèce varie beaucoup. En effet, un apport d'amendement azoté sur des *Senna* ou des *Curassavica* ou encore la présence de sensibles au pied des *Inga* induira une augmentation très importante de la croissance.

Aucune de ces essences n'est l'égal de l'*Acacia mangium* sur tous les terrains mais certaines essences sortent leurs épingles du jeu en combinant plusieurs caractéristiques intéressantes, par exemple le *Senna* combine une tolérance aux milieux ensoleillés, une forte croissance et un bon potentiel d'ombrage et de délimitation de parcelle. Les résultats de cette étude sont cependant critiquables sur plusieurs points, en effet la nécessité d'un projet multi-acteur et les aléas ont joué un rôle important sur la significativité des résultats.

- Tout d'abord, la pluralité des acteurs a engendré de nombreux conflits d'intérêts d'ordre privé mais ayant eu une répercussion sur le projet (rétention de résultats, mobilisation du GEPOG pour faire une partie des travaux, retards, manquement au cahier des charges, etc.). Dans le cadre d'un projet LIFE porté par une association, il est complexe d'imaginer une autre façon de faire que le partage du projet. Le limiter à une poignée de structure pourrait alors être la solution.
- Le manque d'anticipation et de rigueur sur l'aspect tests et analyse lors de la plantation (n trop faible, plantation non-homogène au sein des parcelles, absence d'essences sur certaines parcelles, etc.) a entraîné de nombreux biais voire une absence de données et donc des résultats partiels. Tout n'est pas à jeter cependant avec de très bonnes actions comme le passage d'une seule personne pour les suivis des plants (Agroforestière). Il serait donc pertinent d'anticiper dès le début du projet, le livrable final et de partir des contraintes de ce dernier afin de faire un rétroplanning des actions. Celui-ci permettra la mise en place la plus rigoureuse et pertinente du protocole bien avant les tests et analyses statistiques. De cette manière, les difficultés de dernière minute se feront moins ressentir et les résultats seront sensiblement plus significatifs.
- La réalisation d'un protocole est toujours perfectible, en effet, bien que 14 points d'échantillonnages aient été choisis, les résultats demeurent bien moins précis qu'avec le double, le triple ou plus encore, de points. Les moyens humains et financier pour un tel échantillonnage auraient été d'autant plus importants, cependant la cartographie et les résultats auraient fortement gagné en précision et représentativité.
- Enfin la faible temporalité des analyses joue également son rôle, en effet, il n'y a eu qu'un intervalle de 9 à 16 mois entre la plantation et le dernier suivi, ce qui est très faible pour calculer un taux de croissance et faire des conclusions précises sur la biologie d'essences



d'arbres. Il aurait fallu planter tous les individus au même moment et réaliser des suivis espacés d'au moins 6 mois afin de couvrir plusieurs enchaînements de saisons. Un suivi d'un an est, il semble, trop restreint pour pouvoir réellement étudier les préférences écologiques d'une espèce et en tirer des conclusions justes et fiables.



*Figure 11 : Arbrisseaux d'Acacia mangium en lisière de la savane Mathieu, Iracoubo, la caractère envahissant apparaît ici très clairement*

## Bibliographie

- [1] P.Puccio, *Inga edulis*, monaco nature encyclopedia
- [2] M.Gayot, L.Procopio, S.Conjard, E.Boulangue, J.Bernus, *Étude de la typologie des ripisylves de Guadeloupe et proposition d'espèces utilisables en génie végétal sur les berges* ; Volume i : rapport d'étude. Office national des Forêts. Basse-Terre, Guadeloupe. 106P, 2018
- [3],[5] et [6] P. Grenand, C.Moretti, H.Jacquemin, M.F.Prévost, *Pharmacopées traditionnelles en Guyane*, 2e édition revue et complétée. Paris, IRD. 816 p, 2004
- [4] F.Le Bellec, *Prunier mombin*, À la découverte des fruits des Antilles, 2004
- [7] V.H Blackman, *The compound interest law and plant growth*, 1919
- [8] et [10] C.Sirguy, *L'analyse de terre mise en œuvre de méthodes normalisées*, TP Fertil ENSAIA, 2023
- [9] Carte Géologique de la Guyane française sur SIG, Géodata.gouv, 2001, disponible sur <https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/ae73aabe12c35f9c5c792d9a36f2d6fe06602d9d>
- [11] Pédologie (P14), *Manuel technique de gestion des savanes de Guyane*, GEPOG, 2015
- [12] C.A.Offord, *Growing up or growing out? How soil pH and light affect seedling growth of a relictual rainforest tree*, AoB PLANTS, Volume 6, 2014
- [13] R. Zon, H.Solon Graves, *Light in Relation to Tree Growth*, 1911
- [14] J.L.Soong, *Soil properties explain tree growth and mortality, but not biomass, across phosphorus-depleted tropical forests*, [Scientific Reports](#), 2020
- [15] INRAE, *Nitrate et croissance racinaire des légumineuses*, 2020
- [16] G.D.Paoli, *Soil Nutrients Limit Fine Litter Production and Tree Growth in Mature Lowland Forest of Southwestern Borneo*, Ecosystems, 2007
- [17] PlanetVieENS d'après R.C.Le Bayon, R.Milleret, *Effects of earthworms on phosphorus dynamics*, Dynamic Plant, 21-27, 2019
- [18] PlanetVieENS d'après A.Brauman, C.Plassard, *Grazing by nematodes on rhizosphere bacteria enhances nitrate and phosphorus availability to Pinus pinaster seedlings*, Soil Biology & Biochemistry, 2011
- [19] PlanetVieENS, les effets du changement climatique sur la croissance des plantes, d'après S. M. Brady, *Plant developmental responses to climate change*, Developmental Biology, vol. 419, n°1, p. 64/77, 2016
- [20] F.Sterck, *Tree growth variation in the tropical forest: understanding effects of temperature, rainfall and CO<sub>2</sub>*, Global change biology, 2015
- [21] PlanetVieENS, les effets du changement climatique sur la croissance des plantes, d'après S. M. Brady, *Plant developmental responses to climate change*, Developmental Biology, vol. 419, n°1, p. 64/77, 2016
- [22] d'après Y.Burko, *PIF7 is a master regulator of thermomorphogenesis in shade*, nature communications, 2022]
- [23] Raphael Zon, Henry Solon Graves, *Light in Relation to Tree Growth*, 1911
- [24] R.M. Alexander, *Physiological ecology—leaning trees on sloping ground*, Nature,1997