

Mémoire de stage

présenté par
Charles-Elie MARGIER

pour obtenir le diplôme national de master
mention Biodiversité, écologie, évolution
parcours Biodiversité végétale et gestion des écosystèmes tropicaux (BioGET)

Sujet :

**Conditions de germination de la banque de graines aérienne
et de survie des plantules de *Melaleuca quinquenervia*, un
arbre exotique envahissant des savanes guyanaises**



Tuteur : Dr Alexandre MATHIEU

soutenu publiquement le 13/09/2021

à Montpellier

devant le jury suivant :

Pr Élise BUISSON	Rapporteuse
Dr Éric MARCON	Examineur
Dr Pierre COUTERON	Examineur
Dr Franck RICHARD	Examineur

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier chaleureusement Alexandre Mathieu, qui comme peu de maîtres de stage l'auraient fait, m'a épaulé sans compter tout au long de cette aventure. Sans qui ce stage n'aurait pas eu une telle intensité et ce mémoire bien moins brillant. Merci de m'avoir transmis tes qualités de chercheur, dans ce stage aussi formateur intellectuellement qu'humainement enrichissant.

Je tiens aussi à remercier Alizée Ricardou, chargée de projet au GEPOG, qui par son regard avisé et bienveillant a su me mettre à l'aise et assurer la bonne continuité de ce stage.

J'en profite pour dire un grand merci à toute l'équipe du GEPOG, qui m'a accueilli parmi elle avec le sourire. Avec qui j'ai eu la chance de partager des expériences de terrain et de bureau humaines et pleines de surprises. Avec une telle dynamique de travail, d'engagement personnel et de bienveillance, la Guyane a de la chance de vous compter parmi ses associations.

Je tiens à remercier Stéphane Traissac, mon référent de stage, d'avoir rapidement répondu présent lorsque j'avais besoin d'aide. Pour ses précieux conseils et remarques au début du stage, sans lesquels les expérimentations n'auraient pas été aussi complètes.

De même, je souhaiterais remercier Pierre Silland, chercheur indépendant, qui a pris le temps de partager ses connaissances sur la problématique du Niaouli en Guyane et sa vision quant à la mise en place de l'expérience. Tout comme William Montaigne, responsable de l'expertise scientifique à Solicaz, de m'avoir renseigné sur la procédure à suivre pour réaliser les tests de germinations et Gilles Sanchez, dirigeant d'Agronomie Services pour ses conseils pour réaliser des cultures sous serre.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement Jocelyn Cazal et Marc Levenez, tous deux techniciens à l'Agrocampus de Kourou, pour leur précieuse aide lors de l'aménagement de la serre ainsi que pour leurs conseils pleins d'expériences afin de réaliser les cultures dans les meilleures conditions. Merci aussi pour tous ces joyeux moments passés en votre compagnie, sans lesquels la serre me serait parue bien plus vide.

J'aimerais aussi remercier Guillaume Léotard, botaniste, de m'avoir éclairé sur l'écologie et les communautés végétales des savanes. Tout comme Rémi Girault, botaniste, qui par sa vision globale des problèmes socioécologiques en Guyane, m'a beaucoup appris.

En dernier lieu, je souhaite remercier les personnes avec qui je partage mon quotidien, mes colocataires. Eux qui ont su être à l'écoute, dans l'entraide et la compréhension, qui dans les moments durs apportent le réconfort et l'amitié.

Je tiens aussi à remercier ma famille, pour leur soutien, leurs appels et leur amour, merci de croire en moi.

Merci.

RESUME

En Guyane, la lutte contre *Melaleuca quinquenervia* ne dispose d'aucune connaissance scientifique pour épuiser efficacement sa banque de graine aérienne. « Connaître son adversaire avant de le combattre », l'art de la guerre s'applique aussi dans le domaine de l'environnement.

Les données morphométriques de la banque de graines aériennes ont montré que les niaoulis guyanais ont relativement plus de graines que ceux d'Australie mais moins que ceux de Floride. Les arbres les plus hauts ont plus de graines par capsule, la masse de celles-ci est plus importante et elles germent mieux. En moyenne, le taux de germination est de 6 %. Bien que la germination soit majoritairement répartie entre le 2^{ème} et le 5^{ème} jour après un mouillage, elle peut s'étaler sur 2 mois si les graines sont enfouies. De plus, le taux de germination est meilleur dans les conditions humides et ombrageuses mais est particulièrement important dans un substrat de savane exposé à l'humidité et à la lumière.

Par ailleurs, une très faible luminosité diminue la survie des plantules à partir d'un mois et trois semaines de sécheresse intense suffisent à tuer 100 % des plantules. De plus, une inondation de deux mois ne montre pas d'effet significatif sur les chances de survie des jeunes plants et des plantules mais ralentit leur croissance végétative.

En conclusion, la période idéale pour l'abattage d'une population de niaoulis dans les savanes du littoral guyanais serait avant la fin de la saison des pluies, au début du mois d'août.

Mots-clés : EEE, *Melaleuca quinquenervia*, germination, survie, savanes

ABSTRACT

In French Guyana, the control of *Melaleuca quinquenervia* has not been scientifically studied in order to effectively deplete its aerial seed bank. "Know your opponent before you fight him", the art of war also applies in the environmental field.

Morphometric data from the aerial seed bank showed that Guyanese niaoulis have relatively more seeds than those from Australia but less than those from Florida. The taller trees have more seeds per capsule, the mass of seeds is greater and germination is higher. The germination rate is 6%. Although germination occurs mostly between the 2nd and 5th day after wetting, it can spread over two months if the seeds are lightly buried. In addition, the germination rate is better in humid and shady conditions but is particularly important in a humid savannah substrate exposed to the sun.

On the other hand, very low light decreases seedlings survival from one month and three weeks of intense drought is sufficient to kill 100% of the seedlings. Furthermore, a two-month flooding does not show a significant effect on the survival chances of seedlings and young plants, but slows down their vegetative growth.

To conclude, the ideal time for cutting down a Niaouli population in the coastal savannahs of Guyana would be before the end of the rainy season during the month of August.

Keywords : IAS, *Melaleuca quinquenervia*, germination, survival, savannahs

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
RESUME	3
ABSTRACT	3
TABLE DES MATIERES	4
1. INTRODUCTION	5
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	9
2.1. SITES D'ÉTUDE.....	9
2.2. MATERIEL BIOLOGIQUE	12
2.3. ACQUISITION DES DONNEES	16
2.4. METHODES STATISTIQUES	21
3. RESULTATS	25
3.1. CARACTERISATION DE LA BANQUE DE GRAINES AERIENNE	25
3.2. TEST DE GERMINATION	28
3.3. PARAMETRES DE GERMINATION	29
3.4. CONDITIONS DE GERMINATION	32
3.5. EFFET DE L'INONDATION SUR LES JEUNES PLANTS	36
3.6. EFFET DE LA SECHERESSE SUR LES PLANTULES	41
4. DISCUSSION	43
5. CONCLUSION	47
6. REFERENCES	49
7. LISTE DES ABREVIATIONS	56
8. TABLE DES TABLEAUX.....	57
9. TABLE DES FIGURES	59
10. ANNEXES	61

1. INTRODUCTION

De nombreux supports biotiques et abiotiques sont utilisés par les espèces végétales pour se disperser, mais l'anthropochorie est la seule à avoir briser toutes les barrières géographiques et temporelles (Nentwig, 2008). L'humain a renforcé la connectivité des habitats depuis la période des grandes découvertes à partir du 16^{ème} siècle, puis la révolution industrielle et la globalisation des échanges marchands ont particulièrement favorisé la propagation d'espèces exotiques (Hulme, 2009 ; Amano *et al.*, 2016 ; Chapman *et al.*, 2017). Le nombre d'espèces introduites augmente depuis de manière exponentielle (Cohen & Carlton, 1998) sans montrer de signe de saturation (Seebens *et al.*, 2017). Près de 4 % de la flore mondiale est aujourd'hui naturalisée à travers le monde, un fait qui concerne 83% de la surface terrestre (Pyšek *et al.*, 2017 ; van Kleunen *et al.*, 2019 ; Pyšek *et al.*, 2020).

L'introduction de nouvelles espèces modifie l'équilibre des mécanismes écologiques et impacte l'ensemble de la biodiversité locale (Mooney & Cleland, 2001). Même si de nombreuses espèces peuvent s'établir dans un écosystème sans compromettre la survie des communautés biologiques, d'autres présentent une importante phase d'expansion à la suite de leur établissement. C'est ce que nous nommons « espèce exotique envahissante » ou EEE (Richardson *et al.*, 2000).

Le problème des EEE est connu depuis de nombreuses années (Elton, 1958). Comme l'intègre l'UICN dans sa définition, ces dernières peuvent menacer les écosystèmes et le bien être humain (UICN France, 2015). Elles ont en effet un impact négatif sur la biodiversité locale (Vitousek *et al.*, 1996, Butchart *et al.*, 2010 ; Pyšek *et al.*, 2012 ; Bellard *et al.*, 2016) ainsi que sur la santé et les activités humaines (Mack *et al.*, 2000). Au même titre que le changement d'utilisation des sols, l'extraction des ressources, la pollution et le changement climatique, elles sont reconnues comme le 5^{ème} facteur direct qui impacte aujourd'hui le monde (Balvanera *et al.*, 2019) et menacent près d'un cinquième de la surface terrestre (Diaz *et al.*, 2019).

Leur comportement invasif est tel que ces espèces peuvent former des populations dominantes (Valéry *et al.*, 2008). Les conditions abiotiques se transforment alors durablement, l'écosystème s'homogénéise, modifiant et diminuant le nombre de niches écologiques disponibles. Les espèces indigènes ont alors de plus en plus de mal à accéder à l'espace et aux ressources, leur abondance diminue (Bradley *et al.*, 2019) jusqu'à leur extinction locale par exclusion compétitive (Blackburn *et al.*, 2019).

Comme le précise la convention de Nagoya en 2010 et l'objectif 9 d'Aichi, maîtriser, contrôler ou éradiquer l'introduction d'espèces exotiques est devenu indispensable (CBD, 2010). Si la gestion des EEE n'est pas rapide et efficace, la lutte à leur encontre peut s'avérer difficile et les coûts financiers extrêmement élevés (Diagne *et al.*, 2021).

Par rapport aux autres régions ultrapériphériques françaises, dont l'insularité entraîne une certaine vulnérabilité face aux invasions biologiques (Pyšek *et al.*, 2017), l'impact des EEE en Guyane française a longtemps été sous-estimé (Soubeyran, 2008) et les études n'ont débuté que récemment (Cambou *et al.*, 2010). La Guyane compte actuellement plus de 1000 plantes exotiques (Girault & Silland, 2016), dont 344 naturalisées, parmi lesquelles 251 présentent un comportement potentiellement invasif (Girault, 2016). Au moins une vingtaine menace les écosystèmes guyanais et deux d'entre elles montrent des signes inquiétants d'invasion. Il s'agit de l'*Acacia mangium*, contre lequel un plan de lutte va être

mis en œuvre (Mathieu *et al.*, 2021a) et le Niaouli, *Melaleuca quinquenervia*, pour lequel des tests de méthodes de lutte sont en cours (Mathieu *et al.*, 2021b).

Bien que la forêt tropicale humide guyanaise a, grâce à la conservation de sa biodiversité et de son intégrité (Gargominy, 2003 ; Grantham *et al.*, 2020), une bonne résilience face aux invasions biologiques (Delnatte & Meyer, 2012), un autre écosystème est quant à lui beaucoup plus vulnérable : les savanes du littoral guyanais.

La savane est un écosystème ouvert composé d'une strate herbacée dominante entrecoupée d'une strate arbustive discontinue et relativement faible. La moitié des zones tropicales du monde abrite des savanes et des forêts tropicales saisonnièrement sèches (Pennington *et al.*, 2018). En Guyane, les savanes ne couvrent que 260 km², soit 0,3 % du territoire (ONF, 2010). Comme la plupart des écosystèmes tropicaux saisonnièrement secs, les savanes guyanaises ont reçu beaucoup moins d'attention de la part de la recherche scientifique par rapport aux forêts humides. Les premiers travaux ont été entrepris à travers le projet européen Life+ Cap Dom (2011-2015) porté par le Groupe d'Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane (GEPOG). Il a permis d'acquérir de nombreuses connaissances sur la pédologie, les habitats et la biodiversité des savanes (Stier & de Pracontal, 2015) et de soulever le double enjeu qui fait de leur gestion une priorité.

Tout d'abord, la diversité et la mosaïque d'écosystèmes qui composent ces savanes abritent 16% de la flore guyanaise (Léotard, 2012) et 20% des espèces végétales protégées (Delnatte & Meyer, 2012). Elles regorgent d'espèces rares et emblématiques (Buzançais, 2018) dont la plupart sont en danger car inféodées aux savanes (UICN France *et al.*, 2017).

Les savanes se sont créées avec le recul de la forêt tropicale humide durant les périodes sèches et glacières (Prado & Gibbs, 1993 ; Haffer & Prance, 2001), puis la pression des feux saisonniers et de l'herbivorie a maintenu le milieu ouvert. Des milliers d'années d'occupation par les sociétés humaines ont ensuite façonné sa structure (Rostain, 2010), en particulier avec les pratiques agricoles comme en témoignent les champs surélevés dans les zones inondées (Rostain, 2008). L'interaction entre la savane et les populations humaines a donné naissance à un paysage bioculturel (Palisse, 2014) attaché à un fort patrimoine immatériel de connaissances et de savoir-faire (Stier *et al.*, 2020). Les communautés végétales qui la composent sont ainsi aussi le fruit de cette histoire commune (Mckey, 2019). De plus, ce socio-écosystème fournit aujourd'hui de considérables services écosystémiques qu'il serait regrettable de voir disparaître (Sieber *et al.*, 2021).

Les pratiques culturelles et agricoles ont été fortement modifiées depuis l'arrivée des européens mais tout particulièrement ces 50 dernières années avec le pâturage extensif et la diminution des pratiques agricoles traditionnelles (Stier *et al.*, 2020). Les pressions anthropiques qui touchent les savanes sont depuis de plus en plus présentes. Les savanes se situent dans la bande littorale où se concentre plus de la majorité de la population guyanaise (Chanteur & Reif, 2020). L'utilisation croissante des sols et l'étalement urbain réduit leur superficie et leur intégrité (Granville, 1986 ; Stier & de Pracontal, 2015). De plus, les plantes exotiques envahissantes comme *Melaleuca quinquenervia* (Niaouli) intègrent ainsi ces paysages anthropisés et perturbés avec plus de facilité (Marvier *et al.*, 2004).

Originaire de la côte est de l'Australie, le Niaouli est repéré en Guyane dès 1948. Son expansion a ensuite été favorisée par le « Plan Vert » mis en place par l'Etat dans les années 1970 pour développer une industrie papetière (Delnatte & Meyer, 2012). Il fait partie des 100 espèces envahissantes les plus nuisibles du monde (Lowe *et al.*, 2000). En effet, quelques individus sont capables d'envahir une parcelle en seulement 25 ans (Laroche & Ferriter, 1992).

Le Niaouli est actuellement localisé dans les bas-fonds humides des savanes (Figure 1) et couvre 1 km² cumulé sur trois populations principales (Léotard & Chaline, 2013), dont la densité peut atteindre 1000 individus pour 100 m² (Delnatte & Meyer, 2012). Comme en témoigne l'histoire de son invasion en Floride (Dray *et al.*, 2006), son expansion est particulièrement préoccupante en Guyane (Léotard & Chaline, 2013 ; Annexe 1). Le coût cumulé de la lutte et de son impact sur l'économie s'élève à plusieurs centaines de millions de dollars par an aux États-Unis (Diamond *et al.*, 1991 ; Balciunas & Center, 1991 ; Serbesoff-King, 2003).

La dominance d'un écosystème est déjà connue mais mal comprise dans les forêts des régions tropicales (Ter Steege *et al.*, 2013). Les forêts monodominantes sont caractérisées par la dominance d'au moins 50 % de la canopée par une seule espèce (Connell & Lowman, 1989), nous avons les forêts de *Spirotropis longifolia* comme exemple local (Fonty *et al.*, 2011). Bien qu'à notre connaissance aucune étude n'a été réalisée sur le sujet en Guyane, les forêts de Niaouli sont composées à 100 % par ceux de son espèce, d'où l'appellation de forêt « monospécifique ». De plus, les populations de *Melaleuca* d'Australie sont elles aussi capables d'envahir une forêt tropicale si celle-ci est perturbée ou brûlée (Franklin *et al.*, 2007). L'hypothèse « Enemy Release Hypothesis » permet d'expliquer une telle dominance par les plantes exotiques (Keane & Crawley, 2002). Celle-ci formule que les EEE ont une moindre régulation de leur population car l'écosystème d'accueil ne dispose pas de prédateurs et pathogènes spécifiques. Ces populations bénéficient alors d'une réduction des dégâts causés par rapport aux autres espèces autochtones (Liu & Stiling, 2006). L'énergie allouée à la survie et aux mécanismes de défense peut alors être utilisée pour la croissance et la production d'une descendance fertile.

De plus, le Niaouli est considéré comme une espèce transformatrice car il peut modifier les cycles et les régimes des paramètres abiotiques, imposant ainsi de nouveaux filtres environnementaux qui affectent la biodiversité. Par exemple, les composés allélochimiques produits par ses racines modifient la composition et la chimie du sol (Porazinska *et al.*, 2007). La litière récalcitrante créée par ses feuilles diminue le taux de décomposition de la matière organique et impacte la microfaune du sol (Porazinska *et al.*, 2007). Sa forte évapotranspiration et ses racines verticales atteignant les nappes phréatiques (Geary & Woodall, 1990) peuvent assécher les zones humides (Dray *et al.*, 2006 ; Hofstetter, 1991). Pour finir, son huile est fortement inflammable et peut engendrer d'importants incendies (Loope *et al.*, 1994).

Considéré comme nuisible pour l'environnement, *M. quinquenervia* est spécifiquement ciblé par l'arrêté ministériel du 1^{er} avril 2019 relatif à la prévention de l'introduction et de la propagation des espèces végétales exotiques envahissantes sur le territoire de la Guyane. Ainsi, son introduction, sa détention, son transport, son utilisation et sa mise en vente sont interdits sur l'ensemble du territoire guyanais.

Des particuliers possèdent cependant des individus sur leurs propriétés pour des raisons ornementales et/ou médicinales (Delnatte & Meyer, 2012). Les feuilles de Niaouli possèdent en effet de nombreuses vertus thérapeutiques, notamment anti-inflammatoires et désinfectantes (Acha *et al.*, 2019). Elles sont donc utilisées par certaines communautés guyanaises, qui sont susceptibles de participer à sa dispersion et son implantation (Annexe 2).

Le Niaouli a été très peu étudié en Guyane et est actuellement peu connu des gestionnaires et acteurs de la protection de l'environnement. Avec le projet européen « Savanes – Espèces exotiques envahissantes » du LIFE BIODIV'OM (LIFE 17NAT/FR/000604) de 2018 à 2023, le Groupe d'Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane (GEPOG) teste

actuellement différentes techniques de lutte mécaniques et/ou chimiques contre cette espèce (Mathieu *et al.*, 2021b).

Pour accompagner ces tests, il est nécessaire de collecter des informations sur la banque de graines aérienne et la germination afin d'adapter au mieux ces techniques de lutte.

En effet, le Niaouli a la particularité de produire des graines de manière continue dans le temps et de les garder jusqu'à 7 ans le long de ses axes (Rayachhetry *et al.*, 1998). La banque de graines aérienne d'un arbre peut ainsi contenir plus de 20 millions de graines (Rayachhetry *et al.*, 1998). Un largage massif de graines est observé lorsque les arbres subissent un stress et que les branches meurent (Woodall, 1981). Cela entraîne une importante repousse de plantules à la suite d'un traitement d'éradication (Meskimen, 1962 ; Woodall, 1982). Les connaissances sur la quantité, la viabilité, le pouvoir germinatif et la longévité des graines ainsi que la survie des plantules ont bien été étudiées aux États-Unis (Laroche, 1999) mais aucune étude sur la biologie et l'écologie du Niaouli n'a été réalisée jusqu'à présent en Guyane.

Nous chercherons donc à évaluer les capacités de germination et de survie des plantules de *M. quinquenervia* afin d'épuiser efficacement sa banque de graines. En plus d'acquérir des connaissances sur la biologie de *M. quinquenervia*, les données obtenues nous permettront de préciser les périodes optimales pour mener les chantiers de lutte et de mieux appréhender la gestion post-chantier de la germination de la banque de graines aérienne.

L'étude se base sur les hypothèses suivantes : (1) les niaoulis les plus âgés ont un plus fort potentiel germinatif, (2) l'âge de la banque de graines aérienne a une influence sur le pouvoir germinatif, (3) la levée de dormance est meilleure dans des conditions humides et ensoleillées et (4) l'inondation ainsi que la sécheresse impactent négativement la survie des jeunes niaoulis.

Les objectifs de notre étude sont : (1) d'acquérir des données morphométriques et quantitatives sur la banque de graines aérienne ; (2) de tester l'influence de l'âge de l'arbre, estimé par sa hauteur, et de l'âge des capsules, estimé par leur position sur les branches, sur le pouvoir germinatif des graines ; (3) de mesurer des paramètres de germination ; (4) d'estimer le pouvoir germinatif en réponse à des niveaux de luminosité, de substrat et de saisonnalité pluviométrique différents, (5) de tester l'effet d'une inondation prolongée sur la survie de jeunes plants et de plantules et (6) de tester l'effet de la sécheresse sur la survie des plantules.



Figure 1 : Entrée dans la savane Passoura au Centre Spatial Guyanais (CSG) en saison des pluies, avec au premier plan la savane et en arrière-plan à gauche une forêt secondaire et à droite la forêt monospécifique de *Melaleuca quinquenervia*.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. SITES D'ÉTUDE

2.1.1. LA GUYANE

L'étude est menée en Guyane française, une collectivité territoriale unique située sur la côte atlantique de l'Amérique du Sud, à 4° Nord et 53° Ouest. Son climat équatorial est caractérisé par des températures moyennes annuelles entre 26 et 28°C, une pluviométrie annuelle de 2 800 à 2 900 mm et une humidité relative de 83 à 89 % (CNES/ONF, 2020). La région est soumise à l'oscillation annuelle de la Zone de Convergence Intertropicale induisant une saisonnalité des précipitations. Les protocoles ont été mis en œuvre durant la grande saison des pluies, à partir d'avril jusqu'à mi-août.

2.1.2. LA SAVANE PASSOURA

Le site d'étude est localisé sur les terrains du Centre Spatial Guyanais (CSG) au sud-ouest de Kourou. Il se trouve près du littoral dans les savanes de la Passoura, un espace classé ZNIEFF de type I (DEAL, 2014), plus précisément à 5°8'49" Nord et 52°42'43" Ouest au niveau du PK 61 de la RN 1.

Il s'agit d'une savane herbacée sur sable jaune à buttes malformées avec de rares formations buissonnantes (Léotard & Stier, 2013 ; Figure 2). Elle est caractérisée par un sol hydromorphe et par un bas fond large saisonnièrement inondé, jusqu'à 2 m cette année (Figure 3). Ceinturée d'une communauté arborescente, elle-même ceinturée par des savanes pripris (10 ha), la forêt de Niaouli (7 ha) sépare ce milieu ouvert en suivant la topographie basse et humide de la savane. Le cortège floral se compose principalement de Poacées de Cyperacées, en particulier les genres *Andropogon*, *Axonopus*, *Trichanthecium*, *Trachypogon spicatus*, *Paspalum*, *Rhynchospora* et *Scleria*.



Figure 2 : Savane Passoura occupée en son centre par une forêt de *Melaleuca quinquenervia*.



Figure 3 : Bas fond inondé de la savane Passoura en mai 2021, zone d'un test d'abattage à la pelle mécanique de 2 500 m² d'une forêt monospécifique dense de *Melaleuca quinquenervia* en novembre 2020.

2.1.3. L'AGROCAMPUS

Les expérimentations se sont déroulées dans une serre de l'UMR EcoFoG, basée sur le campus agronomique de Kourou, au 5°10'24" Nord et 52°39'10" Ouest (Figure 4 ; Figure 5).



Figure 4 : Vue aérienne de l'Agrocampus et localisation de la serre d'expérimentations encadrée en jaune.

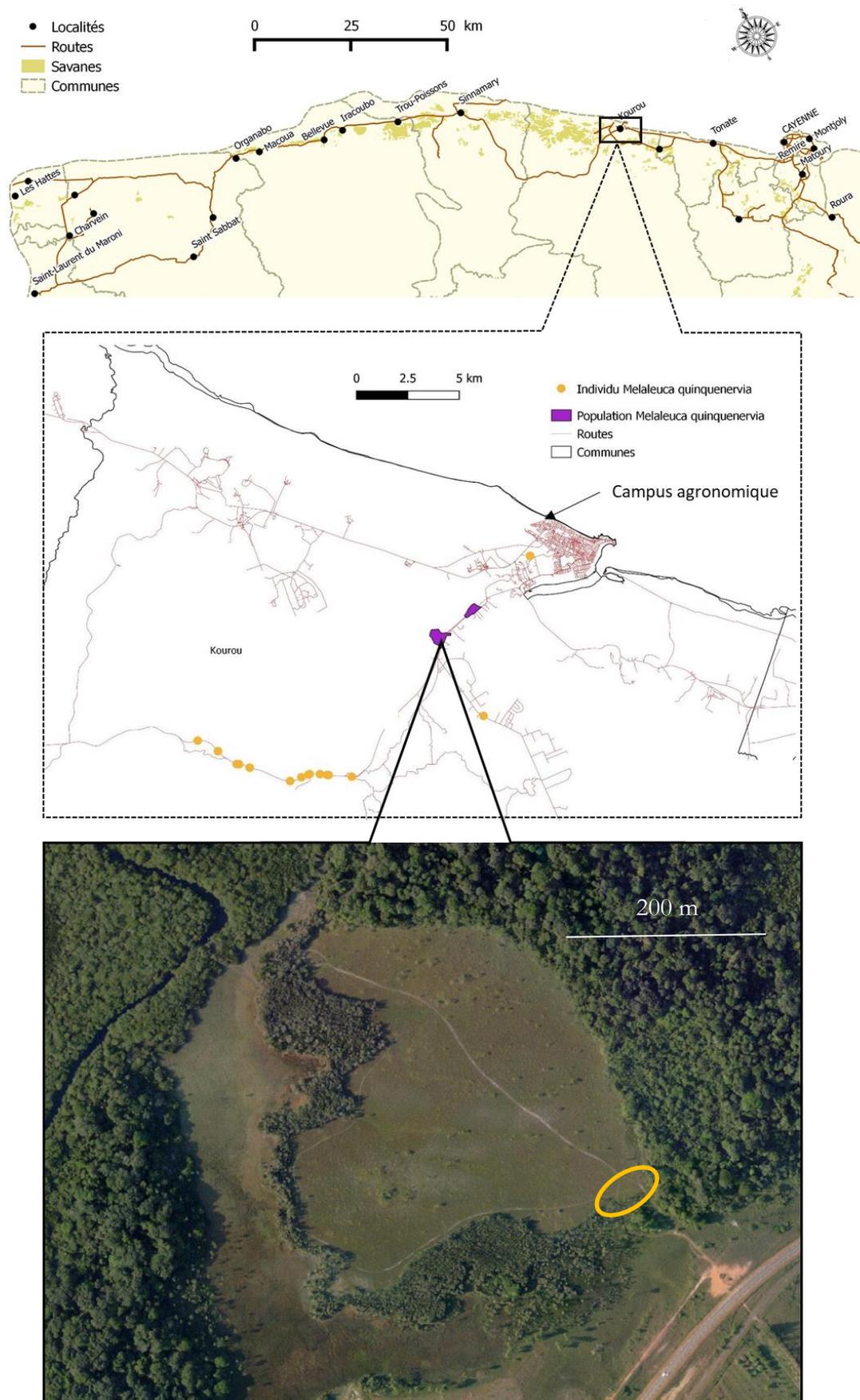


Figure 5 : Localisation d'une forêt de Niaouli au milieu de la savane Passoura au CSG (site d'échantillonnage, en orange) et de l'Agrocampus à Kourou (site des expérimentations).

2.2. MATERIEL BIOLOGIQUE

Melaleuca quinquenervia (Cav.) S.T. Blake, 1958 est un arbre de la famille des Myrtaceae originaire des basses altitudes de la côte Est de l'Australie (Boland *et al.*, 1987 ; Turnbull, 1986). Le Niaouli a une longévité d'au moins 70 ans (Hofstetter, 1991) et mesure jusqu'à 15 m en Guyane contre 25 m dans son aire d'origine. Le tronc est constitué de plusieurs fines couches d'écorces desquamantes l'aidant à résister aux incendies (Figure 6) et lui octroyant le nom d'arbre à écorce de papier.

Avec une phyllotaxie alterne spiralée, les feuilles sont simples, lancéolées à la marge lisse et présentent cinq nervures parallèles. A partir de 2 ans, l'arbre fleurit de manière plus ou moins synchrone, jusqu'à 5 fois par an (Hofstetter, 1991 ; Figure 7).

Les fleurs sont toujours blanches et actinomorphes, elles présentent de nombreuses étamines et un ovaire infère. Elles forment des inflorescences en faux épis à l'extrémité des axes qui sont pollinisées par de nombreux insectes (Figure 6).

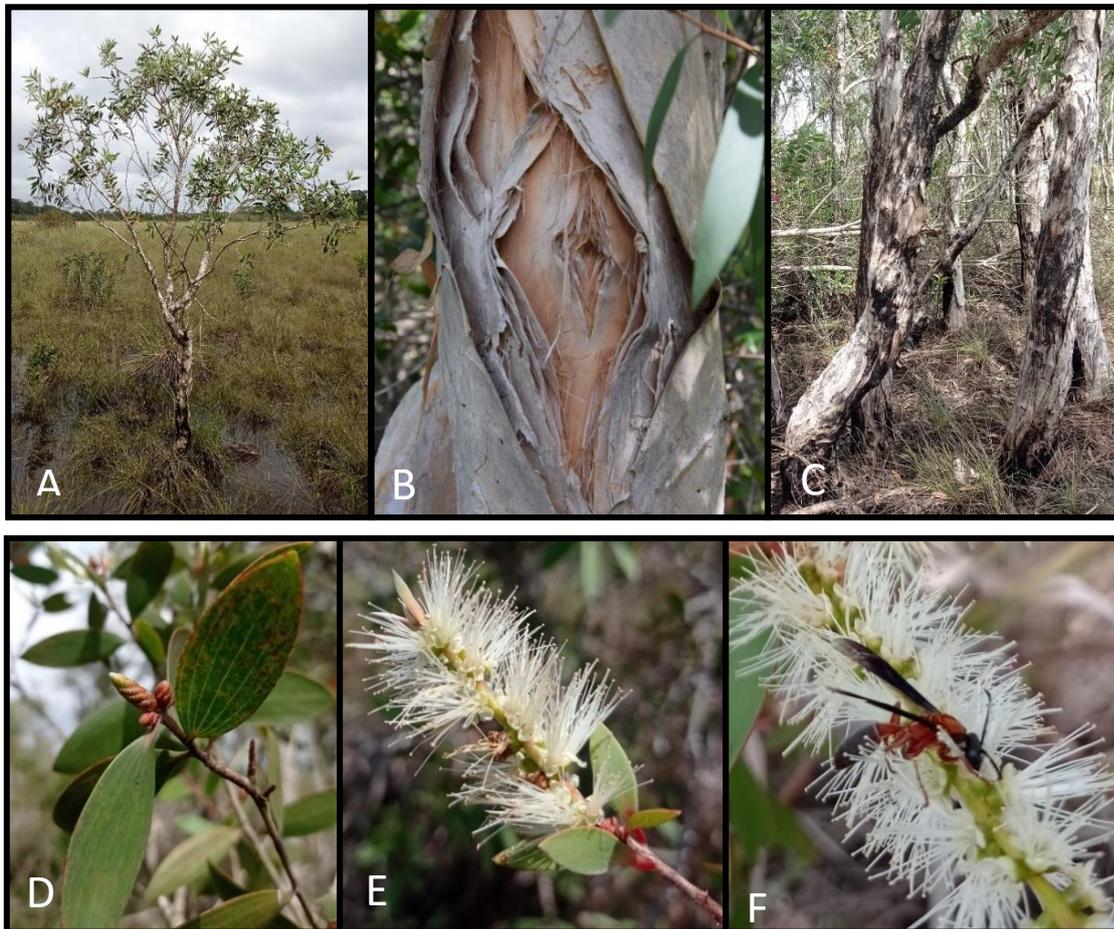


Figure 6 : (A) Niaouli de 3 m de hauteur, (B) écorce desquamante, (C) traces de brûlures sur le tronc, (D) feuilles et bourgeons, (E) inflorescence, (F) pollinisation par une guêpe.



Figure 7 : Floraison d'une population de *Melaleuca quinquenervia*.

L'inflorescence est composée de 30 à 70 capsules densément regroupées (Figure 8). Le fruit est une capsule d'environ 5 mm (Figure 9). De plus, 200 et 300 graines de 1 à 0,3 mm sont isolées dans les trois loges de chaque capsule (Rayamajhi *et al.*, 2005).

Ne disposant pas de disperseur biotique connu, la dispersion des graines est relativement faible (Browder & Schroeder, 1981). Elle peut être anémochore mais s'effectue principalement par hydrochorie lors des fortes inondations. En effet, les graines peuvent flotter plusieurs jours grâce à la tension superficielle de l'eau (Woodall, 1982). Elles sont capables de survivre à une immersion de 6 à 18 mois (Meskimen, 1962 ; Thai *et al.*, 2005) et de germer sur un substrat inondé (Lockhart *et al.*, 1999).



Figure 8 : Succession des unités de croissance fructifiantes.

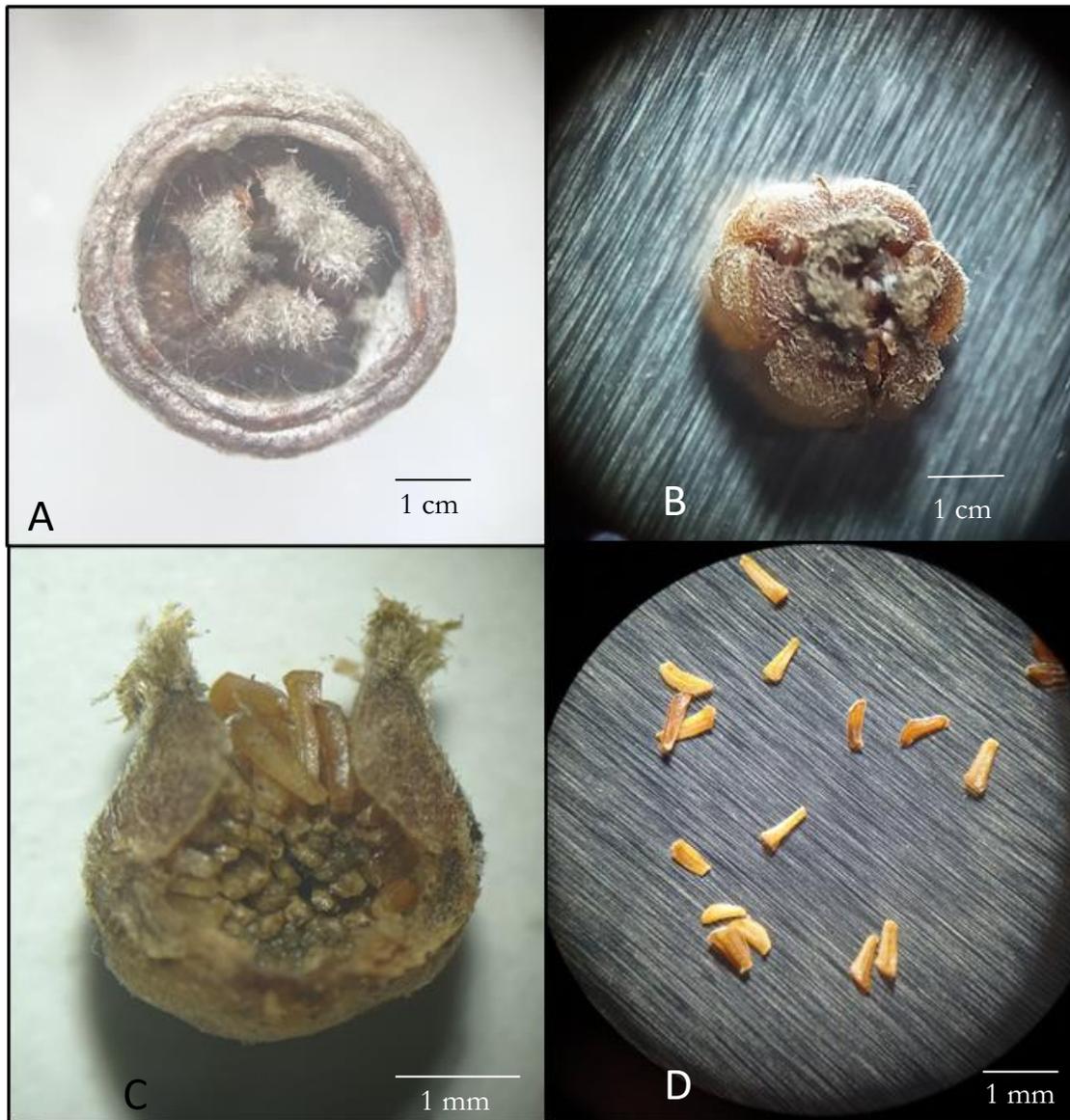


Figure 9 : Vue à la loupe binoculaire, (A) d'une capsule, (B) d'une capsule sans sa gaine, (C) d'une loge contenant les graines et (D) des graines.

Le Niaouli a de bonnes capacités d'adaptation et de survie au stress. C'est une espèce pyrophile qui est capable de survivre et de se régénérer à la suite d'un incendie (Stocker & Mott, 1981). Il supporte des conditions pédologiques variées et a une bonne tolérance aux sols acido-sableux (Meskimen, 1962 ; Myers, 1983). De plus, il est capable de rapidement mettre en place des rejets épïcormiques à la suite de la coupe de son tronc (Figure 10) ou d'un arrachage mal réalisé (Turner *et al.*, 1997). Lors d'inondations prolongées, les individus développent des racines adventives constituées d'aérenchymes à la base de leur tronc (Gomes & Kozłowski, 1980 ; Figure 11).



Figure 10 : Repousses épïcormiques deux mois après l'abattage (arbre n°9).



Figure 11 : Racines adventives.

2.3. ACQUISITION DES DONNEES

Melaleuca quinquenervia fait l'objet d'un arrêté ministériel en Guyane interdisant son transport, sa détention et son utilisation. Afin de mener nos expérimentations, une dérogation à des fins scientifiques et d'amélioration des connaissances sur la biologie des graines et plantules de l'espèce a été demandée via un Cerfa à la DGTM le 21 avril 2021 et acceptée le 22 avril 2021 par l'arrêté préfectoral n° R03-2021-04-23-00003 (Annexe 3).

2.3.1. CARACTERISATION DE LA BANQUE DE GRAINES AERIENNE

Dix *Melaleuca quinquenervia* ont été sélectionnés aux abords d'un front de colonisation dans la savane Passoura (Figure 5), de façon à obtenir l'éventail des hauteurs possibles.

La taille et la circonférence à hauteur de poitrine (1,30 m) des arbres ont été mesurées à l'aide d'un décimètre déroulant. Sur chaque individu, des branches ont été aléatoirement sectionnées dans le but de prélever dix infrutescences par arbre. Les 100 infrutescences sélectionnées ont été classées de la plus jeune (UC n), à la plus ancienne (UC n-x) en suivant la continuité de l'axe porteur à partir de son extrémité. Chaque infrutescence a ensuite été placée dans des sachets plastiques individuels portant respectivement le numéro de l'arbre, de la branche et son ordre d'apparition sur l'infrutescence (Figure 12).

Ensuite, les capsules ont été dénombrées et enlevées de leur infrutescence (Figure 12) dont la longueur et le diamètre ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse (précision de 0,5 mm).

Après deux semaines à température ambiante, trois capsules de chaque infrutescence ont aléatoirement été sélectionnées afin de mesurer leur diamètre. Puis, ces mêmes capsules ont été ouvertes à l'aide d'un scalpel pour compter le nombre de graines sous une loupe binoculaire (Figure 9).

Pour finir, les graines ont été pesées avec une balance électronique (Sartorius, précision de 10 µg) et isolées dans un nouveau sachet (Figure 12).

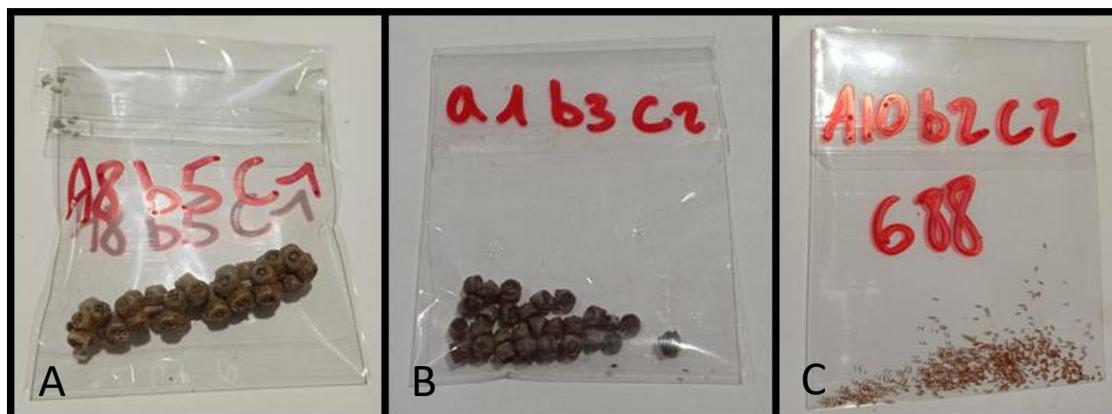


Figure 12 : Conditionnements successifs, (A) de l'infrutescence, (B) des capsules et (C) des graines.

2.3.2. TEST DE GERMINATION

Les graines de trois capsules de chaque infrutescence ont été libérées à l'aide d'un poivrier et mises à germer sur du papier filtre humidifié dans des barquettes en aluminium (9 cm de diamètre sur 1,5 cm de hauteur) scellées par du film plastique (Figure 13). Les barquettes ont été placées à mi-ombre dans la serre. Le nombre de germes a ensuite été relevé une fois par semaine pendant un mois, avec comme critère de germination l'émergence des deux cotylédons.

2.3.3. PARAMETRES DE GERMINATION

Afin d'obtenir des indices de germination, un second test a été réalisé avec précisément 100 graines de chaque infrutescence dans des boîtes en plastiques hermétiquement refermables (6 cm de diamètre et 4 cm de hauteur) sur du papier filtre humidifié (Figure 13).

Les germes ont ensuite été comptés tous les jours pendant 14 jours, avec comme critère de germination l'émergence d'une racicule d'au moins 1 mm.

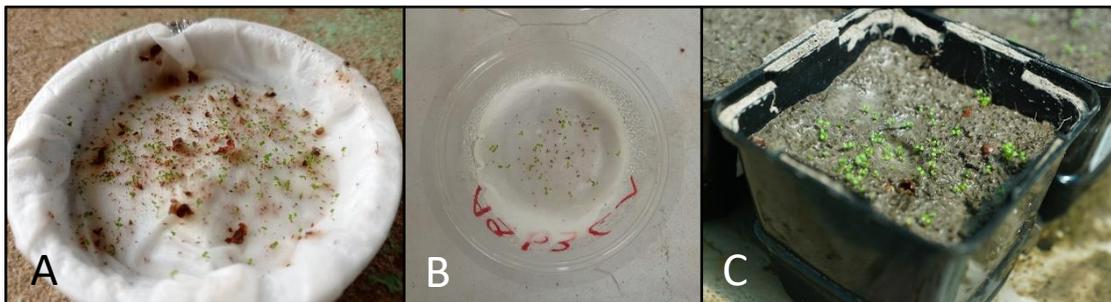


Figure 13 : Contenants pour les trois expériences de germination, (A) test de germination, (B) paramètres de germination et (C) conditions de germination en serre

2.3.4. CONDITIONS DE GERMINATION

L'étude des conditions de germination a été réalisée dans serre tunnel de 11 x 7 x 3 m sur l'Agrocampus (Annexe 4), entièrement aménagée et désherbée pour les expérimentations. Orientée est-ouest, l'ensoleillement journalier est de 10 h, de 7 h à 17 h, en raison de l'ombrage provoqué par la communauté forestière bordant la serre à l'ouest.

Une ombrière et une bâche en polyéthylène transparente (200 μ m d'épaisseur) ont été installées sur l'armature de la serre afin d'empêcher les précipitations naturelles et de limiter la chaleur de l'ensoleillement. Ensuite, huit tables de 1,20 x 0,8 x 0,8 m ont été construites à partir de palettes en bois pour mettre les expériences en hauteur et faciliter les comptages.

La serre a ensuite été séparée en quatre parties pour permettre une combinaison des paramètres abiotiques (substrat, ensoleillement et pluviométrie ; Figure 14).

Tout d'abord, pour estimer le potentiel germinatif en savane et en forêt, deux types de substrats ont été utilisés. La terre de forêt, utilisée pour les expérimentations de l'UMR EcoFoG, provient d'un site à quelques kilomètres au sud de la Crique Passoura. La terre de savane, dont les prélèvements ont été menés de manière à ne pas impacter le milieu, est issue de points en hauteur de la zone d'étude afin d'éviter la présence de graines de niaoulis. Ces substrats ont ensuite été tamisés puis introduit dans des pots de culture en plastique noir (8 x 8 x 9 cm). A la suite de quoi, tous les pots ont été arrosés pendant deux semaines

afin de lever la dormance des graines potentiellement présentes.

Ensuite, deux niveaux d'ensoleillement (ombre et lumière) ont été testés pour estimer l'effet du couvert herbacé sur le pouvoir germinatif. La moitié de la serre comprend ainsi un espace recouvert de quatre épaisseurs d'ombrière qui diminue fortement la luminosité. L'autre moitié dispose uniquement de la première ombrière recouvrant la serre.

Puis, deux niveaux de pluviométrie (sec et humide) ont été testés pour estimer l'effet des saisons guyanaises sur la levée de dormance des graines. La partie droite de la serre est munie de quatre asperseurs qui délivrent chacun 10 L d'eau par jour et la partie gauche dispose de quatre brumisateurs libérant chacun 1,25 L d'eau par jour. Ces deux parties sont isolées l'une de l'autre par une bâche en polyéthylène transparent (100 µm) pour restreindre l'arrosage aux zones souhaitées. De plus, les bords des quatre tables en zone « humide » ont été réhaussés et recouverts de la même bâche afin de garder une humidité à la capacité au champ. L'arrosage est automatisé et s'effectue trois minutes au lever et au coucher du soleil.

Afin de simuler un changement de saisonnalité, la moitié des pots a été déplacée dans l'autre contexte pluviométrique quatre semaines après le début de l'expérimentation (Figure 14).

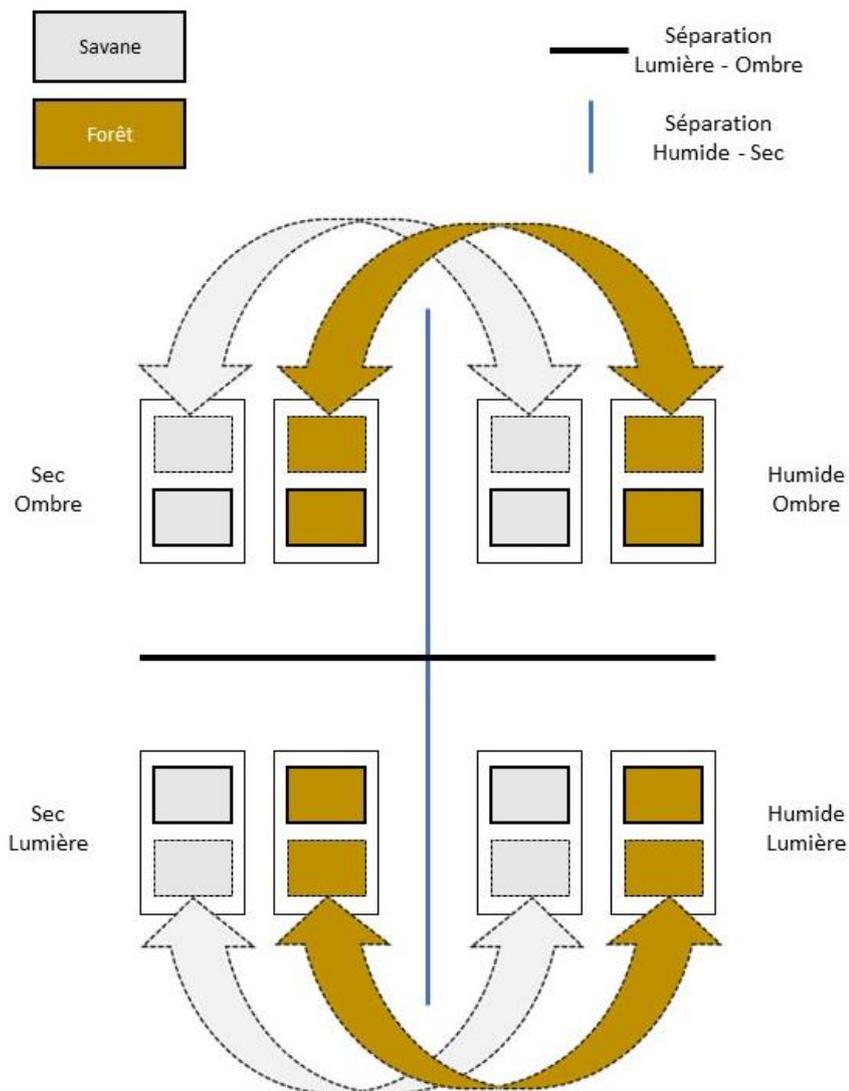


Figure 14 : Disposition des lots de culture, un lot de chaque condition a été déplacé au bout d'un mois, comme indiqué par les doubles flèches.

Un nombre indéfini de capsules a été récolté sur un arbre mature (arbre n° 9 ; Figure 10) abattu deux semaines auparavant. Le temps d'aménager la serre, les capsules ont été conditionnées trois semaines dans une boîte hermétique contenant des cristaux de silice afin d'absorber l'humidité.

Les pots ont chacun été ensemencés par cinq capsules, ouvertes à l'aide d'un poivrier (Annexe 6), puis recouverts d'une fine couche de substrat tamisé. Avec 30 répétitions pour chaque condition de culture, c'est finalement 480 pots qui ont été suivis (Figure 15 ; Annexe 5).

Pour finir, le nombre de plantules par pot a été relevé de manière hebdomadaire pendant 8 semaines, avec comme critère de germination la présence des cotylédons.



Figure 15 : Disposition interne de la serre. Les quatre tables du fond sont à l'ombre, la bâche centrale délimite la partie « humide » à droite et la partie « sèche » à gauche et les paires de tables supportent respectivement 60 pots contenant de la terre de savane sur celles de gauche et 60 pots contenant de la terre de forêt sur celles de droite.

2.3.5. EFFET DE L'INONDATION SUR LA SURVIE DES PLANTULES ET DES JEUNES PLANTS

Plus d'une cinquantaine de jeunes plants ont été récoltés dans deux zones de la savane Passoura (Passoura 1 et Passoura 2) puis mis dans des pots de culture contenant le substrat de cette même savane. Au bout de deux semaines en conditions de reprise, tout individu n'ayant pas survécu au repotage a été retiré de l'expérience.

Les jeunes plants ont ensuite été répartis, respectivement pour Passoura 1 et Passoura 2, avec 14 et 10 individus pour le traitement inondation et 14 et 11 individus pour les témoins. Le traitement consiste à placer les pots dans un bac transparent sous une hauteur de 40 cm d'eau pendant deux mois (Figure 16). Les témoins sont placés sur une table dans les

conditions humides de la serre (Figure 16). Le nombre d'individus morts, la hauteur du méristème apical caulinaire à partir du collet et le nombre de feuilles vertes ont été mesurés et comptés à zéro, deux, six et huit semaines.



Figure 16 : (A) Inondation des jeunes plants et (B) jeunes plants témoins

Par ailleurs, à la fin de l'expérience précédente, 15 pots de chaque traitement de la partie humide ont été inondés sous 40 cm d'eau dans des tubes en PVC pendant deux mois (Figure 17 ; Annexe 7). Le nombre de plantules de chaque pot a été relevé à zéro et huit semaines.



Figure 17 : Tubes en PVC pour inonder les pots contenant les plantules.

2.3.6. EFFET DE LA SECHERESSE SUR LA SURVIE DES PLANTULES

A la fin de l'expérimentation des conditions de germination, tous les pots se trouvant dans les conditions de pluviométrie sèche ont été privés d'eau pendant un mois afin de simuler la saison sèche. Le nombre de pots n'ayant plus de plantules vivantes a ensuite été relevé chaque semaine jusqu'à la mort de toutes les plantules.

Ces mêmes pots ont été arrosés à nouveau pendant trois semaines et un comptage final du nombre de nouvelles émergences a été effectué.

2.4. METHODES STATISTIQUES

Toutes les analyses statistiques et les graphiques ont été réalisés avec la version 4.0.5 du logiciel R (R Core Team, 2021).

2.4.1. CARACTERISATION DE LA BANQUE DE GRAINES AERIENNE

Les effets de la hauteur et l'âge de l'infrutescence en fonction du diamètre et de la longueur de l'infrutescence, du nombre de capsules et leur diamètre, du nombre de graines par capsule et leur masse, ont été déterminés par une analyse de variance (ANOVA).

2.4.2. TESTS DE GERMINATION

Les effets de la hauteur de l'arbre, de la position de l'infrutescence et de leur interaction sur la germination à trois semaines après semis ont été déterminés par un GLM avec une erreur quasi-poissonienne afin de tenir compte de la surdispersion dans le modèle.

Les différences de germinations moyennes, mesurées par le nombre de plantules à J+7, J+14 et J+21, ont été testées par une ANOVA suivi d'un test de Tukey HSD ($P < 0,05$).

2.4.3. PARAMETRES DE GERMINATION

Les effets de la hauteur de l'arbre, de la position de l'infrutescence et de leur interaction, sur le pourcentage final de germination ont été déterminés par un GLM avec une erreur quasi-binomiale afin de tenir compte de la surdispersion dans le modèle.

La courbe du pourcentage cumulé de germination (PCG) au cours du temps (t) a été modélisée par une fonction logistique et réalisée à partir de la fonction *nls* :

$$PCG = \frac{K}{1 + e^{-r(t-\tau)}}$$

où K est le pourcentage maximal de germination, r est le taux de germination et τ est le nombre de jours pour atteindre 50 % de germination.

Le pourcentage final de germination (PFG), le temps moyen de la première germination (t_0), de la dernière germination (t_g), le temps moyen de germination (\bar{T}), le temps moyen d'étalement des germinations (TEG), le temps auquel 50% des germinations finales se sont réalisées (t_{50}), le taux de germination moyen (\bar{V}) et le coefficient de vitesse de germination (CVG) ont été calculés à l'aide du package *germinationmetrics* (Aravind *et al.*, 2019) tel que :

$$PFG = \frac{N_g}{N_t} \times 100$$

avec N_g est le nombre total de germes et N_t est le nombre total de graines mises en germination.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i T_i}{\sum_{i=1}^k N_i}$$

où T_i est le temps écoulé entre le début de l'expérience et le $i^{\text{ème}}$ jour, N_i est le nombre de graines germées au $i^{\text{ème}}$ jour et k est le nombre total d'intervalles de jours.

$$TEG = t_g - t_0$$

où t_0 est le jour de l'occurrence de la première germination et t_g est le jour de la dernière germination.

$$t_{50} = T_i + \frac{(\frac{N+1}{2} - N_i)(T_j - T_i)}{N_j - N_i}$$

où N est le nombre final de graines germées, N_i et N_j sont le nombre total de graines respectivement germées aux temps T_i et T_j , lorsque $N_i < \frac{N+1}{2} < N_j$.

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i T_i} = \frac{1}{\bar{T}}$$

où T_i est le temps écoulé entre le début de l'expérience et le $i^{\text{ème}}$ jour, N_i est le nombre de graines germées au $i^{\text{ème}}$ jour, et k est le nombre total d'intervalles de jours.

$$CVG = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i T_i} \times 100$$

où T_i est le nombre de jours écoulé entre le début de l'expérience et le $i^{\text{ème}}$ jour, N_i est le nombre de graines germées du $i^{\text{ème}}$ jour et k est le nombre total de jours.

Certains indices ne pouvant être calculés lorsque $N_i = 0$, nous avons donc retirés les lots ne présentant aucune germination.

2.4.4. CONDITIONS DE GERMINATION

Certains pots ayant subi une prédation de leurs plantules par une chenille ou une sécheresse prématurée par effet de bord ont été retirés des analyses.

La germination du nombre de plantules par pot au cours du 1^{er} mois après semis pour chaque condition de substrat, d'ensoleillement et de régime pluviométrique a été modélisée par une fonction logistique dont les paramètres ont été estimés à partir de la fonction nls :

$$\text{Nombre de plantules} = \frac{K}{1 + e^{-r(t-\tau)}}$$

où K est le nombre maximal de plantules par pot au bout d'un mois, r le taux de germination et τ le nombre de jours pour atteindre 50 % de germination.

Le nombre de plantules par pot au bout de 28 jours, 56 jours et sur la durée de l'expérience en fonction du substrat, de l'ensoleillement et des régimes pluviométriques a été testé par une analyse de variance (ANOVA) suivie par un test *post hoc* de Tukey HSD ($P < 0,05$).

Les effets du substrat, de l'ensoleillement et des régimes pluviométriques sur le nombre de germinations et de plantules ont été déterminés par des GLM avec erreur quasi-poissonnienne au 1^{er} mois et avec erreur gaussienne au 2^{ème} mois et sur la période de deux mois, suivi d'une ANOVA.

2.4.5. EFFET DE L'INONDATION SUR LA SURVIE DES PLANTULES ET DES JEUNES POUSSSES

La probabilité de survie $\hat{S}_{KM}(t)$ a été estimée à l'aide du package *survival* (Therneau & Lumley, 2014) et a permis de construire les courbes de Kaplan-Meier. La significativité de la différence de ces courbes a été calculée avec un test de log-rank, aussi appelé test de Mantel-Haenszel tel que :

$$\hat{S}_{KM}(t) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right)$$

Puis, les différences entre la survie, la croissance et le nombre de feuilles des jeunes plants, par rapport aux groupes témoins et aux deux sites de prélèvement ont été testées à l'aide d'un test de Wilcoxon ($P < 0,05$).

2.4.6. EFFET DE LA SECHERESSE SUR LA SURVIE DES PLANTULES

La probabilité de survie des plantules face à la sécheresse a été analysée avec la même méthode que celle précédemment citée pour la survie des jeunes plants à l'inondation.

3. RESULTATS

3.1. CARACTERISATION DE LA BANQUE DE GRAINES AERIENNE

La synthèse des données morphométriques sur les arbres (hauteur, DHP), sur les infrutescences (diamètre, longueur, âge *ie* unité de croissance [UC]), sur les capsules (quantité, diamètre) et sur les graines (quantité, masse) est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Données morphométriques sur la banque de graines aérienne de *Melaleuca quinquenervia*.

Variable	<i>n</i>	Min	Max	Moyenne	ES
<i>Arbres</i>					
Hauteur (m)	10	1,6	12,4	5,5	0,37
DHP (cm)	10	1	21,3	9,1	0,66
<i>Infrutescences</i>					
Diamètre (mm)	99	1,5	16	3,7	0,22
Longueur (cm)	99	3,3	12	6,1	0,16
Âge ou UC	100	1	6	2,15	0,12
<i>Capsules</i>					
Quantité par infrutescence	100	9	70	36,8	1,27
Diamètre (mm)	300	2,85	5,4	4,1	0,03
<i>Graines</i>					
Quantité par capsule	300	65	304	210	2,40
Masse contenue dans 3 capsules (mg)	100	1,9	25	12,1	0,51

La hauteur de l'arbre augmente de manière linéaire avec le DHP (ANOVA, $F = 38,63$; $ddl = 1,8$; $P = 0,0002$; Figure 18).

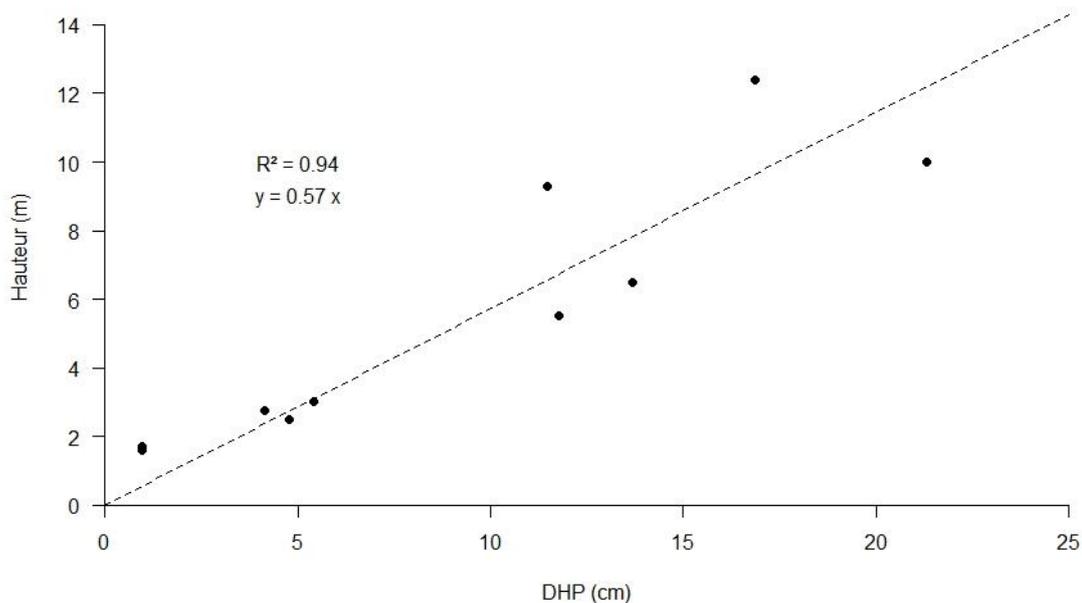


Figure 18 : Relation entre la hauteur et le DHP.

Le nombre de capsules par infrutescence augmente significativement en fonction de la hauteur de l'arbre (ANOVA, $F = 12,3$; $ddl = 1,98$; $P = 0,0007$; Figure 19), mais n'est pas corrélé avec l'âge de l'infrutescence (ANOVA, $F = 0,10$; $ddl = 1,98$; $P = 0,816$).

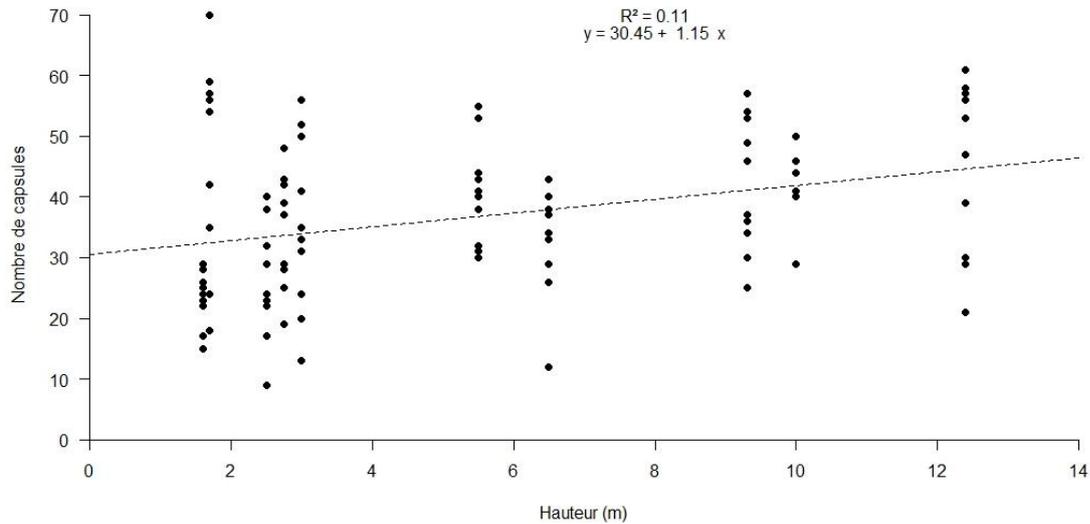


Figure 19 : Relation entre le nombre de capsule par infrutescence et la hauteur.

En moyenne, une infrutescence contient $6,3 \pm 0,2$ capsules par centimètre de tige. Le diamètre des capsules augmente avec l'âge de l'infrutescence (ANOVA, $F = 6,0$; $ddl = 1,298$; $P = 0,0146$).

Le nombre de graines par capsule augmente significativement avec la taille des capsules (ANOVA, $F = 141,9$; $ddl = 1,298$; $P < 0,0001$; Figure 20), mais n'est pas significativement corrélé avec la hauteur (ANOVA, $F = 0,3$; $ddl = 1,298$; $P = 0,58$). Le nombre de graines par infrutescence est estimé à 7781 ± 3391 graines (SE, $n = 100$), le nombre de graines total des infrutescences augmente avec la hauteur des individus (ANOVA, $F = 21,13$; $ddl = 1,298$; $P < 0,0001$; Figure 21).

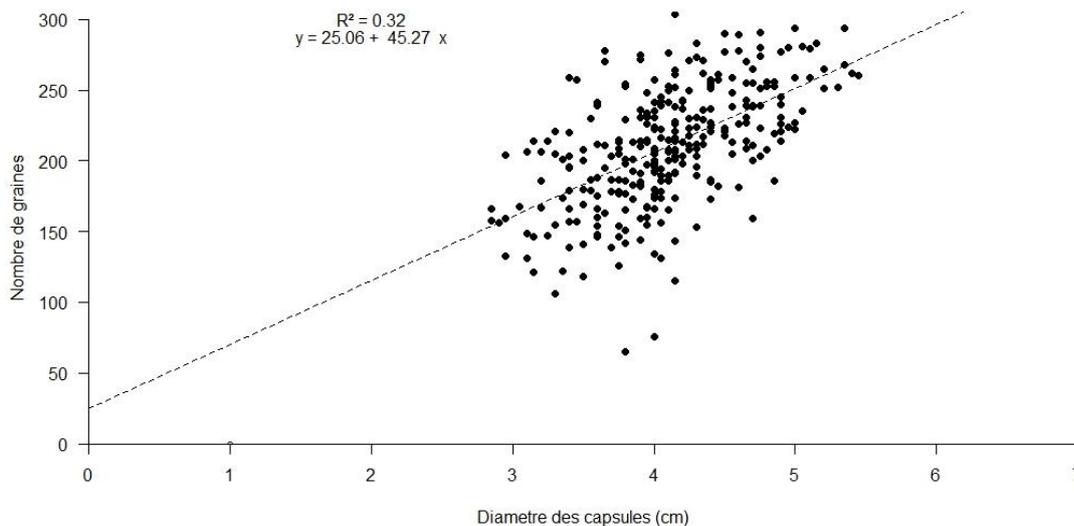


Figure 20 : Relation entre le diamètre des capsules et leur nombre de graines.

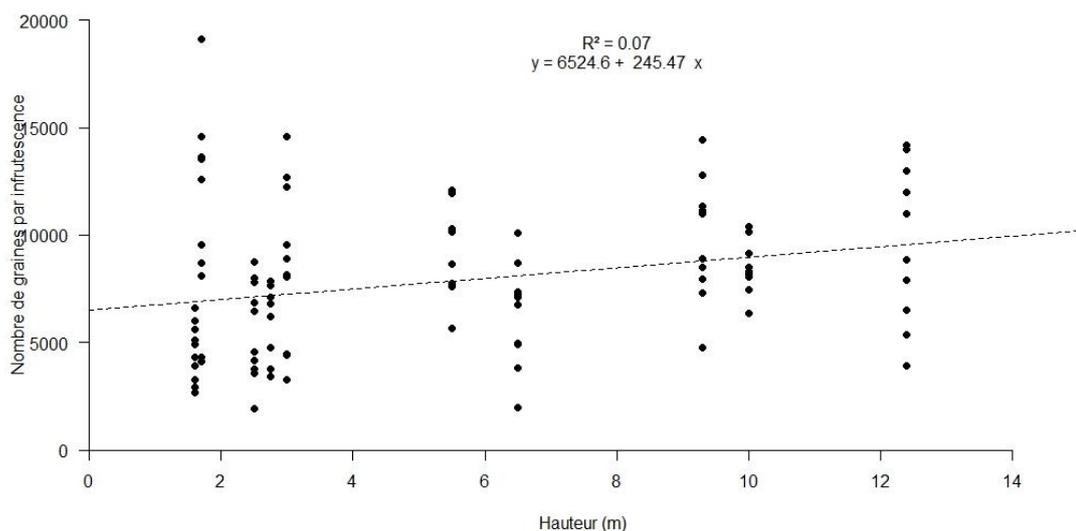


Figure 21 : Relation entre le nombre de graines estimé par infrutescence et la hauteur de l'arbre.

La masse des graines est significativement corrélée à la taille de l'arbre (ANOVA, $F = 23,8$; $ddl = 1,98$; $P < 0,005$; Figure 22).

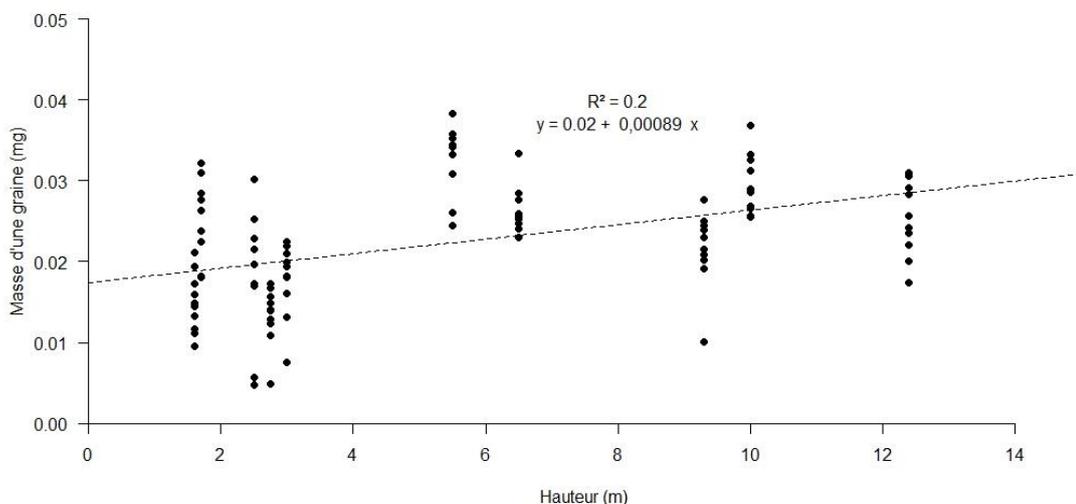


Figure 22 : Relation entre la masse moyenne d'une graine et la hauteur de l'arbre.

L'âge des infrutescences augmente légèrement avec la taille de l'arbre (ANOVA, $F = 9,0$; $ddl = 1,98$; $P = 0,0034$; Figure 23). Cependant, le nombre de capsules, de graines par capsule et la masse des graines ne sont pas significativement corrélés avec l'âge de l'infrutescence (Nombre de capsule, ANOVA, $F = 0,1$; $ddl = 1,98$; $P = 0,8$; Nombre de graines par capsule, ANOVA, $F = 0,3$; $ddl = 1,298$; $P = 0,6$; Masse des graines, ANOVA, $F = 0,2$; $ddl = 1,68$; $P = 0,68$).

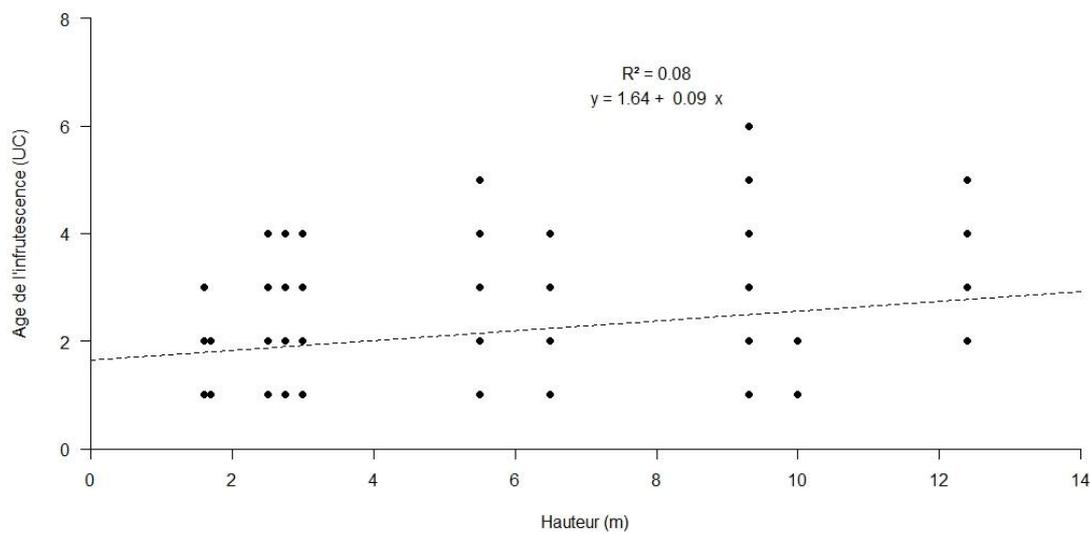


Figure 23 : Relation entre l'âge des infrutescences et la hauteur de l'arbre.

3.2. TEST DE GERMINATION

La totalité des germinations a eu lieu la première semaine et le nombre de plantules ne varie pas significativement entre 7 et 21 jours (ANOVA, $F = 1,44$; $ddl = 1,298$; $P = 0,231$). Le nombre final de germinations est en moyenne de $30,3 \pm 4,2$ (SE, $n = 100$) pour 3 capsules (Figure 24), le nombre final maximum de germinations est de 213. Quatorze barquettes n'ont présenté aucune germination (Annexe 8). De plus, le nombre final de germinations augmente significativement avec la hauteur de l'arbre (ANOVA, $F = 9,2$; $ddl = 1,98$; $P = 0,003$; Annexe 9).

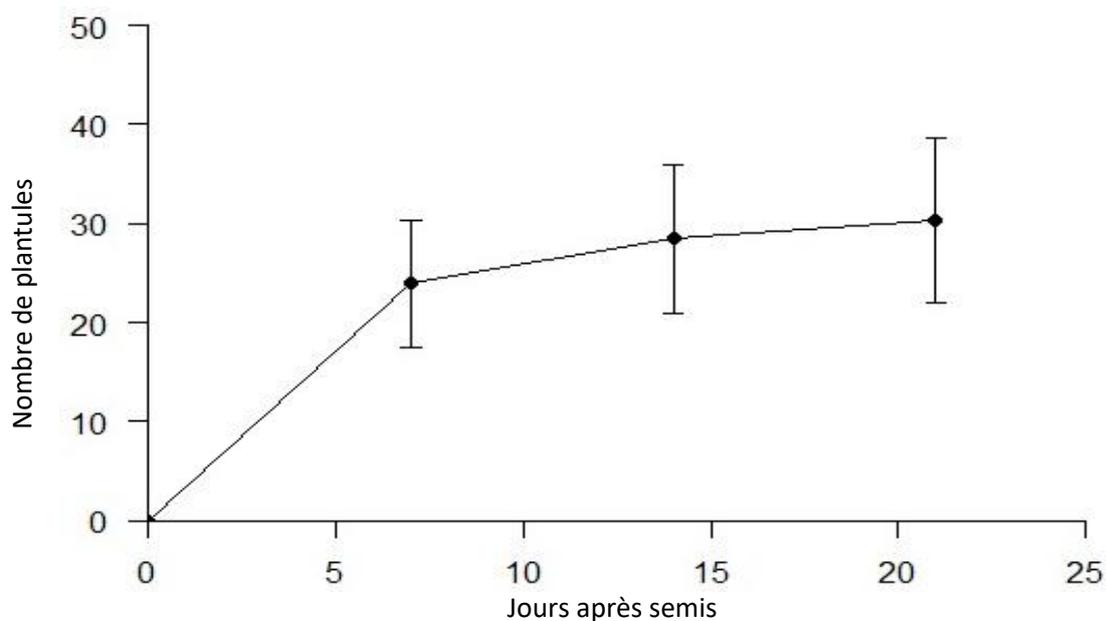


Figure 24 : Evolution moyenne (± 2 ES) sur trois semaines du nombre de plantules à partir de l'ensemencement de trois capsules sur papier humidifié en barquette

3.3. PARAMETRES DE GERMINATION

Au total 27 pots n'ont eu aucune germination et 13 n'en ont eu qu'une seule (Annexe 10). En moyenne $5,8 \pm 0,7$ graines (SE, $n = 100$) ont germé par pot pour un maximum de 31 plantules. La germination suit globalement une fonction logistique (Figure 25). Les indices de germination sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Indices de germination calculés à l'aide du package *germinationmetrics*.

Indice de germination	n	Moyenne \pm SE
Pourcentage final de germination (FGP)	100	$5,82 \pm 0,73$
Temps de première germination (t_0)	73	$3,82 \pm 0,08$
Temps de dernière germination (t_g)	73	$5,93 \pm 0,18$
Période germinative (FG)	73	$2,11 \pm 0,22$
Temps de germination médian (t_{50})	73	$4,17 \pm 0,09$
Coefficient de vélocité de germination (CVG)	73	$22,09 \pm 0,38$
Temps moyen de germination (\bar{T})	73	$4,63 \pm 0,08$

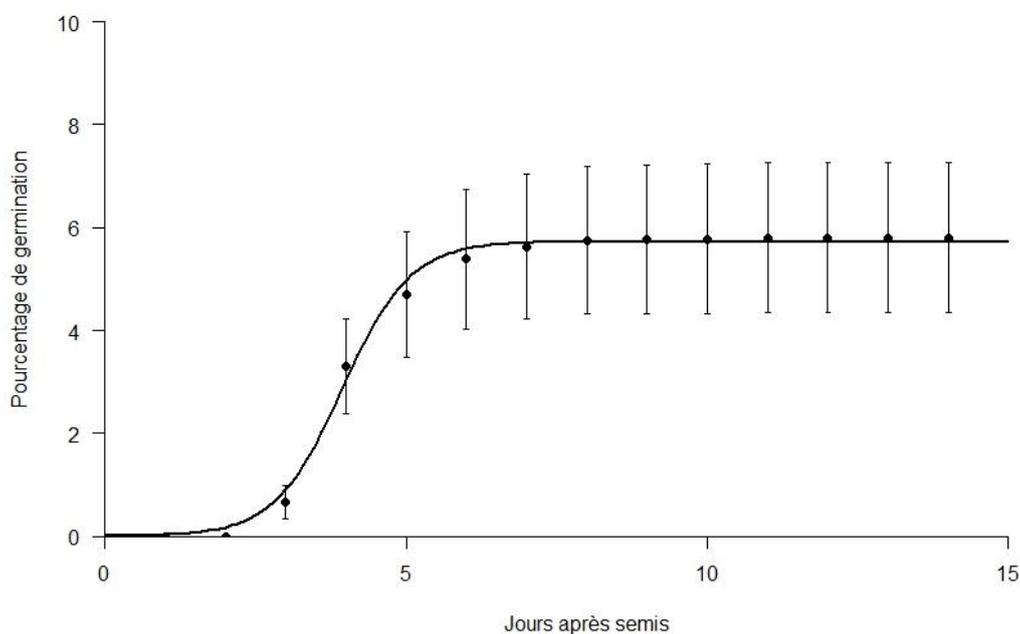


Figure 25 : Pourcentage de germination (± 2 ES) en fonction du nombre de jours après semis. La relation entre le nombre de plantules et le nombre de jours est représentée par une courbe de type logistique (paramètres estimés : $K = 5,74 \pm 0,21$ plantules ; $r = 1,77 \pm 0,57 \text{ jour}^{-1}$; $t_{50} = 3,95 \pm 0,20$ jours).

Le pourcentage final de germination augmente légèrement avec la hauteur de l'arbre (ANOVA, $F = 5,2$; $ddl = 1,98$; $P = 0,025$; Figure 26). Le PFG n'est pas corrélé avec l'âge de l'infrutescence ($R^2 = 0,06$; ANOVA, $F = 1,14$; $ddl = 1,98$; $P = 0,34$; Annexe 11), ni avec l'interaction entre la hauteur de l'arbre et l'âge de l'infrutescence (ANOVA, $F = 0,4$; $ddl = 1,96$; $P = 0,55$).

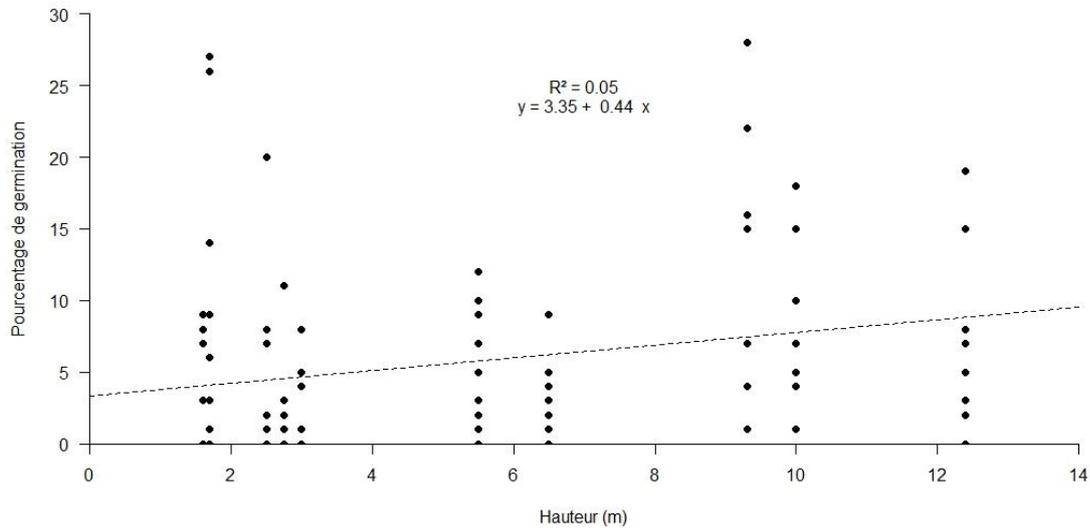


Figure 26 : Relation entre le pourcentage de germination final et la hauteur de l'arbre.

Le PFG augmente avec le diamètre des capsules (ANOVA, $F = 27,7$; $ddl = 1,298$; $P < 0,0001$; Figure 27), avec le nombre de graines présentes dans les capsules (ANOVA, $F = 12,3$; $ddl = 1,298$; $P = 0,0005$; Figure 28) et avec la masse moyenne d'une graine (ANOVA, $F = 8,79$; $ddl = 1,98$; $P = 0,0038$; Figure 29).

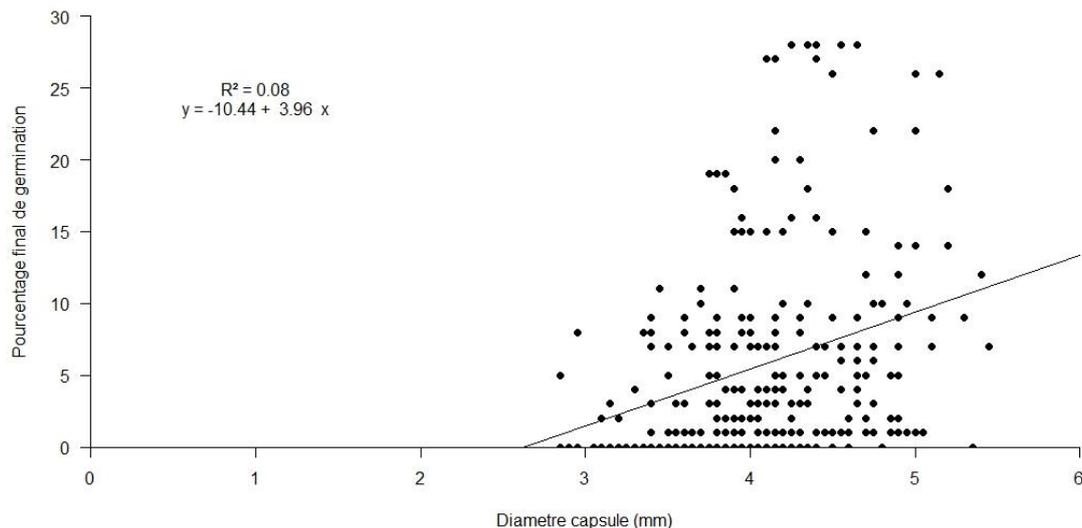


Figure 27 : Relation entre le pourcentage de germination final et la taille des capsules.

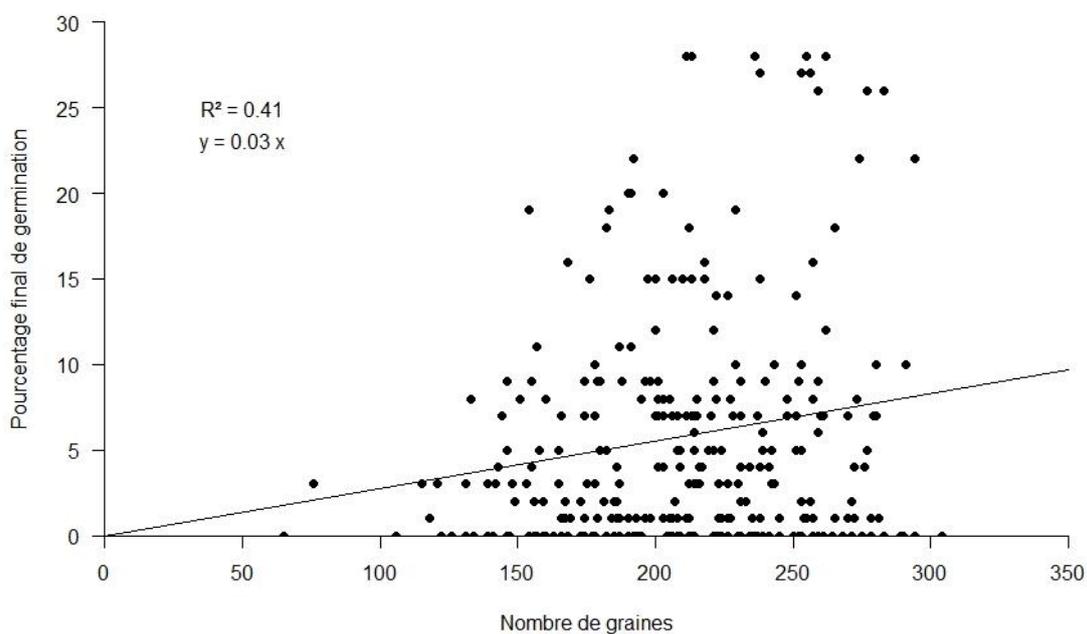


Figure 28 : Relation entre le pourcentage de germination final et le nombre de graines par capsule.

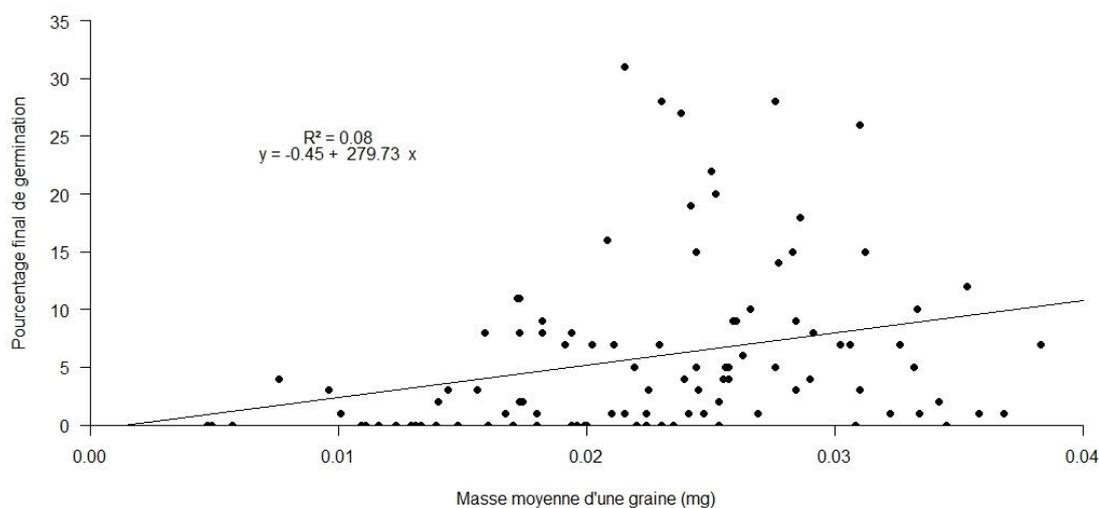


Figure 29 : Relation entre le pourcentage final de germination et la masse d'une graine.

3.4. CONDITIONS DE GERMINATION

Chaque lot se comporte différemment au cours du temps (Annexe 12) mais la germination des graines suit globalement une fonction logistique au cours du 1^{er} mois (Figure 30). Les paramètres estimés de ces fonctions, K , r et τ , sont synthétisés dans le Tableau 3. Les pots au sec, à l'ombre et avec la terre de savane ont le taux de germination (r) le plus important, ceux en forêt humide à la lumière le plus faible. Les pots en terre de savane humide à la lumière ont eu un nombre de germinations le plus important, ceux en terre de savane sec à la lumière le plus faible.

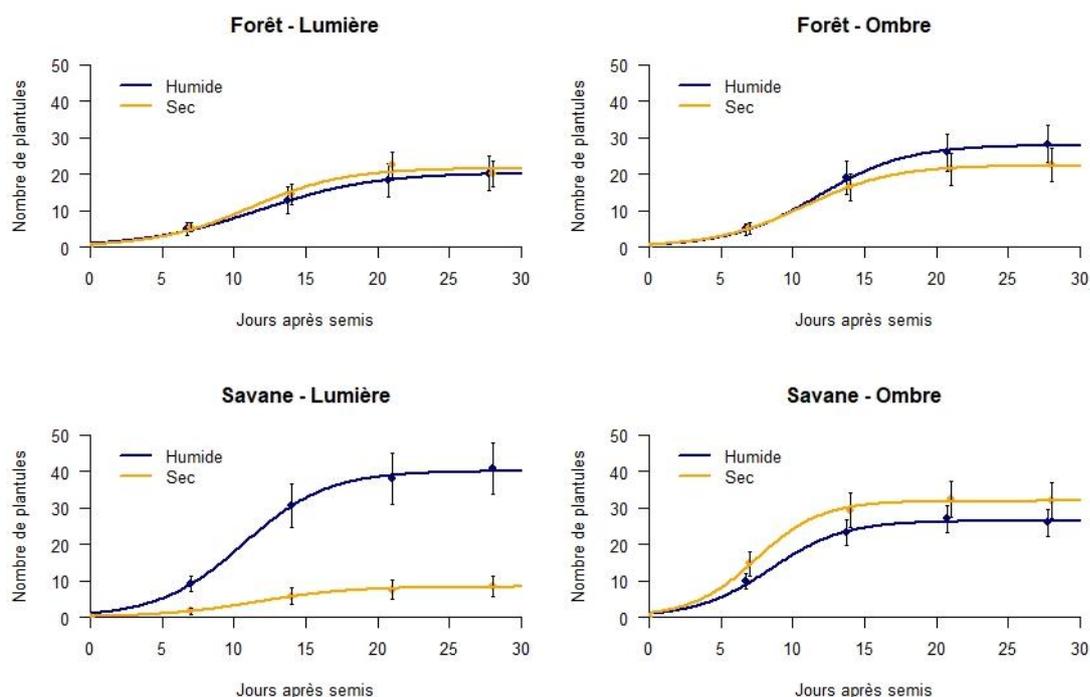


Figure 30 : Nombre de plantules avec ajustement de la régression non linéaire en fonction du temps sur le 1^{er} mois, par rapport aux différentes conditions.

Tableau 3 : Valeurs estimées des paramètres du modèle logistique du nombre de plantules par pot ajusté sur une période de quatre semaines après semis selon le type de substrat, la pluviométrie et l'ensoleillement.

Substrat	Pluviométrie	Ensoleillement	Paramètres estimés		
			K	r	τ
Savane	Humide	Ombre	$26,40 \pm 1,10$	$0,39 \pm 0,10$	$8,43 \pm 0,69$
		Lumière	$40,08 \pm 2,15$	$0,34 \pm 0,08$	$10,61 \pm 0,90$
	Sec	Ombre	$31,86 \pm 1,42$	$0,44 \pm 0,17$	$7,43 \pm 0,65$
		Lumière	$8,37 \pm 0,95$	$0,31 \pm 0,14$	$11,56 \pm 1,85$
Forêt	Humide	Ombre	$27,95 \pm 1,67$	$0,33 \pm 0,08$	$11,74 \pm 0,95$
		Lumière	$20,34 \pm 1,84$	$0,25 \pm 0,08$	$11,83 \pm 1,52$
	Sec	Ombre	$22,40 \pm 1,41$	$0,32 \pm 0,08$	$10,79 \pm 1,05$
		Lumière	$21,62 \pm 1,16$	$0,31 \pm 0,06$	$11,14 \pm 0,89$

Au bout du 1^{er} mois, la germination a été significativement plus importante en condition humide que sèche, en savane qu'en forêt et à l'ombre plutôt qu'à la lumière (Tableau 4). Quel que soit le substrat, la germination est plus importante en condition humide à l'ombre et quel que soit l'ensoleillement, la germination est plus importante dans la terre de savane humide.

La germination en terre de savane sèche et ensoleillée est significativement plus faible que celle des autres traitements. Celle des plantules cultivées en terre de savane humide et ensoleillée est significativement plus élevée, à l'exception de ceux en terre de savane sèche à l'ombre (Figure 31).

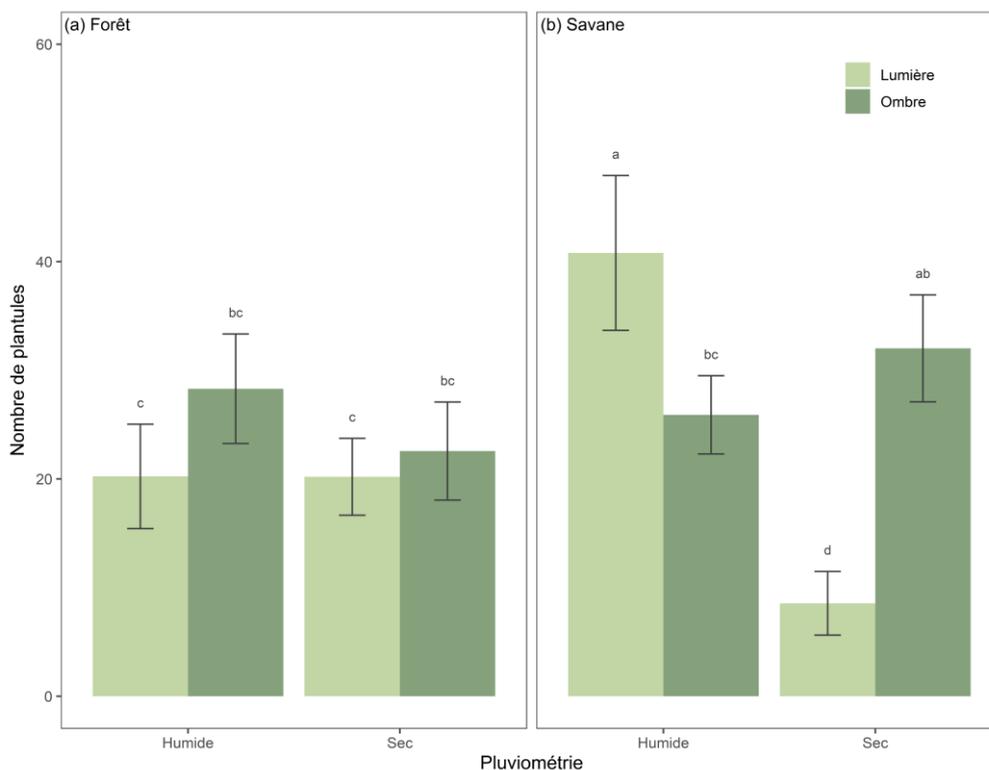


Figure 31 : Nombre moyen de plantules (± 2 ES) par pot au bout de 28 jours selon le substrat, la pluviométrie et l'ensoleillement. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes au test HSD de Tuckey-Kramer à 5%.

Au cours du 2nd mois, la mortalité augmente significativement à l'ombre, particulièrement en terre de savane, alors que les plantules à la lumière se maintiennent ou germent encore légèrement. L'évolution du nombre de plantules est significativement meilleure pour les traitements humides que secs, où la mortalité augmente (Figure 31).

Au bout de deux mois, le nombre final de plantules est significativement plus important en condition humide continue ainsi qu'à la lumière. Le nombre final de plantules est significativement plus faible en terre de savane à l'ombre et est légèrement plus important en savane humide pendant deux mois (Figure 32).

Sans données morphologiques relevées, la croissance des plantules est, par ordre décroissant, meilleure en forêt ensoleillée, en savane ensoleillée et moindre à l'ombre (Figure 33).

Les nombres moyens de plantules selon les conditions testées au bout de 28 et 56 jours sont présentés en Annexe 13 et Annexe 14.

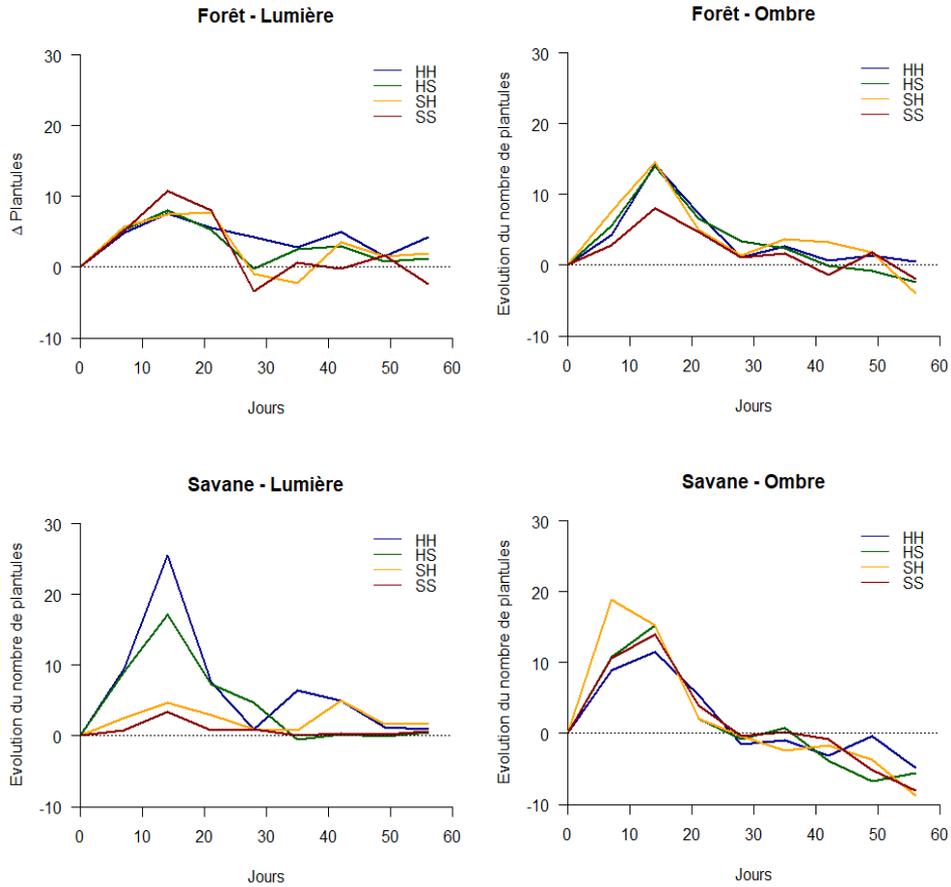


Figure 32 : Évolution hebdomadaire du nombre de plantules par pot selon le substrat, l'ensoleillement et le régime pluviométrique.

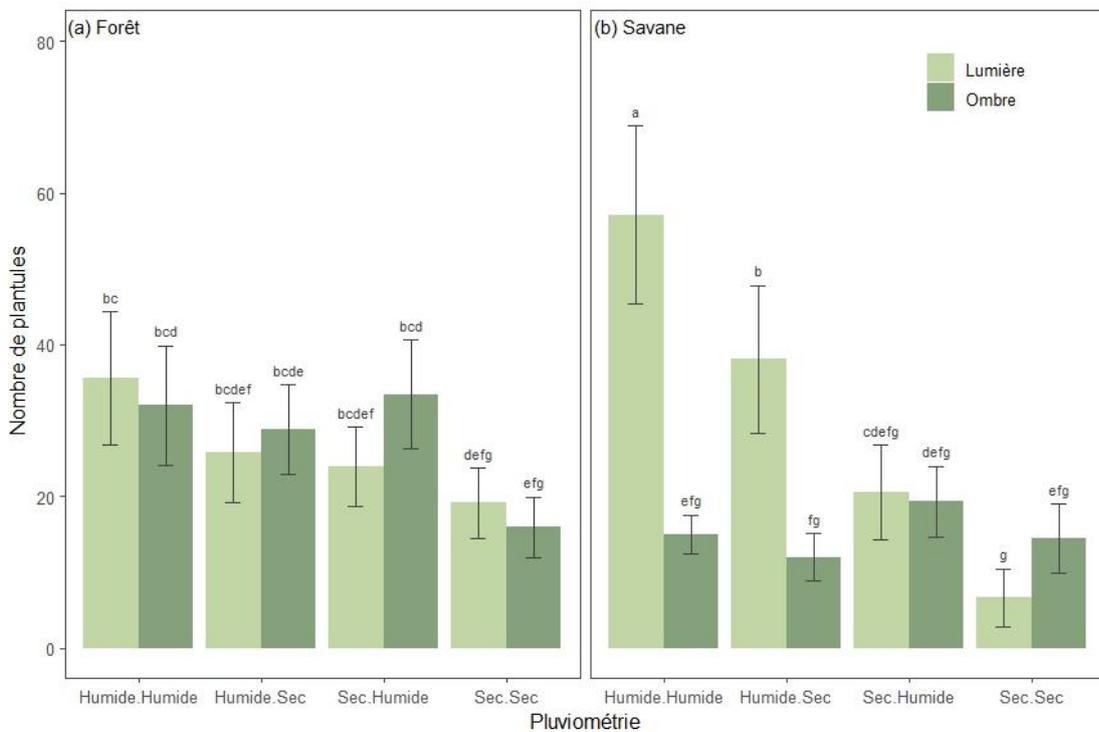


Figure 33 : Nombre moyen de plantules (± 2 ES) par pot au bout de 56 jours selon le substrat, le régime pluviométrique et l'ensoleillement. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes au test HSD de *Tukey-Kramer* à 5%.

Tableau 4 : Analyse de déviance pour les modèles linéaires généralisés (GLM) [GLM avec erreur quasipoissonnienne sur le 1^{er} mois et avec erreur gaussienne sur le 2nd mois et sur toute la durée de l'expérimentation de 2 mois] ajustés aux données sur l'évolution du nombre de plantules. Les effets significatifs ($P < 0,05$) sont indiqués en gras.

Δt (jours)	Facteur	d.d.l.	F	P
[0 -28]	Pluviométrie	1	23,3	< 0,001
	Ensoleillement	1	8,3	0,004
	Substrat	1	5,8	0,016
	Pluviométrie x Ensoleillement	1	30,5	< 0,001
	Pluviométrie x Substrat	1	7,5	0,007
	Ensoleillement x Substrat	1	0,0	0,987
	Pluviométrie x Substrat x Ensoleillement	1	48,7	< 0,001
	[28 -56]	Pluviométrie	1	55,3
Ensoleillement		1	237,8	< 0,001
Substrat		1	110,7	< 0,001
Pluviométrie x Ensoleillement		1	9,2	0,003
Pluviométrie x Substrat		1	0,1	0,797
Ensoleillement x Substrat		1	96,1	< 0,001
Pluviométrie x Substrat x Ensoleillement		1	7,7	0,006
[0 - 56]		Pluviométrie	1	31,3
	Ensoleillement	1	20,9	< 0,001
	Substrat	1	6,4	0,012
	Pluviométrie x Ensoleillement	1	11,5	< 0,001
	Pluviométrie x Substrat	1	3,8	0,011
	Ensoleillement x Substrat	1	29,8	< 0,001
	Pluviométrie x Substrat x Ensoleillement	1	11,0	< 0,001



Figure 34 : Exemple de germination au bout de 2 mois de chaque condition expérimentale. Les pots sont disposés suivant leur position dans la serre, voir Figure 14.

3.5. EFFET DE L'INONDATION SUR LES JEUNES PLANTS

3.5.1. EFFET DE L'INONDATION SUR LA SURVIE DES JEUNES PLANTS

La différence entre la survie des plantules à l'inondation et celle des témoins n'est pas significative (χ^2 ; $P = 0,1$). Au bout de la 6^{ème} semaine, 25 % des jeunes plants inondés et 8% des témoins n'ont pas survécu (Figure 35).

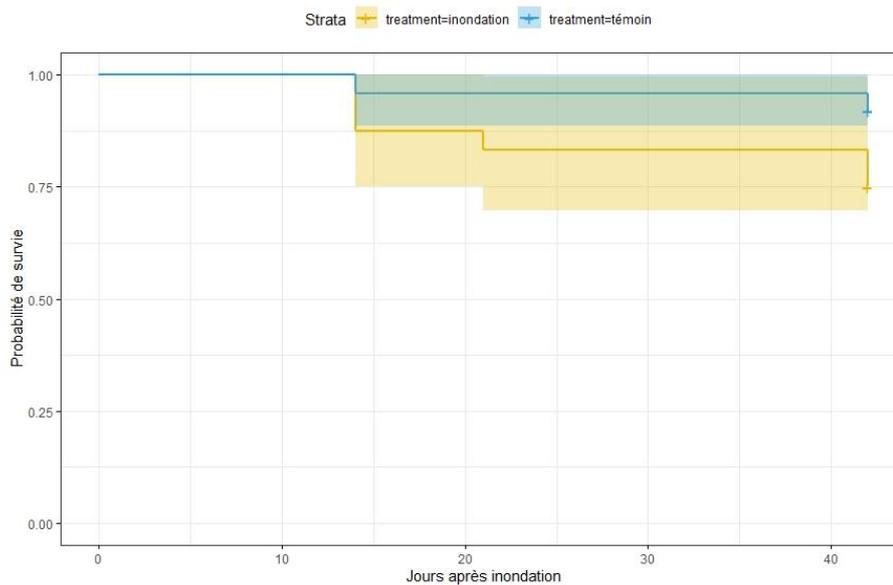


Figure 35 : Probabilité de survie des jeunes plants en fonction du nombre de jours d'inondation et du traitement (témoin ou inondé).

La survie entre les plants inondés et témoins de la savane « Passoura 1 » est significativement différente (χ^2 ; $P = 0,03$), mais pas celle entre les traitements de la savane « Passoura 2 » (χ^2 ; $P = 0,3$; Figure 36).

Les jeunes plants inondés de la savane « Passoura 1 » ont perdu 43% de leur effectif contre 7 % pour le traitement témoin. Les jeunes plants inondés de la savane « Passoura 2 » n'ont pas perdu d'individus contre 9 % pour les plants témoins.

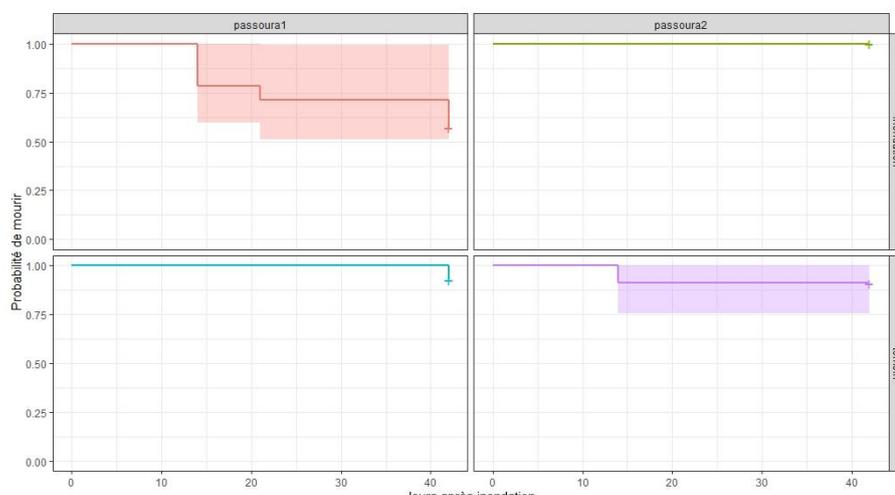


Figure 36 : Probabilité de survie des jeunes plants en fonction du nombre de jour d'inondation, du le traitement et du type de substrat.

3.5.2. EFFET DE L'INONDATION SUR LA CROISSANCE DES JEUNES PLANTS

La croissance moyenne des plants inondés est de $0,50 \pm 0,09$ cm (SE, $n = 18$) et est de $0,84 \pm 0,09$ cm (SE, $n = 23$) pour les plants témoins. En moyenne, les jeunes plants inondés ont eu une croissance significativement inférieure par rapport aux jeunes plants témoins (test de Wilcoxon, $P = 0,016$; Figure 37).

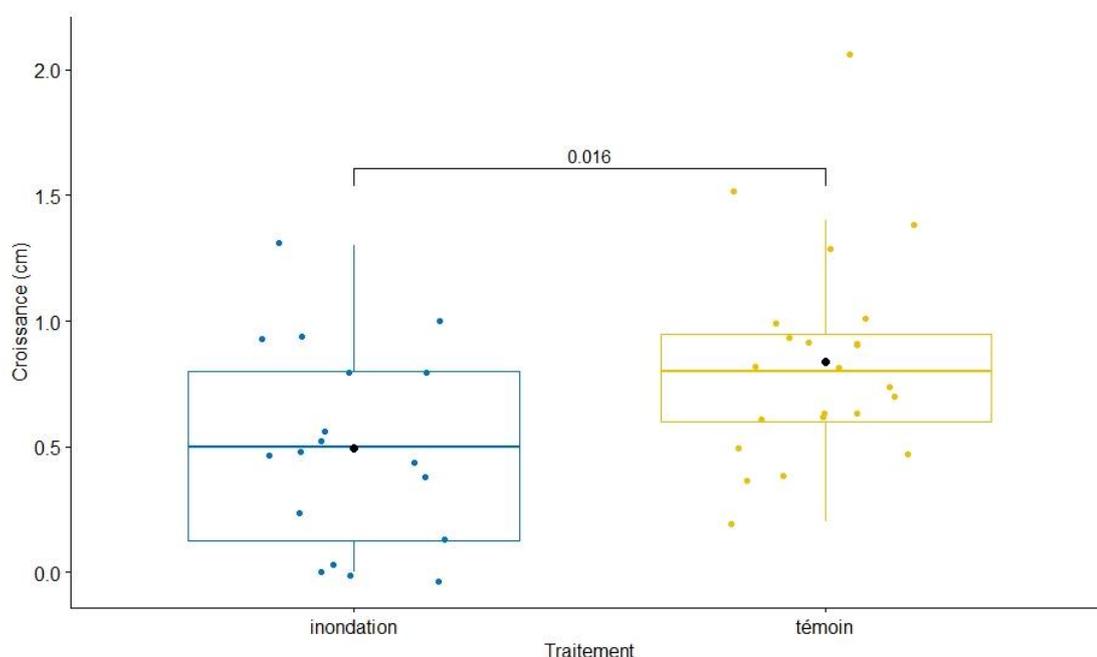


Figure 37 : Croissance totale des jeunes plants en fonction de leur traitement, avec la moyenne (point noir) et la p-values du test de Wilcoxon.

La croissance moyenne des jeunes plants récoltés dans la 1^{ère} zone de la savane Passoura est significativement différente de celle des jeunes plants récoltés dans la 2^{ème} zone (test de Wilcoxon, $P = 0,003$).

La croissance moyenne des jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone est de $0,21 \pm 0,08$ cm (SE, $n = 8$), celles des témoins de la même zone est de $0,68 \pm 0,07$ cm (SE, $n = 13$). La moyenne des jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone est significativement inférieure de celle des jeunes plants témoins de la même zone (test de Wilcoxon, $P = 0,001$).

La croissance moyenne des jeunes plants inondés de la 2^{ème} zone est de $0,72 \pm 0,11$ cm (SE, $n = 10$), celles des témoins de la même zone est de $1,10 \pm 0,16$ cm (SE, $n = 10$). La moyenne des jeunes plants inondés de la 2^{ème} zone n'est pas significativement différente de celle des jeunes plants témoins de la même zone (test de Wilcoxon, $P = 0,13$; Figure 38).

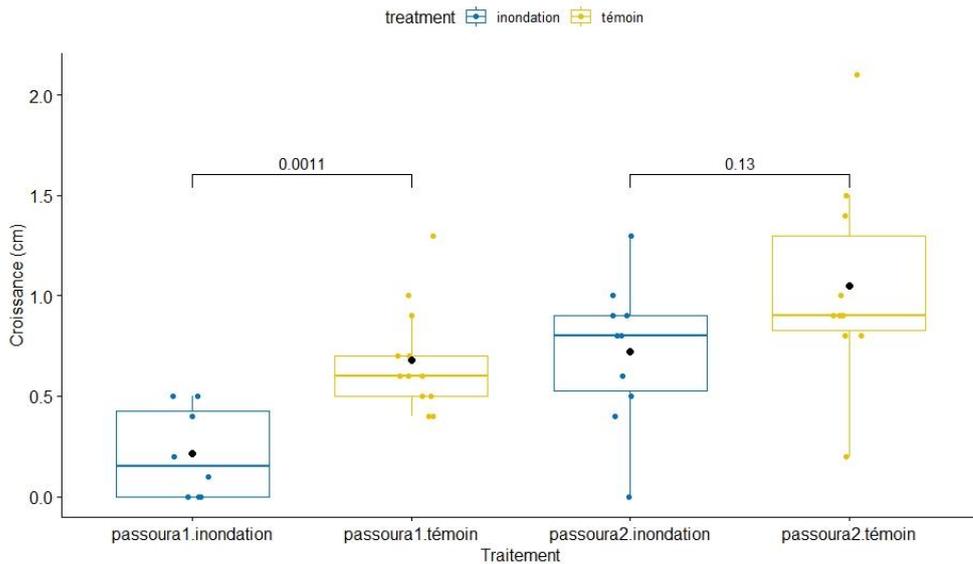


Figure 38 : Comparaison de la croissance totale des jeunes plants de la même savane en fonction de leur traitement, avec les moyennes (point noir) et les p-values du test de Wilcoxon

De manière général, les jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone de la savane ont une croissance significativement inférieure en comparaison deux à deux avec tous les autres traitements (test de Wilcoxon, $P = 0,008$ avec « passoura2.inondation » et $P = 0,001$ avec « passoura2.témoin »).

Les jeunes plants du lot témoin de la 2^{ème} zone ont eu une croissance moyenne significativement supérieure aux deux lots de la 1^{ère} zone (test de Wilcoxon, $P = 0,02$ avec « passoura1.témoin »). Les jeunes plants témoins de la 1^{ère} zone et les jeunes plants inondés de la 2^{ème} zone n'ont pas une croissance significativement différente après 6 semaines (test de Wilcoxon, $P = 0,55$; Figure 39).

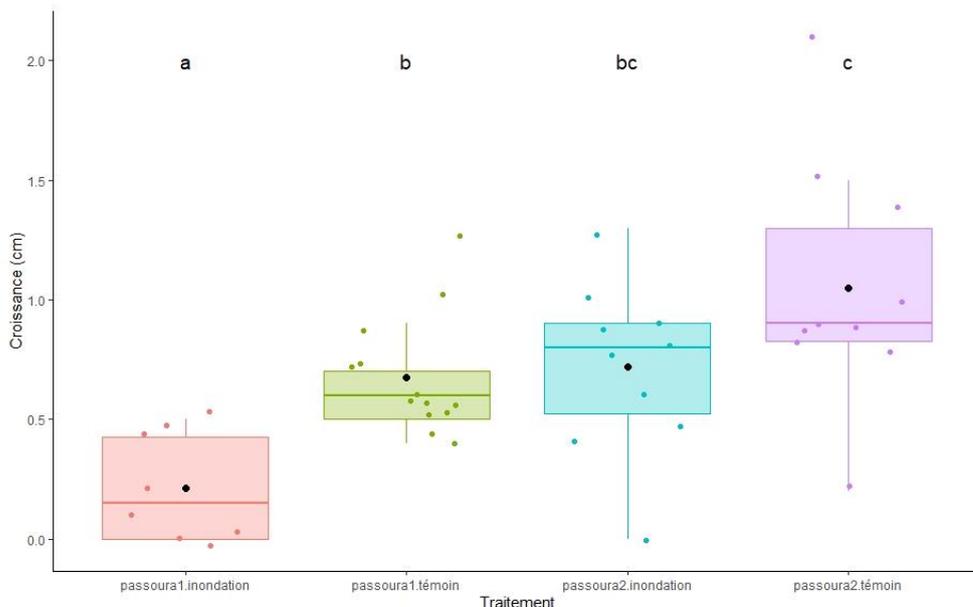


Figure 39 : Croissance totale des jeunes plants en fonction de leur lieu de récolte et de leur traitement, avec la moyenne (point noir) et les différences significatives ou non du test de Wilcoxon indiquée par les lettres.

3.5.3. EFFET DE L'INONDATION SUR LE NOMBRE DE FEUILLES

Les jeunes plants inondés ont perdu en moyenne $1,5 \pm 0,5$ (SE, $n = 18$) feuilles au cours de l'expérience, alors que les jeunes plants témoins en ont gagné en moyenne $0,3 \pm 0,4$ (SE, $n = 23$). Le gain de feuilles des jeunes plants témoins est significativement différent de la perte de feuilles des jeunes plants inondés (test de Wilcoxon, $P = 0,022$; Figure 40).

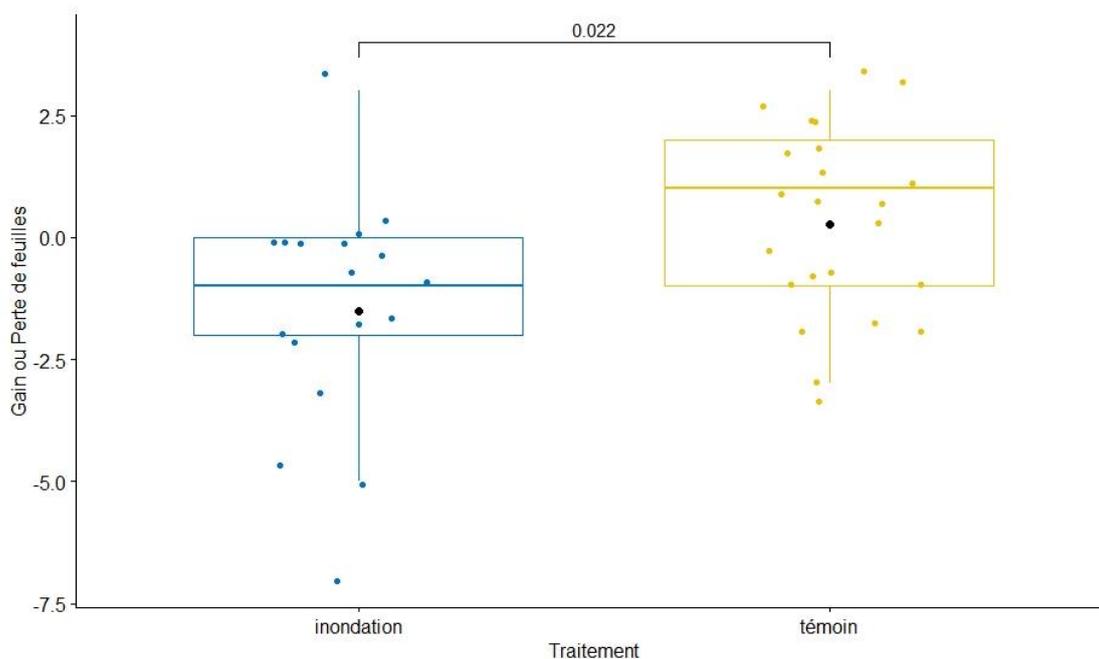


Figure 40 : Nombre de feuilles perdues ou gagnées par les jeunes plants en fonction de leur traitement, avec la moyenne (point noir) et la p-value du test de Wilcoxon.

Les jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone ont perdu en moyenne $2,1 \pm 0,9$ feuilles (SE, $n = 8$), les témoins de la même zone ont gagné $0,4 \pm 0,4$ feuille (SE, $n = 13$). Le nombre de feuilles moyen gagné par les jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone est significativement différent de la perte moyenne de feuilles de ceux de la 2nd zone (test de Wilcoxon, $P = 0,021$; Figure 41).

Les jeunes plants inondés de la 2nd zone ont perdu en moyenne $1 \pm 0,7$ (SE, $n = 10$) feuille, les témoins de la même zone ont gagné $0,1 \pm 0,75$ feuille (SE, $n = 10$). La perte de feuilles des jeunes plants inondés de la 2^{ème} zone n'est significativement différente du gain de feuilles des jeunes plants témoins de la même zone (test de Wilcoxon, $P = 0,42$; Figure 41).

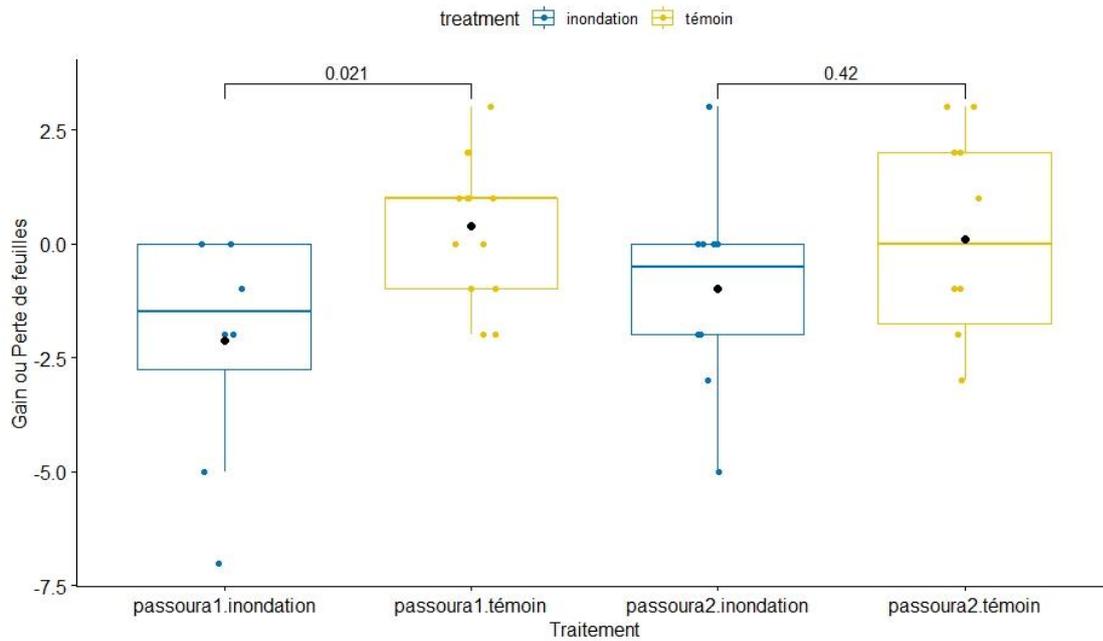


Figure 41 : Nombre de feuilles perdues ou gagnées par les jeunes plants de la même savane en fonction de leur traitement, avec les moyennes (point noir) et les p-values du test de Wilcoxon.

En comparant les lots deux à deux, le nombre de feuilles perdues par les jeunes plants inondés de la 1^{ère} zone de la savane n'est pas de significativement différent de celui des traitements de la 2nd zone (test de Wilcoxon, $P = 0,49$ avec « passoura2.inondation » et $P = 0,17$ avec « passoura2.témoin »).

De même, les jeunes plants du lot témoin de la 1^{ère} zone n'ont pas un gain de feuille significativement différent de celui des lots de la 2nd zone (test de Wilcoxon, $P = 0,09$ avec « passoura2.inondation » et $P = 0,88$ avec « passoura2.témoin » ; Figure 42).

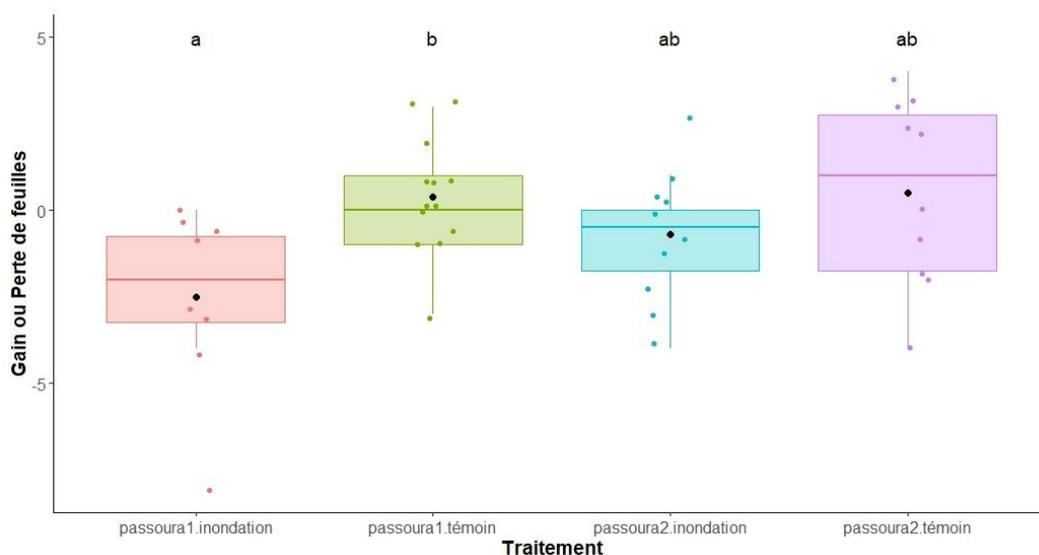


Figure 42 : Évolution du nombre de feuilles des jeunes plants en fonction de leur lieu de récolte et de leur traitement, avec la moyenne (point noir) et les différences significatives ou non du test de Wilcoxon indiquée par les lettres.

3.6. EFFET DE LA SECHERESSE SUR LES PLANTULES

La totalité des plantules sont mortes à la 3^{ème} semaine. A la 2^{ème} semaine, $23,0 \pm 2,7\%$ de l'effectif total a survécu (Figure 43).

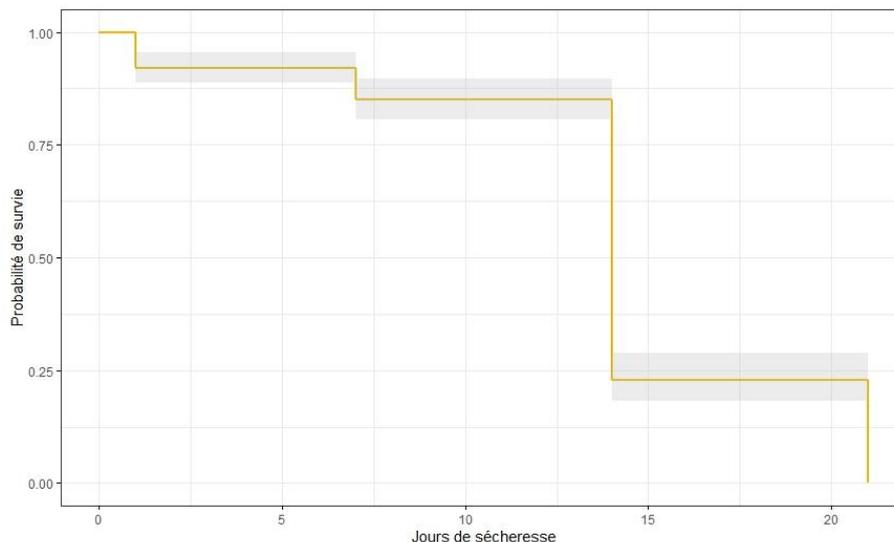


Figure 43 : Probabilité de survie des pots en fonction du nombre de jours de sécheresse.

Les plantules des pots à la lumière et en terre de forêt sont toutes mortes la 2^{ème} semaine. Celles dans les pots au sec depuis 2 mois à la lumière en terre de savane et à l'ombre en terre de forêt ont toutes deux $20,0 \pm 7,3 \%$ de chance de survie à la 2^{ème} semaine et celles en terre de savane à l'ombre meurent toutes à la 2^{ème} semaine.

Les plantules étant au sec uniquement le dernier mois ont $70,0 \pm 8,4 \%$ de chance de survie à la 2^{ème} semaine pour la savane à la lumière, $33 \pm 8,6 \%$ à l'ombre et $40 \pm 8,9 \%$ en forêt à l'ombre (Figure 44).

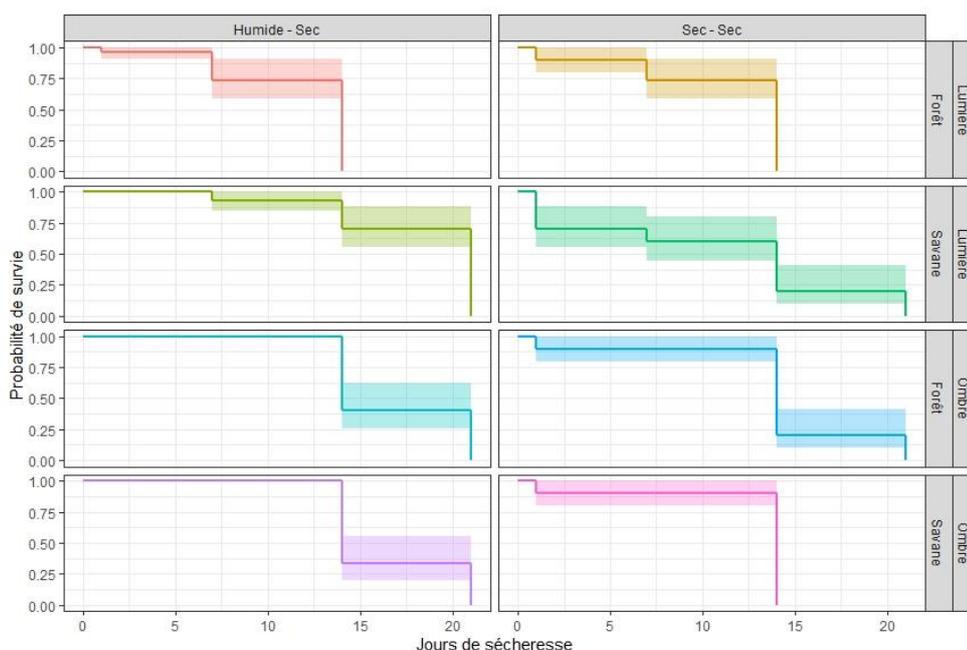


Figure 44 : Probabilité de survie des pots en fonction du nombre de jours de sécheresse, suivant les trois conditions croisées.

4. DISCUSSION

Caractérisation de la banque de graines aérienne

La hauteur fortement corrélée au diamètre n'est pas un résultat surprenant, la croissance en hauteur s'accompagne généralement d'une croissance en épaisseur. Bien que l'échantillonnage n'ait porté que sur 10 arbres, les mesures ont permis d'établir une relation entre leur hauteur et leur DHP. Un échantillonnage plus conséquent devrait permettre d'établir une relation plus solide entre les deux paramètres et d'estimer la hauteur d'un Niaouli à partir de son seul DHP.

Nos données sur la banque de graines peuvent être comparées à celles obtenues par Rayamajhi *et al.* (2002) sur des niaoulis d'Australie et de Floride (Annexe 18). Si la longueur des infrutescences est similaire entre l'Australie, la Floride et la Guyane (5,7 cm, 6,0 cm et 6,1 cm, respectivement), les niaoulis de Guyane présentent des attributs biologiques de la banque de graines aérienne intermédiaires par rapport à ces deux régions. Le nombre moyen de capsules par infrutescence est de 37 en Guyane, contre 18 en Australie et 49 en Floride. De même, le nombre de capsules par centimètre d'infrutescence est de 6,3 contre 3 et 8. Le nombre de graines par infrutescence est très hétérogène mais se situe également en position intermédiaire, avec ~7800 graines par infrutescence, contre ~5000 en Australie et ~13000 en Floride. Cependant, le nombre moyen de graines par capsule est très inférieur en Guyane (~210) par rapport à celui observé en Australie (~271) ou en Floride (~264), ou même que le nombre de 350 graines par capsule mesuré par Meskimen (1962). Notre étude a estimé une moyenne de 41 500 graines dans un gramme, ce qui est supérieur de l'estimation de 30 000 graines par gramme calculée par Meskimen (1962). Cette différence pourrait s'expliquer par la forte variabilité de la masse des graines du Niaouli (Woodall, 1982) ou par des techniques de séchage différentes.

Le nombre d'embryons par graine n'a pas été étudié, mais nous estimons qu'une masse de graines élevée indique une plus grande présence d'embryons. Le test TTC utilisé pour mettre en évidence la respiration embryonnaire des graines (França-Neto & Krzyzanowski, 2019) n'a pas pu être réalisé à défaut de matériel, la comparaison avec les mesures de Rayachhetry *et al.* (1998) n'a donc pas pu être faite.

Notre étude a porté sur des individus localisés sur un front d'invasion, il serait intéressant de comparer les résultats avec des individus présents au sein d'une forêt monospécifique. De même, une étude similaire de la banque de graines pourrait être menée sur d'autres populations de niaoulis en Guyane, notamment dans l'Ouest, vers Mana où le contexte pédoclimatique est différent et où l'invasion semble plus rapide.

Test de germination et paramètres de germination

Les résultats du test de germination ont montré que seulement 10 graines par capsule sont capables de germer. Cette étude préalable nous a permis d'observer que la germination s'effectuait rapidement dans les 7 jours suivant le semis et nous a donc conduit à mener une expérimentation plus précise avec un suivi quotidien des germinations.

L'expérimentation sur les paramètres de germination a permis d'acquérir des données inédites sur le pouvoir germinatif de la banque de graines aérienne des niaoulis en Guyane.

Les graines germent globalement entre le 4^{ème} et le 6^{ème} jour, comme indiqué dans la littérature après 3 jours de mouillage (Myers, 1975).

Trop peu d'études ont été menées sur le pouvoir germinatif des graines de Niaouli pour permettre une comparaison exhaustive de nos résultats. Le pourcentage final de germination obtenu dans notre étude est en moyenne de 5,8 %, ce qui est proche de la valeur observée en Floride, 4,6 % (Rayamajhi *et al.*, 2002) et entre 6,0 et 7,8 % (Rayachhetry *et al.*, 1998). Le pourcentage final de germination maximal obtenu dans notre étude (30 %) est comparable à celui de 28 %, relevé par Myers (1975).

Comme constaté par Woodall (1982), la germination diminue avec la masse des graines. La masse des graines des grands arbres étant légèrement plus élevée, cela pourrait expliquer le pourcentage de germination plus élevé chez les arbres de grande taille.

Notre étude a montré que la germination n'était pas corrélée globalement avec l'âge de l'infrutescence. Ce résultat diffère de l'étude de Rayachhetry *et al.* (1998) qui ont montré que la germination était la plus importante pour les infrutescences en position 3 et 4. Cependant, les infrutescences de l'unité de croissance 2 ont tout de même eu le meilleur taux de germination tel qu'observé à âge intermédiaire (Meskimen, 1962). Nous n'avons cependant pas échantillonné suffisamment d'infrutescences anciennes (Annexe 15), ce qui expliquerait l'absence d'effet de l'âge de l'infrutescence sur le pouvoir germinatif. Pour mieux comprendre la distribution et l'effet de l'âge des infrutescences, des relevés plus exhaustifs sur des arbres portant des infrutescences plus anciennes seraient nécessaires.

Condition de germination

La levée de dormance des graines la plus importante a été obtenue en condition ensoleillée et humide sur le substrat de savane. Ce résultat paraît cohérent à la vue de l'habitat du Niaouli dans le monde. Sélectionnées et adaptées à son environnement, les graines s'épanouissent mieux dans les écosystèmes ouverts et hydromorphes.

L'exposition au soleil n'est pas nécessaire pour induire la germination mais celle-ci est meilleure en condition de pleine lumière (Meskimen, 1962 ; Woodall, 1978). Cependant dans notre étude, la germination des graines a été relativement meilleure à l'ombre. Cette différence pourrait s'expliquer par la condition lumineuse dans la serre qui était légèrement atténuée par l'ombrière. De plus, comme le comptage du nombre de plantules en l'absence de lumière était relativement difficile, il se peut que nous ayons surestimé le nombre de plantules, bien que cet éventuel biais soit peu probable au cours des 8 comptages hebdomadaires.

La germination favorisée par des conditions humides continues observée par Myers (1975) n'est ici pas particulièrement mise en évidence (sauf pour les traitements de savane à la lumière). Le minuteur sensé réguler la pluviométrie a présenté des défaillances au cours des 2 premières semaines, arrosant excessivement l'ensemble des pots. Il est donc raisonnable d'envisager que la levée de dormance dans les conditions sèches a été favorisée par un excès d'eau temporairement incontrôlé. Comme la germination est plus ou moins continue au cours des 2 mois et pas uniquement sur la première semaine comme observée dans les tests de germination précédents, nous supposons que le substrat déposé après l'ensemencement a enfoui certaines graines plus que d'autres, induisant ainsi des émergences différées.

La levée de dormance serait plus favorable dans un environnement humide et ensoleillé de la savane. L'épuisement de la banque de graines serait donc plus efficace lorsque les arbres et les graines ne sont pas enfouis, même légèrement, afin d'exposer celles-ci à la lumière

directe du soleil et ce lorsque les précipitations sont encore relativement importantes.

Au cours du 2nd mois, la mortalité des plantules à l'ombre peut s'expliquer par la verse de celles-ci du fait d'un étiolement important. Les plantules ont effectivement bien germé, mais leur croissance a très vite ralenti comme nous pouvons l'observer sur la photo finale des plantules par traitement (Figure 34). L'énergie a été allouée dans la croissance en hauteur pour atteindre la lumière au détriment de la croissance en largeur. Cela a eu pour effet de déséquilibrer les plantules qui n'ont plus pu se tenir droites à partir de la 5^{ème} semaine et sont restées collées au substrat. Ce phénomène pourrait expliquer le fait que de nombreuses plantules sont fréquemment observées sous le couvert herbacé aux abords d'un front d'invasion de savane mais que rares sont celles qui arrivent à survivre et à percer ce couvert. L'ombrage pourrait potentiellement être utilisé comme technique d'épuisement de la banque de graines, en particulier si les conditions de sécheresse ne sont pas atteintes en raison du changement climatique qui est susceptible de modifier les précipitations de la saison sèche.

Bien que la biomasse finale n'ait pas été pesée afin de comparer la croissance en terre de savane et de forêt, nous observons très clairement une meilleure croissance en terre de forêt (Figure 34). La germination est elle aussi relativement bonne en terre de forêt, le Niaouli serait susceptible de s'installer dans cet écosystème si celui-ci est perturbé, en particulier si sa canopée s'ouvre, comme nous pouvons le constater lors d'un chablis mais surtout d'un abattis. Il est donc indispensable de surveiller les activités humaines et l'intégrité des communautés arborescentes proches des savanes où le Niaouli est présent.

Effet de l'inondation

Effectuer l'abattage d'une forêt de niaoulis en pleine saison des pluies n'est ni réalisable ni judicieux. En effet, comme indiqué par Hartman (1999), le taux de survie des jeunes plants est trop important pour espérer utiliser l'inondation comme méthode de lutte. Cependant une inondation profonde de plus de deux mois peut induire 20 % de mortalité chez des jeunes arbres (Lockhart *et al.*, 1999). Notre expérience d'inondation s'étendant seulement sur 6 semaines, il se peut que les chances de survie des jeunes plants continuent de diminuer au cours des prochaines semaines.

La maturité des jeunes plants pourrait aussi entrer dans l'équation du taux de survie. En effet, les individus récoltés dans la 2^{ème} zone de la Passoura étaient plus hauts donc plus âgés que ceux de la 1^{ère} zone. Ils avaient donc plus de ressources pour s'acclimater à l'inondation et assurer leur survie. Cette hypothèse est cependant difficilement soutenable à la vue des tests d'inondation des plantules. Bien que nous n'ayons malheureusement pas pu effectuer le comptage précis du nombre de plantules dans les 60 pots inondés pour estimer la probabilité de survie, nous observons tout de même une survie de la globalité des plantules sur les 6 semaines. La mort des jeunes plants inondés serait plutôt l'effet du rempotage, dont les jeunes plants n'auraient pas encore repris toute leur vigueur.

Cela nous rappelle l'étude de Robinson *et al.* (2008) qui ont remarqué que les individus inondés de *Melaleuca ericifolia* devait obligatoirement mettre en place des racines hypocotyles pour survivre à l'inondation, nous supposons que les individus morts n'ont pas réussi à mettre en place ces racines à temps pour survivre (Annexe 16).

Nous observons un ralentissement de la croissance végétative et une perte de feuilles chez les individus inondés. Les plants allouent leur ressource dans la survie plutôt que dans la croissance. Ce résultat confirme nos observations faites dans la savane Passoura, car les

jeunes plants fraîchement sortis de l'inondation montraient des signes d'arrêt de croissance.

Effet de la sécheresse

Comme pour Lockhart *et al.* (1999), la sécheresse tue les plantules. Il apparaît donc convenable d'effectuer les chantiers de lutte contre le Niaouli au début de la saison sèche de Guyane afin de réguler la descendance post-abattage. En effet, trois semaines de sécheresse sont couramment observées en cette saison, ce qui contribuerait à induire une forte mortalité des plantules

L'hypothèse que 27 % des graines viables qui n'ont pas germé après dix jours pouvaient présenter une dormance (Rayachetry *et al.*, 1998) ne se démontre pas dans notre cas. En effet, après la période de sécheresse, aucune nouvelle germination n'a eu lieu à la suite de l'arrosage après trois semaines de sécheresse. Il est cependant possible que les graines soient encore en dormance et germeront plus tard.

Après la saison sèche, la banque de graine aérienne de *Melaleuca quinquenervia* ne devrait plus contenir de graines viables si l'abattage est réalisé au bon moment et que les conditions pluviométriques suivent nos prédictions.

5. CONCLUSION

Notre étude a permis de mettre en évidence les capacités de germination de la banque de graines aérienne de *Melaleuca quinquenervia*, une espèce exotique envahissante en Guyane. Les attributs biologiques de cette banque de graines sont globalement intermédiaires par rapport à ceux observés dans l'aire d'origine du Niaouli (en Australie) et dans une aire où l'espèce est hautement envahissante, en Floride.

Bien que notre étude ait confirmé le faible pourcentage de germination du Niaouli, son importante banque de graines aérienne combinée à une levée de dormance rapide dans les conditions optimales suggère que la gestion de la banque de graines doit faire l'objet d'une attention particulière lors de la mise en œuvre de l'abattage des peuplements.

Des conditions humides continues ont un effet favorable sur la germination mais peuvent l'étaler sur plus d'un mois lorsque les graines sont enfouies. En tenant compte de l'ouverture des capsules qui s'effectue au bout de deux à trois semaines après une coupe, l'abattage des arbres ne doit pas avoir lieu trop tard dans la saison des pluies pour assurer une levée de dormance optimale.

Une fois que les graines se sont pleinement épanouies dans les conditions humides et ensoleillées de la savane, il suffit de deux à trois semaines sans précipitations pour tuer l'intégralité des plantules. La saison sèche guyanaise devrait ainsi jouer le rôle de lutte abiotique.

Afin de minimiser l'effort et les coûts de la lutte, la meilleure période d'abattage se situerait environ un mois avant la fin de la saison humide, en espérant que la période de sécheresse extrême survienne un mois après le début de la saison sèche. Si les conditions d'inondation sont trop importantes à la fin de la saison humide et empêchent l'abattage, ce dernier devra être réalisé le plus tôt possible pour que les plantules ne germent pas trop tard durant la saison sèche et survivent à celle-ci.

Bien qu'encore limité à certaines savanes et zones dégradées, le Niaouli nécessite une surveillance accrue et une gestion raisonnée pour espérer contrer son potentiel d'envahissement. Même si l'espèce n'est présente en Guyane que depuis quelques décennies, elle est néanmoins bien intégrée dans les usages « traditionnels » des communautés locales. Les programmes d'éradication pouvant être mal perçus par la population, il est indispensable d'intégrer à la lutte effective une sensibilisation et un accompagnement de ses usages afin, si ce n'est de l'éradiquer, du moins, de freiner sa propagation dans les savanes du littoral guyanais.

6. REFERENCES

- Acha, E., Aikpe, J. F. A., Adovelande, J., Assogba, M. F., Agossou, G., Sezan, A., Dansou H.P., & D Gbenou, J. 2019. Anti-inflammatory properties of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) ST Blake Myrtaceae (Niaouli) leaves' essential oil. *International Journal of Current Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 6(1), 30-40.
- Amano, T., Coverdale, R., & Peh, K.S.H. 2016. The importance of globalization in driving the introduction and establishment of alien species in Europe. *Ecography*, 39(11), 1118-1128.
- Aravind, J., Vimala, D., Radharani, J., Jacob, S., & Srinivasa, K. 2019. The *germinationmetrics* package: A brief introduction. New Delhi, India: ICAR-National Bureau of Plant Genetic Resources.
- Balciunas, J.K., & Center, T.D. 1991. Biological control of *Melaleuca quinquenervia*: prospects and conflicts. *Proceedings of the Symposium on Exotic Pest Plants*. National Park Service, Denver, Colorado, 1-22.
- Balvanera, P., Pfaff, A., Viña, A., García Frapolli, E., Merino, L., Minang, P. A., & Sidorovich, A. 2019. Status and trends—drivers of change. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany: IPBES.
- Bellard, C., Phillip C., & Blackburn, T.M. 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 12, 20150623.
- Blackburn, T. M., Bellard, C., & Ricciardi, A. 2019. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(4), 203-207.
- Bradley, B. A., Laginhas, B. B., Whitlock, R., Allen, J. M., Bates, A. E., Bernatches, G., Diez, J.M., Early, R., Lenoir, J., Vila, M., & Sorte, C. J. 2019. Disentangling the abundance–impact relationship for invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9919-9924.
- Butchart, S.H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J.P., Almond, R.E., ..., & Watson, R. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164-1168.
- Buzançais, B. 2018. Caractérisation et identité des savanes incluses de la Réserve Naturelle Régionale Trésor. Mémoire de Master, Université de Lille 1 - Association Trésor, Guyane, France, 57 p.
- Cambou, J., Thonnel, A., & Le Bourgeois, T. 2010. Les invasions biologiques en Guyane - 1^{ère} phase : Diagnostic. DEAL Guyane, 166 p.
- CBD, 2010. Decision adopted by the conference of parties to the convention on biological diversity at its tenth meeting. The strategic plan for biodiversity 2011–2020 and the Aichi biodiversity targets. In Proc. Conf. Parties Convention Biol. Diversity, 13 p.

- Chanteur, B., & Reif, X. 2020. Recensement de la population en Guyane : 276 128 habitants au 1^{er} janvier 2018, INSEE, n°131.
- Chapman, D., Purse, B.V., Roy, H.E., & Bullock, J.M. 2017. Global trade networks determine the distribution of invasive non-native species. *Global Ecology and Biogeography*, 26(8), 907-917.
- CNES/ONF 2020. Plan de gestion de la Biodiversité du Centre Spatial Guyanais 2021-2030. Tome 1 : Etat des Lieux et Diagnostic.
- Cohen, A.N., & Carlton, J.T. (1998). Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary. *Science*, 279(5350), 555-558.
- Connell, J.H. 1971. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. *Dynamics of Populations*, 298, 312.
- Connell, J.H., & Lowman, M.D. 1989. Low-diversity tropical rain forests: some possible mechanisms for their existence. *The American Naturalist*, 134(1), 88-119.
- DEAL de Guyane, 2014. ZNIEFF de Guyane : Crique et savanes humides de la Passoura.
- Delnatte, C., & Meyer, J.Y. 2012. Plant introduction, naturalization, and invasion in French Guiana (South America). *Biological Invasions*, 14(5), 915-927.
- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A. C., Gozlan, R. E., Roiz, D., Jarić, I., ..., & Courchamp, F. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592(7855), 571-576.
- Diamond, C., Davis, D., & Schmitz, D.C. 1991. Economic impact statement: the addition of *Melaleuca quinquenervia* to the Florida prohibited aquatic plant list. *Proceedings of the Symposium on Exotic Pest Plants*. US Dept. Interior/National Park Service Washington, 87-110.
- Díaz, S. M., Settele, J., Eduardo, B., Ngo, H.T, Guèze, M., Agard, J., Arneeth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., ..., & Zayas, C. 2019. The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. IPBES: Bonn, Germany.
- Dray, F.A., Bennett, B.C., & Center, T.D. 2006. Invasion history of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) ST Blake in Florida. *Castanea*, 71(3), 210-225.
- Elton, C. S. (1958). The ecology of invasions by animals and plants. Springer Nature.
- França-Neto, J.D.B., & Krzyzanowski, F.C. 2019. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41(3), 359-366.
- Fonty, E., Molino, J.F., Prévost, M.F., & Sabatier, D. 2011. A new case of neotropical monodominant forest: *Spirotropis longifolia* (Leguminosae-Papilionoideae) in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, 27(6), 641-644.
- Gargominy O. 2003. Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d'outre-mer. Collection Planète Nature, Comité français pour l'UICN, Paris, 39–56.

- Geary, T.F., & Woodall, S.L. 1990. *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) ST Blake Melaleuca. *Silvics of North America*, 2, 461-465.
- Girault R. 2016. Hiérarchisation des espèces végétales exotiques envahissantes en Guyane: proposition de méthode. SEPANGUY, DEAL de Guyane.
- Girault, R. & Sillans, P. 2016. Espèces végétales exotiques envahissantes en Guyane : Étude des portes d'entrée. SEPANGUY, DEAL de Guyane.
- Gomes, A.S., & Kozlowski, T.T. 1980. Responses of *Melaleuca quinquenervia* seedlings to flooding. *Physiologia Plantarum*, 49(4), 373-377.
- Grantham, H.S., Duncan, A., Evans, T.D., Jones, K.R., Beyer, H.L., Schuster, R., ..., & Watson, J.E.M. 2020. Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. *Nature Communications*, 11(1), 1-10.
- Granville, J.J. 1986. Les formations végétales de la bande côtière de Guyane française. ORSTOM.
- Haffer, J., & Prance, G.T. 2001. Climatic forcing of evolution in Amazonia during the Cenozoic: on the refuge theory of biotic differentiation. *Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas*, 16(3/4), 579-607.
- Hartman, J.M. 1999. Factors influencing establishment success of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S.T. Blake in Everglades National Park. Chapter 25 in Florida's Garden of Good and Evil.
- Hofstetter, R.H. 1991. The current status of *Melaleuca quinquenervia* in southern Florida. *Proceedings of the Symposium on Exotic Pest Plants*. National Park Service/University of Miami Denver, Florida, 159-176
- Hulme, P.E. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology*, 46(1), 10-18.
- Keane, R.M., & Crawley, M.J. 2002. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(4), 164-170.
- Kleunen, M., Pyšek, P., Dawson, W., Essl, F., Kreft, H., Pergl, J., ..., & Winter, M. 2019. The global naturalized alien Flora (Glo NAF) database.
- Franklin, D.C., Brocklehurst, P.S., Lynch, D., & Bowman, D.M. 2007. Niche differentiation and regeneration in the seasonally flooded *Melaleuca* forests of northern Australia. *Journal of Tropical Ecology*, 23(4), 457-467.
- Laroche, F.B., & Ferriter, A.P. 1992. The rate of expansion of *Melaleuca* in South Florida. *Journal of Aquatic Plant Management*, 30, 62-65.
- Laroche F.B. 1999. *Melaleuca* management plan: Ten years of successful *Melaleuca* management in Florida, 1988-98, 3rd ed. Florida Exotic Pest Plant Council, West Palm Beach, Florida.
- Léotard, G. 2012. Projet LIFE+ Cap DOM: Étude botanique des savanes de Guyane—Rapport final. GEPOG, 125 p.

- Léotard G. & Chaline O. 2013. Inventaire et cartographie de la répartition des espèces végétales invasives en Guyane. DEAL de Guyane.
- Léotard, G. & Stier, A. 2013. Premiers éléments de typologie des habitats de savane du centre littoral Guyanais, GEPOG, 88 p.
- Liu, H., & Stiling, P. 2006. Testing the enemy release hypothesis: a review and meta-analysis. *Biological Invasions*, 8(7), 1535-1545.
- Lockhart, C., Austin, D.F., & Aumen, N.G. 1999. Water level effects on growth of *Melaleuca* seedlings from Lake Okeechobee (Florida, USA) littoral zone. *Environmental Management*, 23(4), 507-518.
- Loope, L., Duever, M., Herndon, A., Snyder, J., & Jansen, D. 1994. Hurricane impact on uplands and freshwater swamp forest. *BioScience*, 44(4), 238-246.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database (Vol. 12). Auckland: Invasive Species Specialist Group.
- Mack, R.N., Simberloff, D., Mark Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10(3), 689-710.
- Mathieu A., Stier A., Roger M. & Ricardou A. 2021a. Plan de lutte contre l'*Acacia mangium* en Guyane. Groupe d'Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane, GEPOG, 108 p.
- Mathieu, A., Roger, M., Stier, A., & Ricardou, A. 2021b. Stratégie de lutte contre le Niaouli en Guyane. Groupe d'Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane, GEPOG, 64 p.
- Marvier, M., Kareiva, P., & Neubert, M.G. 2004. Habitat destruction, fragmentation, and disturbance promote invasion by habitat generalists in a multispecies metapopulation. *Risk Analysis*, 24(4), 869-878.
- Mckey, D. 2019. Pre-Columbian human occupation of Amazonia and its influence on current landscapes and biodiversity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91 (Suppl. 3) : e20190087
- Meskimen, G.F. 1962. A silvical study of the melaleuca tree in south Florida (Doctoral dissertation, University of Florida).
- Mooney, H.A., & Cleland, E.E. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(10), 5446-5451
- Myers, R.L. 1975. The relationship of site conditions to the invading capability of *Melaleuca quinquenervia* in southwest Florida (Doctoral dissertation, University of Florida).
- Myers, R.L. 1983. Site susceptibility to invasion by the exotic tree *Melaleuca quinquenervia* in southern Florida. *Journal of Applied Ecology*, 645-658.

- Nentwig, W. 2008. Biological invasions: why it matters. *In* Biological invasions (pp. 1-6). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Office National des Forêts. 2010. Occupation du sol et dynamique foncière - Bande côtière de la Guyane Française 2001-2008.
- Palisse M., 2014. Savanes de Guyane française : la biodiversité bousculée par la diversité culturelle, ethnographiques.org, Numéro 27 – Biodiversité(S).
- Prado, D.E., & Gibbs, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 902-927.
- Prance, G.T. 1996. Islands in Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society - Biological Sciences*, 351, 823–833.
- Pennington, R.T., Lehmann, C.E.R., & Rowland, L.M. 2018. Tropical savannas and dry forests. *Current Biology*, 28, 541–545.
- Porazinska, D.L., Pratt, P.D., & Gbblin-Davis, R.M. 2007. Consequences of *Melaleuca quinquenervia* invasion on soil nematodes in the Florida Everglades. *Journal of Nematology*, 39(4), 305.
- Pyšek, P., Jarošík, V., Hulme, P. E., Pergl, J., Hejda, M., Schaffner, U., & Vilà, M. 2012. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Global Change Biology*, 18(5), 1725-1737.
- Pyšek, P., Pergl, J., Essl, F., Lenzner, B., Dawson, W., Kreft, H., ..., & Kleunen, M.V. 2017. Naturalized alien flora of the world. *Preslia*, 89(3), 203-274.
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J. T., ..., & Richardson, D.M. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511-1534.
- Rayachhetry, M.B., Van, T.K., & Center, T.D. 1998. Regeneration potential of the canopy-held seeds of *Melaleuca quinquenervia* in south Florida. *International Journal of Plant Sciences*, 159(4), 648-654.
- Rayamajhi, M.B., Van, T.K., Center, T.D., Goolsby, J.A., Pratt, P.D., & Racelis, A. 2002. Biological attributes of the canopy-held melaleuca seeds in Australia and Florida, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, 40, 87-91.
- R Core Team 2021. R, A Language and Environment for Statistical Computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., & West, C.J. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6(2), 93-107.
- Robinson, R.W., Boon, P.I., Sawtell, N., James, E.A., & Cross, R. 2000. Effects of environmental conditions on the production of hypocotyl hairs in seedlings of *Melaleuca ericifolia* (swamp paperbark). *Australian Journal of Botany*, 56(7), 564-573.

- Rostain, S. 2008. Agricultural earthworks on the French Guiana coast. In H. Silverman & W. Isbell (Eds.), *Handbook of South American archaeology* (pp. 217–234). New York, NY: Springer.
- Rostain, S. 2010. Pre-Columbian earthworks in coastal Amazonia. *Diversity*, Special Issue “Long-Term Anthropogenic Influences on the Diversity of Amazonian Landscapes and Biota,” 2(3), 353–369.
- Seebens, H., Blackburn, T.M., Dyer, E.E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Jeschke, J.M., ..., & Essl, F. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8(1), 1-9.
- Serbesoff-King, K. 2003. *Melaleuca* in Florida: a literature review on the taxonomy, distribution, biology, ecology, economic importance and control measures. *Journal of Aquatic Plant Management*, 41(1), 98-112.
- Sieber, I.M., Campagne, C.S., Villien, C., & Burkhard, B. 2021. Mapping and assessing ecosystems and their services: a comparative approach to ecosystem service supply in Suriname and French Guiana. *Ecosystems and People*, 17(1), 148-164.
- Soubeyran, Y. 2008. Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d’outre-mer. Etat des lieux et recommandations. Collection Planète Nature. Comité français de l’UICN, Paris, France.
- Stocker, G.C., & Mott, J.J. 1981. Fire in the tropical forests and woodlands of northern Australia, 427-442.
- Stier, A. & de Pracontal, N. 2015. Manuel technique de gestion des savanes de Guyane. Groupe d’Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane (GEPOG), 67 p.
- Stier, A., De Carvalho, W.D., Rostain, S., Catzeflis, F., Claessens, O., Dewynter, M., ..., & de Thoisy, B. 2020. The Amazonian savannas of French Guiana: cultural and social importance, biodiversity, and conservation challenges. *Tropical Conservation Science*, 13, 1940082919900471.
- Ter Steege, H., Pitman, N.C., Sabatier, D., Baraloto, C., Salomão, R. P., Guevara, J. E., ..., & Silman, M.R. 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*, 342(6156).
- Thai, K.V., Rayamajhi, M.B., & Center, T.D. 2005. Seed longevity of *Melaleuca quinquenervia*: a burial experiment in south Florida. *Journal of Aquatic Plant Management*, 43, 39-42.
- Therneau, T.M., & Lumley, T. 2014. Package ‘survival’. Survival analysis Published on CRAN, 2(3), 119.
- Turner, C.E., Center, T.D., Burrows, D.W., & Buckingham, G.R. 1997. Ecology and management of *Melaleuca quinquenervia*, an invader of wetlands in Florida, USA. *Wetlands Ecology and Management*, 5(3), 165-178.
- UICN France 2015. Synthèse des assises nationales « espèces exotiques envahissantes : vers un renforcement des stratégies d’action » - Orléans, 23, 24 et 25 septembre 2014. Paris, France. 77 pages.

- UICN France, MNHN, GEPOG, Kwata, Biotop, Hydreco, & OSL. 2017. La liste rouge des espèces menacées de France - Chapitre de la Faune vertébrée de Guyane [The red list of threatened species in France - Chapter about the vertebrate fauna of French Guiana]. Paris, France
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J.C., & Simberloff, D. 2008. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions*, 10(8), 1345-1351.
- Vitousek, P.M., d'Antonio, C.M., Loope, L.L., & Westbrooks, R. 1996. Biological invasions as global environmental change.
- Woodall, S.L. 1981. Site requirements for *Melaleuca* seedling establishment. In *Proceedings of Melaleuca symposium*. Sept. 23-24, 1980. (pp. 9-15). Florida Division of Forestry.
- Woodall, S.L. 1982. Seed dispersal in *Melaleuca quinquenervia*. *Florida Scientist*, 81-93.

7. LISTE DES ABREVIATIONS

AgroCampus : Campus Agronomique de Kourou

Cerfa : Centre d'enregistrement et de révision des formulaires administratifs

CNES : Centre National d'Études Spatiales

CSG : Centre Spatial Guyanais

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DGTM : Direction Générale des Territoires et de la Mer

DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine

EEE : Espèce Exotique Envahissante

GEPOG : Groupe d'Étude et de Protection des Oiseaux en Guyane

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

ONF : Office National des Forêts

PK : Point Kilométrique

PVC : Polychlorure de vinyle

RN : Route Nationale

TTC : Chlorure de 2,3,5-Triphénol Tétrazolium

UC : Unité de Croissance

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UMR EcoFoG : Unité Mixte de Recherche Écologie des Forêts de Guyane

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

8. TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : DONNEES MORPHOMETRIQUES SUR LA BANQUE DE GRAINES AERIENNE DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i>	25
TABLEAU 2 : INDICES DE GERMINATION CALCULES A L'AIDE DU PACKAGE <i>GERMINATIONMETRICS</i>	29
TABLEAU 3 : VALEURS ESTIMEES DES PARAMETRES DU MODELE LOGISTIQUE DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT AJUSTE SUR UNE PERIODE DE QUATRE SEMAINES APRES SEMIS SELON LE TYPE DE SUBSTRAT, LA PLUVIOMETRIE ET L'ENSOLEILLEMENT.....	32
TABLEAU 4 : ANALYSE DE DEVIANCE POUR LES MODELES LINEAIRES GENERALISES (GLM) [GLM AVEC ERREUR QUASIPUISSONNIENNE SUR LE 1 ^{ER} MOIS ET AVEC ERREUR GAUSSIENNE SUR LE 2 ND MOIS ET SUR TOUTE LA DUREE DE L'EXPERIMENTATION DE 2 MOIS] AJUSTES AUX DONNEES SUR L'EVOLUTION DU NOMBRE DE PLANTULES. LES EFFETS SIGNIFICATIFS ($P < 0,05$) SONT INDIQUES EN GRAS.....	35

9. TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : ENTREE DANS LA SAVANE PASSOURA AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS (CSG) EN SAISON DES PLUIES, AVEC AU PREMIER PLAN LA SAVANE ET EN ARRIERE-PLAN A GAUCHE UNE FORET SECONDAIRE ET A DROITE LA FORET MONOSPECIFIQUE DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i>	8
FIGURE 2 : SAVANE PASSOURA OCCUPEE EN SON CENTRE PAR UNE FORET DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i>	9
FIGURE 3 : BAS FOND INONDE DE LA SAVANE PASSOURA EN MAI 2021, ZONE D'UN TEST D'ABATTAGE A LA PELLE MECANIQUE DE 2 500 M ² D'UNE FORET MONOSPECIFIQUE DENSE DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i> EN NOVEMBRE 2020.	10
FIGURE 4 : VUE AERIENNE DE L'AGROCAMPUS ET LOCALISATION DE LA SERRE D'EXPERIMENTATIONS ENCADREE EN JAUNE.	10
FIGURE 5 : LOCALISATION D'UNE FORET DE NIAOULI AU MILIEU DE LA SAVANE PASSOURA AU CSG (SITE D'ECHANTILLONNAGE, EN ORANGE) ET DE L'AGROCAMPUS A KOUROU (SITE DES EXPERIMENTATIONS).	11
FIGURE 6 : (A) NIAOULI DE 3 M DE HAUTEUR, (B) ECORCE DESQUAMANTE, (C) TRACES DE BRULURES SUR LE TRONC, (D) FEUILLES ET BOURGEONS, (E) INFLORESCENCE, (F) POLLINISATION PAR UNE GUEPE.	12
FIGURE 7 : FLORAISON D'UNE POPULATION DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i>	13
FIGURE 8 : SUCCESSION DES UNITES DE CROISSANCE FRUCTIFIANTES.	13
FIGURE 9 : VUE A LA LOUPE BINOCULAIRE, (A) D'UNE CAPSULE, (B) D'UNE CAPSULE SANS SA GAINÉ, (C) D'UNE LOGE CONTENANT LES GRAINES ET (D) DES GRAINES.	14
FIGURE 10 : REPOUSES EPICORMIQUES DEUX MOIS APRES L'ABATTAGE (ARBRE N°9).	15
FIGURE 11 : RACINES ADVENTIVES.	15
FIGURE 12 : CONDITIONNEMENTS SUCCESSIFS, (A) DE L'INFRUTESCENCE, (B) DES CAPSULES ET (C) DES GRAINES.	16
FIGURE 13 : CONTENANTS POUR LES TROIS EXPERIENCES DE GERMINATION, (A) TEST DE GERMINATION, (B) PARAMETRES DE GERMINATION ET (C) CONDITIONS DE GERMINATION EN SERRE.	17
FIGURE 14 : DISPOSITION DES LOTS DE CULTURE, UN LOT DE CHAQUE CONDITION A ETE DEPLACE AU BOUT D'UN MOIS, COMME INDIQUE PAR LES DOUBLES FLECHES.	18
FIGURE 15 : DISPOSITION INTERNE DE LA SERRE. LES QUATRE TABLES DU FOND SONT A L'OMBRE, LA BACHE CENTRALE DELIMITE LA PARTIE « HUMIDE » A DROITE ET LA PARTIE « SECHE » A GAUCHE ET LES PARES DE TABLES SUPPORTENT RESPECTIVEMENT 60 POTS CONTENANT DE LA TERRE DE SAVANE SUR CELLES DE GAUCHE ET 60 POTS CONTENANT DE LA TERRE DE FORET SUR CELLES DE DROITE.	19
FIGURE 16 : (A) INONDATION DES JEUNES PLANTS ET (B) JEUNES PLANTS TEMOINS.	20
FIGURE 17 : TUBES EN PVC POUR INONDER LES POTS CONTENANT LES PLANTULES.	20
FIGURE 18 : RELATION ENTRE LA HAUTEUR ET LE DHP.	25
FIGURE 19 : RELATION ENTRE LE NOMBRE DE CAPSULE PAR INFRUTESCENCE ET LA HAUTEUR.	26
FIGURE 20 : RELATION ENTRE LE DIAMETRE DES CAPSULES ET LEUR NOMBRE DE GRAINES.	26
FIGURE 21 : RELATION ENTRE LE NOMBRE DE GRAINES ESTIME PAR INFRUTESCENCE ET LA HAUTEUR DE L'ARBRE.	27
FIGURE 22 : RELATION ENTRE LA MASSE MOYENNE D'UNE GRAINE ET LA HAUTEUR DE L'ARBRE.	27
FIGURE 23 : RELATION ENTRE L'AGE DES INFRUTESCENCES ET LA HAUTEUR DE L'ARBRE.	28
FIGURE 24 : EVOLUTION MOYENNE (± 2 ES) SUR TROIS SEMAINES DU NOMBRE DE PLANTULES A PARTIR DE L'ENSEMENCEMENT DE TROIS CAPSULES SUR PAPIER HUMIDIFIE EN BARQUETTE.	28
FIGURE 25 : POURCENTAGE DE GERMINATION (± 2 ES) EN FONCTION DU NOMBRE DE JOURS APRES SEMIS. LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE PLANTULES ET LE NOMBRE DE JOURS EST REPRESENTEE PAR UNE COURBE DE TYPE LOGISTIQUE (PARAMETRES ESTIMES : $K = 5,74 \pm 0,21$ PLANTULES ; $R = 1,77 \pm 0,57$ JOUR ⁻¹ ; $T_{50} = 3,95 \pm 0,20$ JOURS).	29
FIGURE 26 : RELATION ENTRE LE POURCENTAGE DE GERMINATION FINAL ET LA HAUTEUR DE L'ARBRE.	30
FIGURE 27 : RELATION ENTRE LE POURCENTAGE DE GERMINATION FINAL ET LA TAILLE DES CAPSULES.	30
FIGURE 28 : RELATION ENTRE LE POURCENTAGE DE GERMINATION FINAL ET LE NOMBRE DE GRAINES PAR CAPSULE.	31
FIGURE 29 : RELATION ENTRE LE POURCENTAGE FINAL DE GERMINATION ET LA MASSE D'UNE GRAINE.	31
FIGURE 30 : NOMBRE DE PLANTULES AVEC AJUSTEMENT DE LA REGRESSION NON LINEAIRE EN FONCTION DU TEMPS SUR LE 1 ^{ER} MOIS, PAR RAPPORT AUX DIFFERENTES CONDITIONS.	32
FIGURE 31 : NOMBRE MOYEN DE PLANTULES (± 2 ES) PAR POT AU BOUT DE 28 JOURS SELON LE SUBSTRAT, LA PLUVIOMETRIE ET L'ENSOLEILLEMENT. LES MOYENNES QUI NE PARTAGENT PAS LA MEME LETTRE SONT SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES AU TEST HSD DE TUCKEY-KRAMER A 5%.	33
FIGURE 32 : ÉVOLUTION HEBDOMADAIRE DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT SELON LE SUBSTRAT, L'ENSOLEILLEMENT ET LE REGIME PLUVIOMETRIQUE.	34

FIGURE 33 : NOMBRE MOYEN DE PLANTULES (± 2 ES) PAR POT AU BOUT DE 56 JOURS SELON LE SUBSTRAT, LE REGIME PLUVIOMETRIQUE ET L'ENSOLEILLEMENT. LES MOYENNES QUI NE PARTAGENT PAS LA MEME LETTRE SONT SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES AU TEST HSD DE <i>TUCKEY-KRAMER</i> A 5%.	34
FIGURE 34 : EXEMPLE DE GERMINATION AU BOUT DE 2 MOIS DE CHAQUE CONDITION EXPERIMENTALE. LES POTS SONT DISPOSES SUIVANT LEUR POSITION DANS LA SERRE, VOIR FIGURE 14.	35
FIGURE 35 : PROBABILITE DE SURVIE DES JEUNES PLANTS EN FONCTION DU NOMBRE DE JOURS D'INONDATION ET DU TRAITEMENT (TEMOIN OU INONDE).	36
FIGURE 36 : PROBABILITE DE SURVIE DES JEUNES PLANTS EN FONCTION DU NOMBRE DE JOUR D'INONDATION, DU LE TRAITEMENT ET DU TYPE DE SUBSTRAT.	36
FIGURE 37 : CROISSANCE TOTALE DES JEUNES PLANTS EN FONCTION DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LA MOYENNE (POINT NOIR) ET LA P-VALUES DU TEST DE <i>WILCOXON</i>	37
FIGURE 38 : COMPARAISON DE LA CROISSANCE TOTALE DES JEUNES PLANTS DE LA MEME SAVANE EN FONCTION DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LES MOYENNES (POINT NOIR) ET LES P-VALUES DU TEST DE <i>WILCOXON</i>	38
FIGURE 39 : CROISSANCE TOTALE DES JEUNES PLANTS EN FONCTION DE LEUR LIEU DE RECOLTE ET DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LA MOYENNE (POINT NOIR) ET LES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES OU NON DU TEST DE <i>WILCOXON</i> INDIQUEE PAR LES LETTRES.	38
FIGURE 40 : NOMBRE DE FEUILLES PERDUES OU GAGNEES PAR LES JEUNES PLANTS EN FONCTION DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LA MOYENNE (POINT NOIR) ET LA P-VALUE DU TEST DE <i>WILCOXON</i>	39
FIGURE 41 : NOMBRE DE FEUILLES PERDUES OU GAGNEES PAR LES JEUNES PLANTS DE LA MEME SAVANE EN FONCTION DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LES MOYENNES (POINT NOIR) ET LES P-VALUES DU TEST DE <i>WILCOXON</i>	40
FIGURE 42 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE FEUILLES DES JEUNES PLANTS EN FONCTION DE LEUR LIEU DE RECOLTE ET DE LEUR TRAITEMENT, AVEC LA MOYENNE (POINT NOIR) ET LES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES OU NON DU TEST DE <i>WILCOXON</i> INDIQUEE PAR LES LETTRES.	40
FIGURE 43 : PROBABILITE DE SURVIE DES POTS EN FONCTION DU NOMBRE DE JOURS DE SECHERESSE.	41
FIGURE 44 : PROBABILITE DE SURVIE DES POTS EN FONCTION DU NOMBRE DE JOURS DE SECHERESSE, SUIVANT LES TROIS CONDITIONS CROISEES.	41

10. ANNEXES

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1. EVOLUTION DE L'INVASION DE <i>MELALEUCA QUINQUENERVIA</i> ENTRE 1950 ET 2010 SUR NOTRE SITE D'ÉCHANTILLONNAGE DANS LA SAVANE PASSOURA.....	62
ANNEXE 2. TAILLE DE NIAOULIS, CERTAINEMENT RÉALISÉE PAR LES LOCAUX POUR BÉNÉFICIER DE SES VERTUS	63
ANNEXE 3. ARRÊTÉ N° R03-2021-04-23-00003	64
ANNEXE 4. SERRE TUNNEL UTILISÉE POUR LES EXPÉRIMENTATIONS.....	67
ANNEXE 5. COMBINAISONS DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS DANS L'ÉTUDE DES CONDITIONS DE GERMINATION.....	67
ANNEXE 6. ENSEMENCEMENT DES POTS DE CULTURE ET UTILISATION DU POIVRIER POUR DÉLOGER LES GRAINES DES CAPSULES.....	68
ANNEXE 7. VUE DE HAUT DES PLANTULES INONDÉES.....	68
ANNEXE 8. REPRÉSENTATION TOTAL DU POURCENTAGE DE GERMINATION FINAL DE L'EXPÉRIENCE EN BARQUETTE, DE CHAQUE INFRUTESCENCE EN FONCTION DE L'ARBRE ET DE L'ÂGE DE L'INFRUTESCENCE EN COULEUR (NOIR POUR UC N, ROUGE POUR UC N-1, VERT POUR UC N-2, BLEU POUR UC N-3, BLEU CIEL POUR UC N-4 ET MAUVE POUR UC N-5), PONDÉRÉ SUR L'ESTIMATION DU NOMBRE DE GRAINES DE LEUR INFRUTESCENCE.....	69
ANNEXE 9. RELATION ENTRE LE NOMBRE DE GERMINATION FINAL ET LA HAUTEUR.....	69
ANNEXE 10. REPRÉSENTATION TOTAL DU POURCENTAGE DE GERMINATION FINAL DE L'EXPÉRIENCE AVEC 100 GRAINES EN FONCTION DE L'ARBRE, LA BRANCHE ET DE L'ÂGE DE L'INFRUTESCENCE EN COULEUR (NOIR POUR UC N, ROUGE POUR UC N-1, VERT POUR UC N-2, BLEU POUR UC N-3, BLEU CIEL POUR UC N-4 ET MAUVE POUR UC N-5).	70
ANNEXE 11. RELATION ENTRE LE POURCENTAGE FINAL DE GERMINATION ET L'ÂGE DE L'INFRUTESCENCE.	70
ANNEXE 12. EVOLUTION DU NOMBRE DE PLANTULE AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DES LOTS ET DES CONDITIONS DE CULTURE	71
ANNEXE 13. MOYENNE ± ES DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT AU BOUT DE 28 JOURS APRES SEMIS SELON LE TYPE DE SUBSTRAT (TERRE DE SAVANE OU TERRE DE FORET), LE TYPE D'ENSOLEILLEMENT (OMBRE VS LUMIERE DIRECTE) ET LE TYPE DE PLUVIOMETRIE (HUMIDE OU SEC).....	71
ANNEXE 14. MOYENNE ± ES DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT AU BOUT DE 56 JOURS APRES SEMIS SELON LE TYPE DE SUBSTRAT (TERRE DE SAVANE OU TERRE DE FORET), LE TYPE D'ENSOLEILLEMENT (OMBRE VS LUMIERE DIRECTE) ET LE TYPE DE PLUVIOMETRIE (HUMIDE OU SEC).....	72
ANNEXE 15. POURCENTAGE DE L'ÂGE DES INFRUTESCENCES RECOLTÉES.....	73
ANNEXE 16. RACINE ADVENTIVE SUR UN JEUNE PLANT INONDE PROVENANT DE LA ZONE 1 DE LA SAVANE PASSOURA.....	73
ANNEXE 17. TABLEAU DE COMPARAISON ENTRE LES NIAOULIS DE FLORIDE (U.S.), D'Australie ET DE GUYANE, MODIFIÉ DE RAYAMAJHI <i>ET AL.</i> , 2002.....	74

ANNEXE 1. EVOLUTION DE L'INVASION DE *MELALEUCA QUINQUENERVIA* ENTRE 1950 ET 2010 SUR NOTRE SITE D'ECHANTILLONNAGE DANS LA SAVANE PASSOURA.



ANNEXE 2. TAILLE DE NIAOULIS, CERTAINEMENT REALISEE PAR LES LOCAUX POUR BENEFICIER DE SES VERTUS



ANNEXE 3. ARRETE N° R03-2021-04-23-00003


**PRÉFET
DE LA RÉGION
GUYANE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction de l'Environnement,
de l'Agriculture, de
l'Alimentation et de la Forêt

Service Paysages, Eau et
Biodiversité

**Direction Générale
des Territoires et de la Mer**

**ARRETE n°
portant autorisation de déroger à l'interdiction de l'introduction et de la
propagation des espèces végétales exotiques
envahissantes sur le territoire de la Guyane – interdiction de toutes activités portant
sur des spécimens vivants à AgroParis Tech centre de Kourou.**

**Le préfet de la région Guyane
Chevalier de la Légion d'honneur
Chevalier de l'Ordre national du mérite**

VU Le règlement (UE) N°1143/2014 du parlement et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes, notamment articles 4 et 12

VU le Code de l'environnement, notamment ses articles L.411-6 et R411-40 du code de l'environnement

VU la loi du 19 mars 1946 érigeant en département français, la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane et la Réunion ;

VU la loi n° 82-213 du 2 mars 1982 relative aux droits et libertés des communes, des départements et des régions modifiée, notamment son article 4 ;

VU la loi d'orientation n°92-125 du 6 février 1992 relative à l'administration territoriale de la République ;

VU le décret n°2004-374 du 29 avril 2004 modifié relatif aux pouvoirs des préfets, à l'organisation et à l'action des services de l'État dans les régions et départements, notamment ses articles 39 et 45 ;

VU le décret n°2008-158 du 22 février 2008 relatif à la suppléance des préfets de région et à la délégation de signature des préfets et hauts-commissaires de la République en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie ;

VU le décret n°2010-1582 modifié, du 17 décembre 2010 relatif à l'organisation et aux missions des services de l'État dans les départements et régions d'outre-mer, à Mayotte et à Saint-Pierre et Miquelon ;

VU le décret n°2019-894 du 28 août 2019 relatif à l'organisation et aux missions des services de l'État en Guyane ;

VU le décret du 25 novembre 2020 portant nomination de M. Thierry QUEFFELEC, préfet, en qualité de préfet de la région Guyane, préfet de Guyane ;

VU le décret 1er janvier 2020 portant nomination de M. Paul-Marie CLAUDON, sous-préfet hors classe, secrétaire général des services de l'État (classe fonctionnelle III), responsable de la coordination des politiques publiques, auprès du préfet de la région Guyane, préfet de la Guyane ;

VU le décret n° 2019-894 du 28 août 2019 relatif à l'organisation et aux missions des services de l'État en Guyane ;

VU l'arrêté n°R03-2020-05-14-004 du 14 mai 2020 portant organisation des services de l'État en Guyane ;

VU l'arrêté ministériel du 1^{er} avril 2019 relatif à la prévention de l'introduction et de la propagation des espèces végétales exotiques envahissantes sur le territoire de la Guyane – interdiction de toutes activités portant sur les spécimens vivants.

VU l'arrêté ministériel du 30 janvier 2020 portant nomination de M. Pierre PAPADOPOULOS, ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts, en qualité de directeur général adjoint des territoires et de la mer de Guyane ;

VU l'arrêté R03-2021-03-2600002 du 26 mars 2021 portant délégation de signature de M. Pierre PAPADOPOULOS, directeur général par intérim des territoires et de la mer de Guyane ;

VU l'arrêté R03-2021-03-29-00001 du 29 mars 2021 portant subdélégation de signature à M. Pierre PAPADOPOULOS, directeur général par intérim des territoires et de la mer de Guyane ;

VU la demande de dérogation aux interdictions portant sur l'espèce exotique envahissante *Melaleuca quinquenervia* présentée par AgroParis Tech centre de Kourou le 21 avril 2021 ;

VU l'avis favorable de la DGTM en date du 22 avril 2021

CONSIDERANT que la demande s'inscrit dans les dérogations pouvant être délivrées à des fins scientifiques et d'amélioration des connaissances ;

Tél : 05 94 29 66 50
Mél : mnbsp.deal-guyane@developpement-durable.gouv.fr
DGTM Guyane, C.S. 78303 rue du Port, 97 306 CAYENNE CEDEX

SUR proposition du Secrétaire Général des Services de l'État;

ARRETE :

Article 1 : terminologie

Au sens du présent arrêté, on entend par « spécimen » tout fruit ou tout propagule de *Melaleuca quinquenervia*, provenant de cette espèce exotique envahissante réglementée par l'arrêté ministériel du 1^{er} avril 2019.

Article 2 : bénéficiaire(s)

- AgroParis Tech centre de Kourou

L'ajout de personnes supplémentaires peut être autorisé par voie d'avenant sur demande justifié du bénéficiaire.

Le bénéficiaire est porteur de la présente autorisation lors des opérations visées, est tenu de la présenter à toute demande des agents commissionnés au titre de l'environnement.

Article 3 : nature de la dérogation

Dans le cadre des activités de recherche, en vu d'acquérir des connaissances sur la biologie de l'espèce et de tester des méthodes de luttés sur les graines et les plantules, les bénéficiaires visés à l'article 2 sont autorisés, conformément au contenu du dossier de demande de dérogations et sous réserve des dispositions définies dans le présent arrêté, à déroger aux interdictions suivantes :

- la détention dans un lieu donné, le transport d'un lieu à un autre, de *Melaleuca quinquenervia* espèce exotique envahissante de Guyane ;

Article 4 : description des spécimens

Groupe taxonomique	Types de spécimens	quantité
Myrtaceae	Melaleuca quinquenervia (Cav.) S.T. Blake	Indéterminée

Article 5 : durée de la dérogation

La dérogation collecte de spécimens, détention et transport prend effet à compter de la signature du présent arrêté et sera caduque au 30 décembre 2021.

Article 6 : conditions de la dérogation

La présente dérogation est délivrée sous réserve de la mise en œuvre des mesures suivantes :

- les propagules (graines et capsules) seront transportées et détenues au sein d'un même territoire, la commune de Kourou ;
- les propagules (graines et capsules) seront conditionnées directement sur le lieu de récolte puis transportées dans un contenant fermé hermétiquement jusqu'à la serre d'expérimentation ;
- La serre d'expérimentation ne sera accessible qu'aux personnes habilitées par AgroParis Tech ;
- L'ensemble du matériel sera détruit en autoclave à l'issue des expérimentations.

Article 7 : documents de suivis et bilans

Le bénéficiaire devra transmettre à la DGTM un bilan des expérimentations effectuées dans le cadre de la présente dérogation au plus tard 2 mois après la fin de l'expérimentation.

Article 8 : sanctions

Sans préjudice des sanctions de toute nature prévues par les règlements en vigueur, toute infraction aux dispositions du présent arrêté peut entraîner la suspension ou la révocation, les bénéficiaires entendus, de la présente autorisation.

Article 9 : publicité

Le présent arrêté est notifié intégralement aux bénéficiaires mentionnés à l'article 2 du présent arrêté et est publié au recueil des actes administratifs de la préfecture de Guyane.

Article 10 : voies de recours

Dans les deux mois à compter de sa notification – pour le tiers intéressé – ou, de sa publication – pour les personnes ayant intérêt à agir – au recueil des actes administratifs de la préfecture de la Guyane, le présent arrêté peut faire l'objet de retour amiable et contentieux :

- un recours gracieux est à adresser à M, le préfet de la région Guyane – Rue Fiedmond – BP 7008 – 97307 Cayenne CEDEX.
- un recours hiérarchique est à adresser à Mme. la ministre de la Transition Écologique et Solidaire – Bureau des contentieux – Arche Sud – 92055 La Défense CEDEX
- un recours contentieux est à adresser à M. le président du tribunal administratif – 7 rue Schoelcher – BP 5030 – 97305 Cayenne CEDEX.

Tél : 05 94 29 66 50
Mél : mnbsp.deal.guyane@developpement-durable.gouv.fr
DGTM Guyane, C.S. 78303 rue du Port, 97 306 CAYENNE CEDEX

Tous recours amiable (recours gracieux et/ou hiérarchique) doit être adressé en recommandé avec accusé de réception. L'exercice d'un recours amiable a pour effet d'interrompre le délai de recours contentieux. Le délai recommence à courir à compter de la réception du rejet explicite ou implicite (en l'absence de réponse de l'Administration au terme du même délai de deux mois, la décision est juridiquement qualifiée de rejet implicite).

Article 11 : droits des tiers

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés. En particulier, cet arrêté ne vaut pas autorisation de pénétration dans des propriétés closes relevant de la loi du 29 décembre 1892 , modifiée, ou de la loi n°43.374 du 08 juillet 1943.

Article 12 : exécution

Le Secrétaire Général des services de l'État dans le département, le Directeur général des territoires et de la mer, le Général commandant la Gendarmerie de la Guyane et le Chef du service territorial de l'Office Français de Biodiversité en Guyane, le Directeur Régional des Douanes, la Directrice Territoriale de l'Office National de Forêts en Guyane sont chargés chacun en ce qui le concerne de l'exécution du présent arrêté qui est publié au recueil des actes administratifs de la préfecture de la Guyane.

Cayenne, le 23 avril 2021

Pour le Préfet et par délégation
Le chef du Service Paysages, Eau, Biodiversité



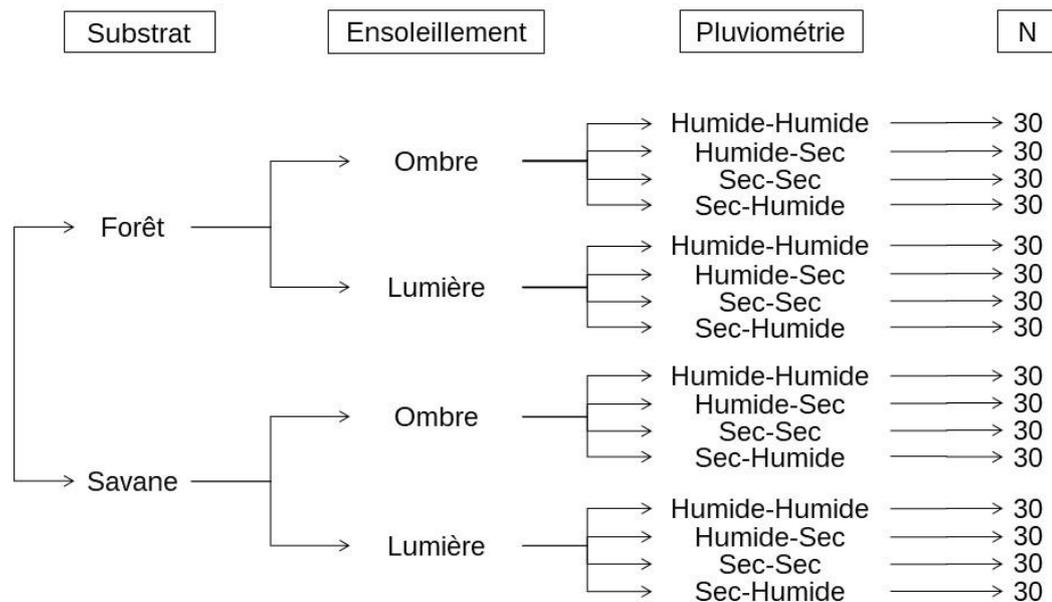
Vincent Nicolazo De Barmon

Tél : 05 94 29 66 50
Mél : mnbsp.deal-guyane@developpement-durable.gouv.fr
DGTM Guyane, C.S. 78303 rue du Port, 97 306 CAYENNE CEDEX

ANNEXE 4. SERRE TUNNEL UTILISEE POUR LES EXPERIMENTATIONS



ANNEXE 5. COMBINAISONS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DANS L'ETUDE DES CONDITIONS DE GERMINATION



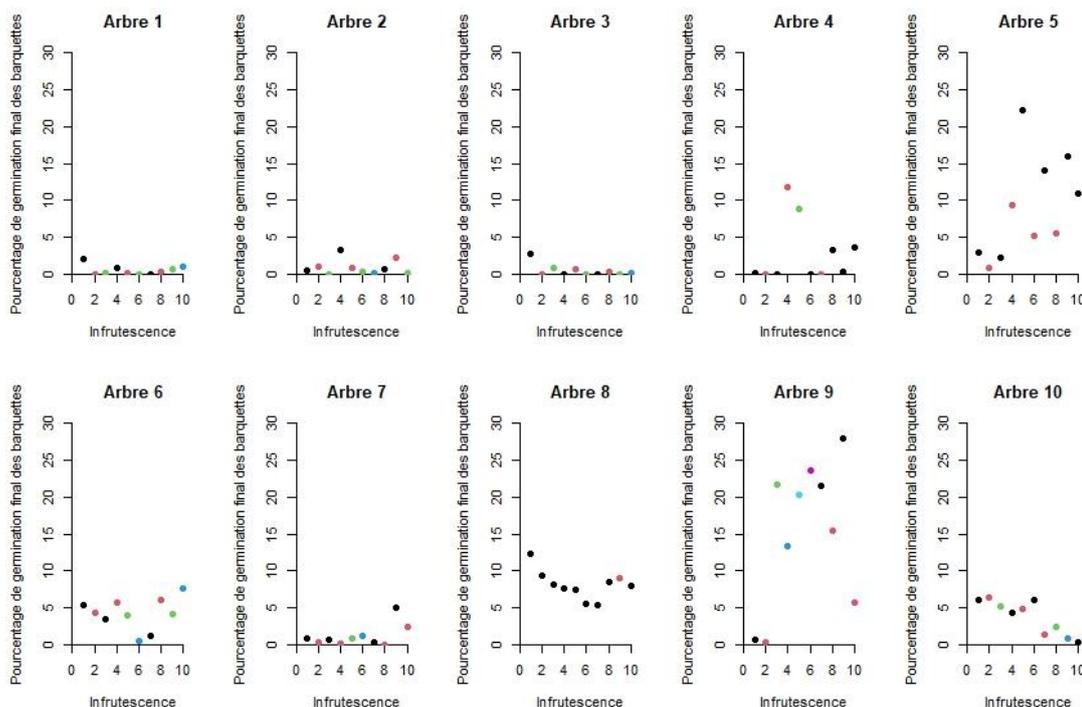
ANNEXE 6. ENSEMENCEMENT DES POTS DE CULTURE ET UTILISATION DU POIVRIER POUR LIBERER LES GRAINES DES CAPSULES



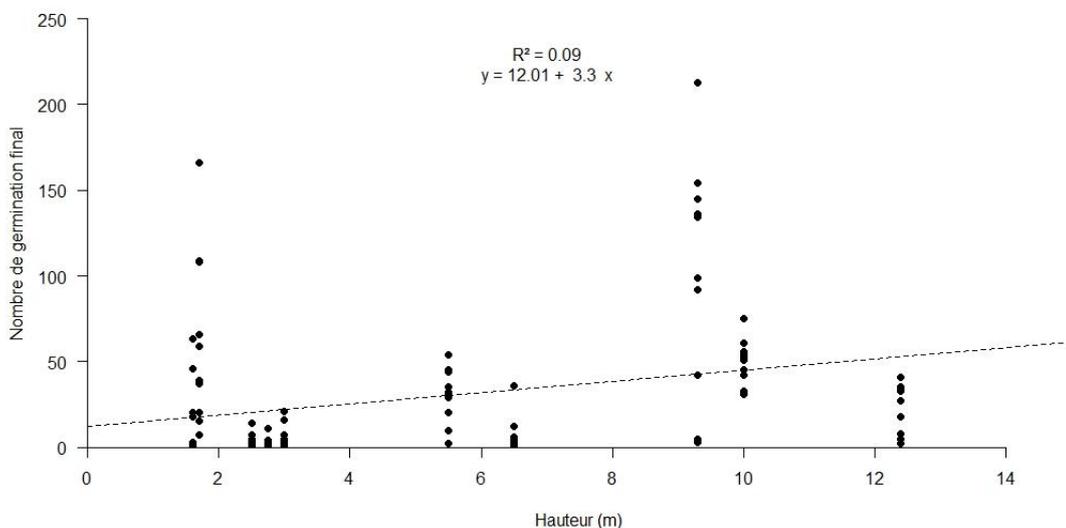
ANNEXE 7. VUE DE HAUT DES PLANTULES INONDEES.



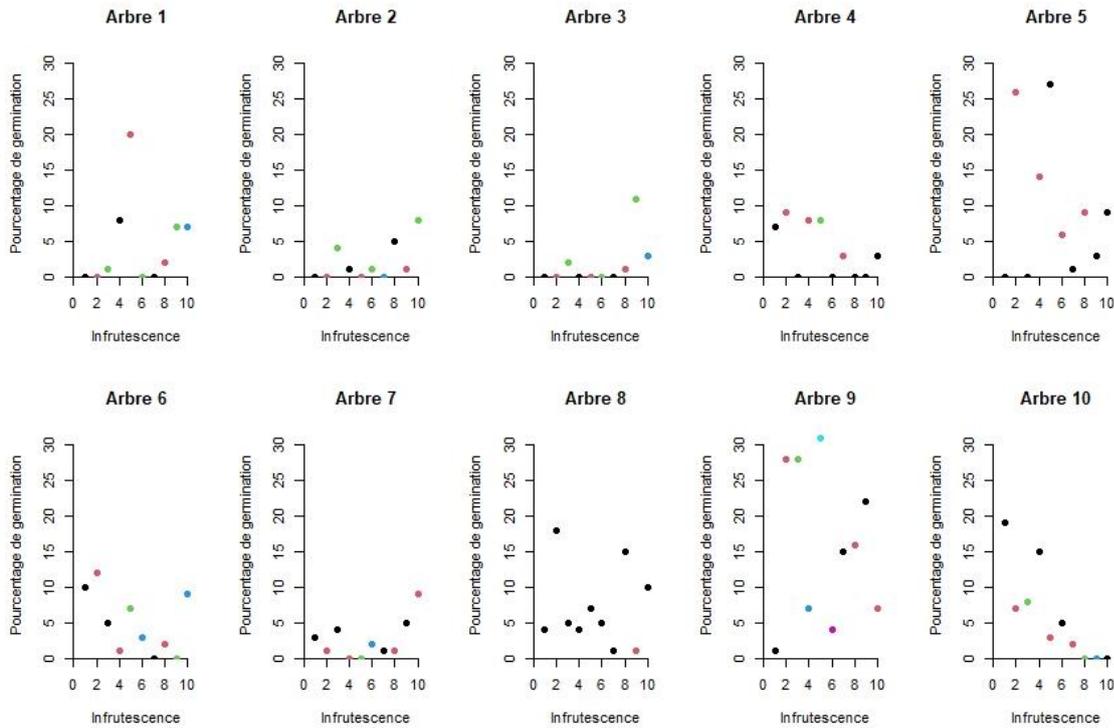
ANNEXE 8. POURCENTAGE DE GERMINATION FINALE EN BARQUETTE EN FONCTION DE L'ARBRE ET DE L'ÂGE DE L'INFRUTESCENCE (NOIR : UC N, ROUGE : UC N-1, VERT : UC N-2, BLEU : UC N-3, BLEU CIEL : UC N-4 ET MAUVE : UC N-5), PONDERE SUR L'ESTIMATION DU NOMBRE DE GRAINES DE LEUR INFRUTESCENCE.



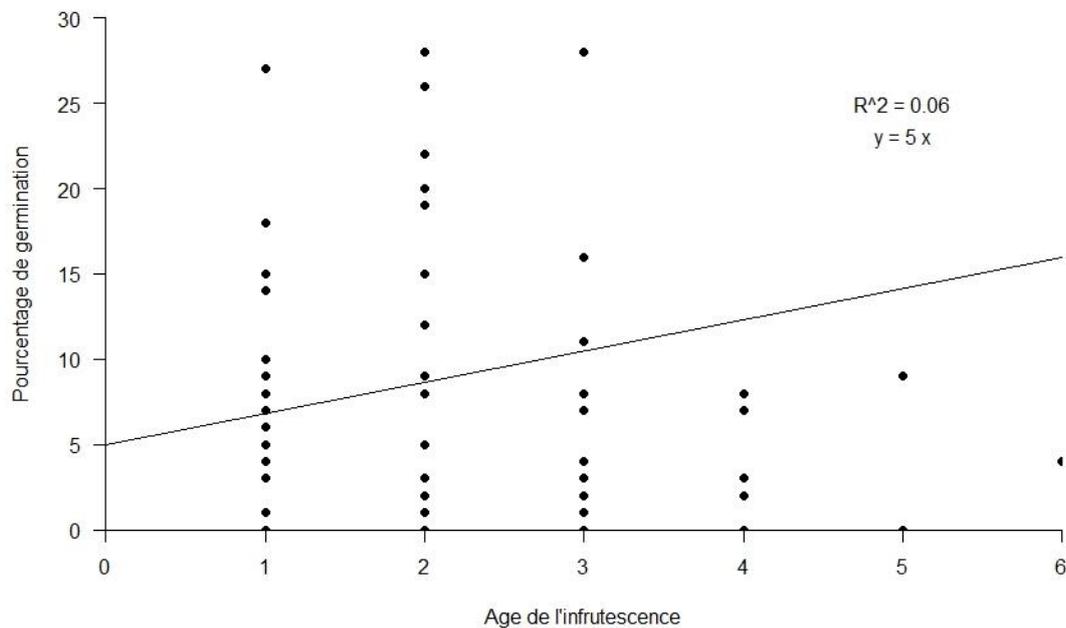
ANNEXE 9. RELATION ENTRE LE NOMBRE DE GERMINATION FINAL ET LA HAUTEUR.



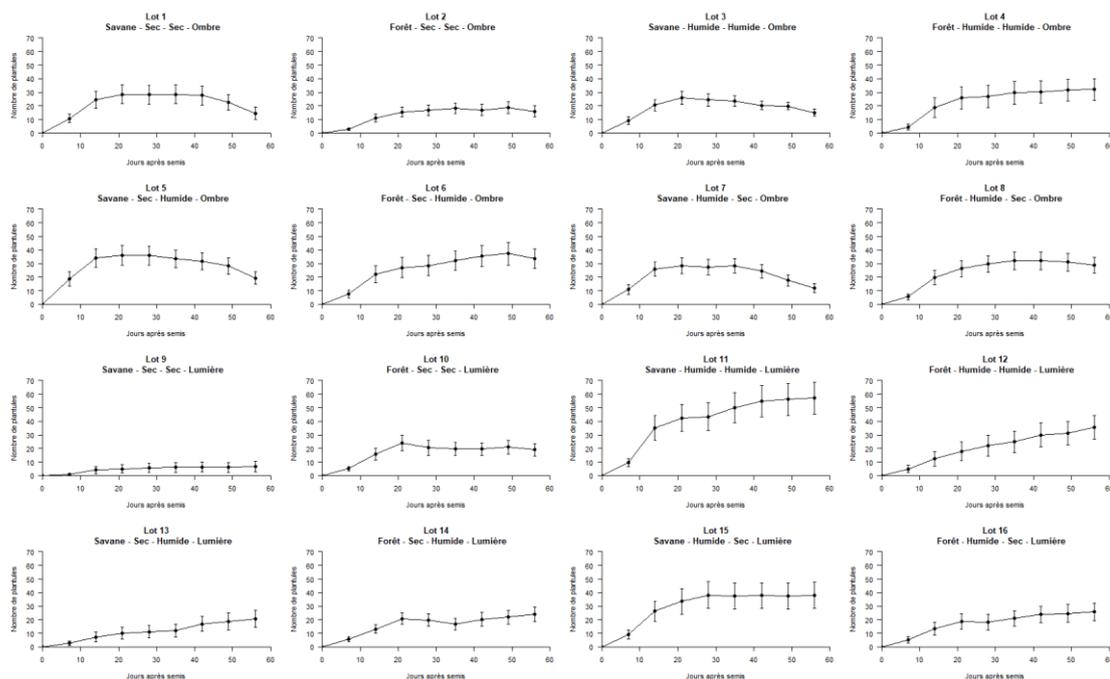
ANNEXE 10. POURCENTAGE DE GERMINATION FINALE DE L'EXPERIENCE AVEC 100 GRAINES EN FONCTION DE L'ARBRE, LA BRANCHE ET DE L'AGE DE L'INFRUTESCENCE (NOIR : UC N, ROUGE : UC N-1, VERT : UC N-2, BLEU : UC N-3, BLEU CIEL : UC N-4 ET MAUVE : UC N-5).



ANNEXE 11. RELATION ENTRE LE POURCENTAGE FINAL DE GERMINATION ET L'AGE DE L'INFRUTESCENCE.



ANNEXE 12. EVOLUTION DU NOMBRE DE PLANTULE AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DES LOTS ET DES CONDITIONS DE CULTURE.



ANNEXE 13. MOYENNE ± ES DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT AU BOUT DE 28 JOURS APRES SEMIS SELON LE TYPE DE SUBSTRAT (TERRE DE SAVANE OU TERRE DE FORET), LE TYPE D'ENSOLEILLEMENT (OMBRE OU LUMIERE DIRECTE) ET LE TYPE DE PLUVIOMETRIE (HUMIDE OU SEC).

Substrat	Pluviométrie	Ensoleillement	<i>n</i>	Nombre de plantules
Savane	Humide	Ombre	60	25,9 ± 1,8 bc
		Lumière	60	40,8 ± 3,6 a
	Sec	Ombre	60	32,0 ± 2,5 ab
		Lumière	60	8,6 ± 1,5 d
Forêt	Humide	Ombre	60	28,3 ± 2,5 bc
		Lumière	60	20,2 ± 2,4 c
	Sec	Ombre	60	22,6 ± 2,3 bc
		Lumière	60	20,2 ± 1,8 c

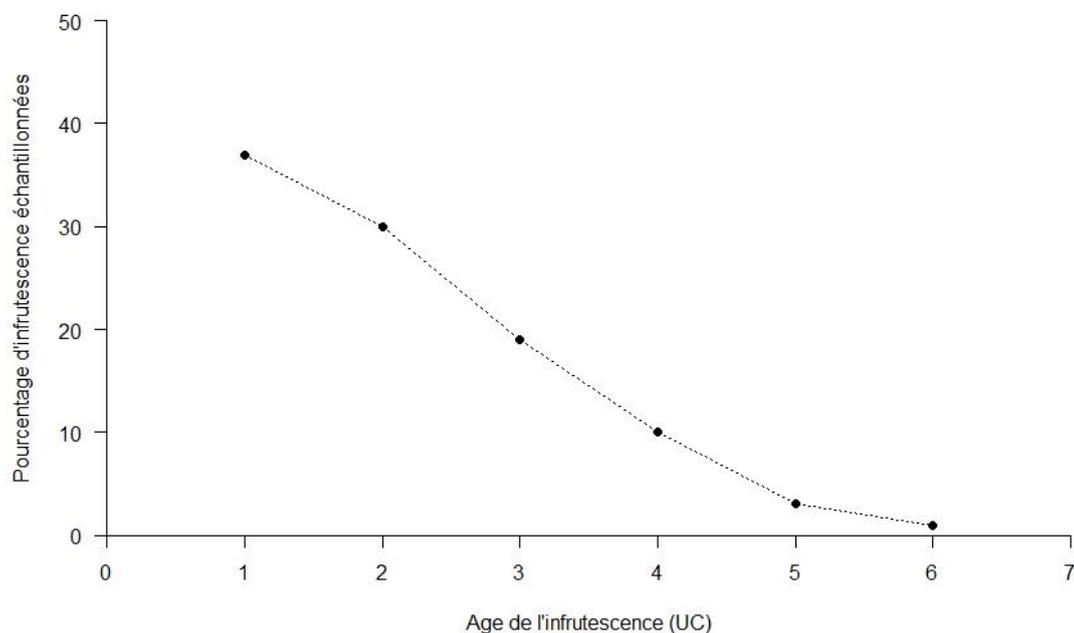
Les nombres moyens de plantules suivis de la même lettre ne sont pas significativement différent (ANOVA, test de Tukey-Kramer, $P < 0,05$).

ANNEXE 14. MOYENNE \pm ES DU NOMBRE DE PLANTULES PAR POT AU BOUT DE 56 JOURS APRES SEMIS SELON LE TYPE DE SUBSTRAT (TERRE DE SAVANE OU TERRE DE FORET), LE TYPE D'ENSOLEILLEMENT (OMBRE VS LUMIERE DIRECTE) ET LE TYPE DE PLUVIOMETRIE (HUMIDE OU SEC).

Substrat	Pluviométrie [0, 28 jours]	Pluviométrie [28, 56 jours]	Ensoleillement	<i>n</i>	Nombre de plantules		
Savane	Humide	Humide	Ombre	30	15,0 \pm 1,3 efg		
			Lumière	30	57,1 \pm 5,9 a		
	Sec	Sec	Ombre	Ombre	30	12,0 \pm 1,6 fg	
				Lumière	30	38,1 \pm 4,8 b	
			Humide	Ombre	30	14,5 \pm 2,3 efg	
				Lumière	28	06,7 \pm 2,0 g	
		Humide	Ombre	30	19,3 \pm 2,3 defg		
			Lumière	30	20,5 \pm 3,1 cdefg		
		Forêt	Humide	Humide	Ombre	30	32,0 \pm 4,4 bcd
					Lumière	30	35,6 \pm 4,4 bc
Sec	Sec		Ombre	Ombre	30	28,8 \pm 3,0 bcde	
				Lumière	30	25,7 \pm 3,3 bcdef	
			Humide	Ombre	29	15,9 \pm 2,0 efg	
				Lumière	28	19,1 \pm 2,4 defg	
	Humide		Ombre	30	33,4 \pm 3,6 bcd		
			Lumière	26	23,9 \pm 2,8 bcdef		

Les nombres moyens de plantules suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (ANOVA, test de Tukey-Kramer, $P < 0,05$).

ANNEXE 15. POURCENTAGE DES INFRUTESCENCES RECOLTEES EN FONCTION DE LEUR AGE



ANNEXE 16. RACINE ADVENTIVE SUR UN JEUNE PLANT INONDE PROVENANT DE LA ZONE 1 DE LA SAVANE PASSOURA.



ANNEXE 17. COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES ENTRE LES NIAOULIS DE FLORIDE (U.S.), D'AUSTRALIE ET DE GUYANE, MODIFIE DE RAYAMAJHI ET AL. (2002).

Variables	Australie	Guyane	U.S.
<i>Arbre</i>			
Hauteur max (m)	25	15	21
<i>Infrutescence</i>			
Longueur (cm)	5,7 ± 1,6	6,1 ± 1,6	6,0 ± 1,3
Nb capsules	18 ± 13	37 ± 1,3	49 ± 17
Nb capsule par cm	3,0 ± 0,2	6,3 ± 0,21	8,0 ± 0,3
<i>Graine</i>			
Nombre par capsule	271 ± 60	210 ± 42	264 ± 39
Nombre par infrutescence	5000	7800	13 000
Masse sèche (mg)	NA	2,2 ± 0,75	6,6 ± 1,9
<i>Germination</i>			
Taux de germination (%)	2,8 ± 3,1	5,82 ± 0,73	7,6 ± 8,6