

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Horticulture

Option : Production Végétale Durable

« Evaluation de l'effet de la quantité et de la qualité de la lumière sur le développement végétatif du manguier : Analyses préliminaires et caractérisation initiale du développement végétatif »



Présenté par Hugo Guidez

Année de soutenance : 2021

**Structure d'accueil : CIRAD REUNION
Dpt PERSYST
UR HORTSYS**

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Horticulture

Option : Production Végétale Durable

« Evaluation de l'effet de la quantité et de la qualité de la lumière sur le développement végétatif du manguier : Analyses préliminaires et caractérisation initiale du développement végétatif »



Présenté par Hugo Guidez

Soutenu le 13 septembre 2021

Tuteur pédagogique : Garcia Léo

Encadrants : Grechi Isabelle
Normand Frédéric
Carrie Emma

Structure d'accueil : CIRAD REUNION

Jury composé de :

Anne Pellegrino (présidente)
Gaëlle Damour (rapporteuse)
Léo Garcia (tuteur)

Résumé

La lumière est un facteur environnemental majeur qui modifie le développement et la croissance des végétaux. Précédemment, les effets de la lumière ont été bien décrits tout comme l'adaptation des plantes à l'ombrage. On connaît aussi pour certaines espèces l'effet important de la lumière sur le débourrement des bourgeons végétatifs et reproducteurs. Ces études soulignent que selon l'espèce, les effets de la quantité et de la qualité de la lumière peuvent être ou non dissociés. L'environnement lumineux au sein de la canopée du manguiers est bien décrit, et les effets de cet environnement sur le débourrement, identifiés. En revanche, il n'y a à ce stade aucune dissociation entre les effets qui sont dus à la qualité de la lumière de ceux dus à la quantité. Dans ce stage, les effets de l'environnement lumineux sur le débourrement végétatif du manguiers ont d'abord été identifiés en conditions non contrôlées grâce à l'analyse des données issues d'un premier essai expérimental dans la canopée de manguiers adultes qui a permis de mettre en évidence la relation entre l'environnement lumineux des organes végétatifs et le débourrement. Afin de déterminer si les effets de la quantité et de la qualité de lumière sur le débournement végétatif sont dissociés, un second dispositif expérimental a été mis en place au champ. Ce second essai a consisté à modifier entièrement l'environnement lumineux de jeunes manguiers à l'aide de filtres colorés spécifiques et à décrire le comportement de débournement des arbres en réponse à la lumière.

MOTS CLES : *mangifera indica* - lumière – débournement - développement végétatif - caractéristiques morphologiques

Pour citer cet ouvrage : Guidez, Hugo, 2021. Evaluation de l'effet de la quantité et de la qualité de la lumière sur le développement végétatif du manguiers : Analyses préliminaires et caractérisation initiale du développement végétatif. Mémoire d'Ingénieur en horticulture, option Production Végétale Durable, L'institut Agro – Agrocampus Ouest. 62pages.

Abstract

Title: Evaluation of the effect of light quantity and quality on mango vegetative development: Preliminary analyses and initial characterisation of vegetative development

Light is a major environmental factor that modifies plant development and growth. Previously, the effects of light have been well described for the study of plant adaptation to shade. It is also known for some species the important effect of light on the bud break of vegetative and reproductive buds. These studies underline that depending on the species, the effects of the quantity and quality of light can be dissociated or not. The light environment within the mango canopy is well described, and the effects of this environment on bud break identified. However, at this stage, there is no dissociation and evaluation between the effects that are due to the quality of light and those due to the quantity. Effects of the light environment on the vegetative budbreak of mango were first identified under uncontrolled conditions. Then, a second trial was set up to dissociate the effects of the quality of light from those of the quantity on the vegetative budding of the mango tree through different light treatments modifying the quality and/or the quantity of light. During this internship, the analysis of data from a first experimental trial in the canopy of adult mango trees allowed to highlight the relationship between the light environment of the vegetative organ units and bud break. In order to determine if the effects of the quantity and quality of light on vegetative budbreak are dissociated, a second experimental set-up was set up in the field. This second trial consisted in completely modifying the light environment of young mango trees using specific colored filters and describing the budding behavior of mango trees in response to light.

KEY WORDS: *mangifera indica*- Light - budburst - vegetative growth – morphological traits

To cite this work: Guidez, Hugo, 2021. Evaluation de l'effet de la quantité et de la qualité de la lumière sur le développement végétatif du manguier : Analyses préliminaires et caractérisation initiale du développement végétatif. Mémoire d'Ingénieur en horticulture, option Production Végétale Durable, L'institut Agro – Agrocampus Ouest. 62pages.

Remerciements

Je veux particulièrement remercier les 3 encadrants qui m'ont accompagné, conseillé et soutenu durant ce stage. Tout d'abord merci à Isabelle, pour ses conseils pertinents, son aide sur mes script R et ses nombreuses relectures de mon mémoire. Merci aussi à Frédéric pour sa disponibilité, le partage de son expertise du manguier, ses explications sur les statistiques et ses conseils pour la rédaction. Enfin, merci à Emma, pour sa bonne humeur qui a accompagné les kilomètres de scotch utilisé durant ce stage, pour ça précieuse aide pour les analyses de données et pour ses paroles rassurantes lorsque le doute s'installait autour de mon mémoire.

Salutations aux collègues de Bassin Plat et une pensée particulière pour André, qui restera dans nos souvenirs comme le garant de la bonne humeur, des coupes avec le petit et des pauses caféinées pour tous les stagiaires.

Merci à Léo Garcia, pour ses commentaires et suggestions d'amélioration du mémoire, et à Aurélie Metay pour sa disponibilité tout au long de l'année.

Et puis merci à tous et surtout à toi.

Ce stage a été réalisé dans le cadre du programme de recherches agronomiques du Cirad à la Réunion, DPP COSAQ (activités 2019-2021) financé par l'union européenne (fond structurel FEDER) et le Conseil Régional de La Réunion.



Sommaire

REMERCIEMENTS	6
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES TABLEAUX	12
INTRODUCTION	12
CHAPITRE 1. ETAT DE L'ART DES CONNAISSANCES ACTUELLES SUR LE MANGUIER ET L'EFFET DE LA LUMIERE SUR LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF DES PLANTES.....	15
I. LE MANGUIER, UN ARBRE FRUITIER TROPICAL	15
A. <i>Contexte globale de la production de mangues et particularités réunionnaises</i>	<i>15</i>
B. <i>Description générale du manguiers</i>	<i>15</i>
C. <i>Conditions agro-climatiques optimales pour la culture du manguiers</i>	<i>16</i>
D. <i>Un comportement rythmique, particularité du développement végétatif du manguiers</i>	<i>17</i>
II. EFFETS CONNUS DE LA LUMIERE SUR LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF DES PLANTES	18
A. <i>Quelles caractérisations de la qualité et de la quantité de lumière pour l'agronomie ?.....</i>	<i>18</i>
B. <i>Perception de la lumière par les plantes</i>	<i>19</i>
C. <i>La quantité de lumière modifie l'architecture, la croissance et le développement des plantes.....</i>	<i>19</i>
D. <i>La qualité de la lumière impact les phénomènes phénologiques du développement, de défense et de croissance des plantes.....</i>	<i>20</i>
a. Effet du rapport Rc/Rs	20
b. Effet de la lumière bleue	21
III. PROBLEMATIQUES ET DEMARCHES SCIENTIFIQUES.....	21
CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODES	23
I. DISPOSITIF EXPERIMENTAL N°1 : EVALUATION PRELIMINAIRE DE L'EFFET DE LA LUMIERE SUR LE DEBOURREMENT VEGETATIF DES UNITES DE CROISSANCE D'ARBRES ADULTES	23
A. <i>Matériel végétal et dispositif expérimental.....</i>	<i>23</i>
B. <i>Suivi et mesures</i>	<i>23</i>
a. Mesures des variables descriptives de la morphologie des UCs.....	23
b. Suivi du débourrement des UCs	23
c. Suivi de l'environnement lumineux des UCs	24
II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL N°2 : DISSOCIATION DES EFFETS DE LA QUANTITE ET DE LA QUALITE DE LA LUMIERE SUR LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF DE JEUNES ARBRES	24
A. <i>Site expérimental.....</i>	<i>24</i>
B. <i>Choix des Traitements lumineux.....</i>	<i>25</i>
C. <i>Dispositif expérimental</i>	<i>28</i>
D. <i>Suivis et mesures</i>	<i>28</i>
a. Identification des unités de croissance	28
b. Mesures des variables descriptives de la morphologie des UCS.....	28
c. Variables descriptives du développement architectural et végétatif de l'arbre.....	30
d. Variables de suivi du microclimat à l'intérieur des cages.....	31
E. <i>Résumé des variables suivies.....</i>	<i>31</i>
III. ANALYSE DES DONNEES	33

CHAPITRE 3. RESULTATS	36
I. EFFET DE LA QUANTITE ET DE LA QUALITE DE LA LUMIERE SUR LE DEBOURREMENT VEGETATIF DES UCS	
TERMINALES DE MANGUIERS ADULTES	36
A. <i>Effet du PAR transmis sur le débournement</i>	36
B. <i>Effet du rapport Rc/Rs sur le débournement</i>	37
C. <i>Effet de la quantité de Bleu sur le débournement</i>	38
II. ANALYSES PRELIMINAIRES A LA MISE EN PLACE DE TRAITEMENTS CONTROLANT L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX	
DE JEUNES MANGUIERS	40
A. <i>Effet des futurs traitements et de facteurs architecturaux sur le développement végétatif du dernier flush des arbres</i>	40
a. Analyse de l'occurrence du débournement.....	40
1. Analyse de l'effet de chaque facteur indépendamment.....	40
2. Analyse du model global de débournement (traitement, position, diamètre et étage avec effet aléatoire de l'arbre).....	41
b. Analyse de l'âge des UCs lors du débournement.....	42
1. Analyse de l'effet de chaque facteur indépendamment.....	42
2. Analyse du model global de l'âge lors du débournement (traitement, position, diamètre et étage avec effet aléatoire de l'arbre).....	43
B. <i>Effet des futurs traitements sur les caractéristiques morphologiques des UCs terminales et architecturales des arbres, et du SLA à t0</i>	43
a. Longueur des UCs	44
b. Diamètre des UCs	44
c. Nombre de feuille par UC.....	44
d. Surface de la feuille médiane des UCs	44
e. Surface foliaire des UCs	44
f. SLA et teneur en matière sèche des feuilles	44
g. Mensurations des arbres.....	44
h. Caractéristique de l'architecture globale des arbres	45
III. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR L'ENVIRONNEMENT DES JEUNES ARBRES ET SUR LE SLA ET LA TENEUR EN	
MATIERE SECHE DES FEUILLES	45
A. <i>Effet des cages colorées sur la température</i>	45
B. <i>Effet des cages colorées sur l'environnement lumineux</i>	46
a. Evolution du % de PAR transmis au cours de l'essai.	46
b. Evolution du YPF% au cours de l'essai.....	47
c. Evolution du % de Bleu au cours de l'essai	48
d. Evolution du rapport Rc/Rs au cours de l'essai	48
C. <i>SLA et teneur en matière sèche des feuilles</i>	49
CHAPITRE 4. DISCUSSION.....	51
I. DISCUSSION DES RESULTATS.....	51
A. La quantité de lumière influe le débournement.....	51
B. La qualité de la lumière influe le débournement.....	51
C. Caractérisation à t0 du développement végétatif des jeunes manguiers	51
D. Modification du SLA	52
II. DISCUSSION SUR LES METHODES.....	52
A. Mesure du SLA.....	52
B. Mesure de la température	53
C. Choix des dates d'expérimentation.....	53

D.	Choix des modèles statistique.....	53
III.	LIMITES ET FORCES DU DISPOSITIF	54
A.	Augmentation de la température dans les cages.....	54
B.	Evaluation des changements écophysiologicals.....	54
C.	Modification des paramètre expérimentaux au cours du temps.....	54
D.	Utilisation d'arbres juvéniles.....	55
E.	Résistances du dispositif aux aléas climatiques	55
F.	Représentativité des traitements.....	55
	CONCLUSION.....	56
	BIBLIOGRAPHIE	57
	LISTE DES ANNEXES	63
	ANNEXES.....	64

Liste des figures

Figure 1 : Cycle phénologique du manguier pour la variété Cogshall à St Pierre ,La Réunion (Vincenot et al. 2009).....	17
Figure 2 : Description des différentes UCs le long de l'axe végétatif (credit photo : P. E. LAURI)	18
Figure 3: Schéma d'une coupe transversale de la canopée vue du haut. La zone 1(jaune) = périphérie de la canopée feuillée, zone 2(bleue)= intérieur de la canopée feuillée	23
Figure 4: Photo aérienne du dispositif expérimental (crédit photo : Julien Sarron).....	25
Figure 5: photo d'une cage pour le traitement vert (crédit photo : Hugo Guidez).....	26
Figure 6: Spectre lumineux des différents traitements.....	27
Figure 7 : Schématisation du système de codage des unités de croissance, en rouge les UCs terminales (Adapté d'après (Bayle 2021)).....	28
Figure 8 : %PAR transmis reçu par les UCs en fonction de leur occurrence de débourrement (0 : UCs n'ayant pas débourré, 1 : UCs ayant débourré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales).....	36
Figure 9 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débourrement au % de PAR transmis moyen. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de PAR % (classes d'effectifs égaux, n=72).	36
Figure 10 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au % de PAR transmis et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi.1 point représente 1 UCs.	37
Figure 11 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourrement au % de PAR transmis moyen. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de PAR % (classes d'effectifs égaux, n=72).	37
Figure 12 : Rapports Rc/Rs des UCs en fonction de leur occurrence de débourrement (0 : UCs n'ayant pas débourré, 1 : UCs ayant débourré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales)...	37
Figure 13 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débourrement au rapport Rc/Rs. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de Rc/Rs (classes d'effectifs égaux, n=72).	37
Figure 14 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au rapport Rc/Rs transmis et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi.1 point représente 1 UCs.	38
Figure 15 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourrement au rapport Rc/Rs . Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de Rc/Rs (classes d'effectifs égaux, n=72).	38
Figure 16 : Quantité de bleu moyenne Bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) des UCs en fonction de leur occurrence de débourrement (0 : UCs n'ayant pas débourré, 1 : UCs ayant débourré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales)	38
Figure 17 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débourrement à la quantité de bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) . Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de quantité de bleu (classes d'effectifs égaux, n=72).	38
Figure 18 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au bleu moyen reçu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi.1 point représente 1 UCs.....	39
Figure 19 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourrement à la quantité de bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) . Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de quantité de bleu (classes d'effectifs égaux, n=72).	39
Figure 20 : l'occurrence de débourrement des UCs (\pm intervalle de confiance à 95%) en fonction de la position (apicale ou latérale).....	40

Figure 21 : Comparaison de l'occurrence (\pm IC 95%) de débourement des UCs en fonction de la classe de diamètre de l'UC.....	41
Figure 22 : Comparaison de l'âge moyen lors (nombre de jour \pm écart type) du débourement des UCs en fonction de la position (apicale ou latérale), (GLMM, Pvalue<0.001).....	42
Figure 23 : Comparaison de l'âge moyen lors (nombre de jour \pm écart type) du débourement des UCs en fonction l'étage de croissance sur lequel elles se situent. Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes. (Effectif par classe ; « 1 » : 25, « 2 » :67, « 3 » :31, « 4 » :2, « 5 » :6)	43
Figure 24 : Différence moyenne (n=6 jours) de la température horaire (\pm écart type) sous les cages par rapport à la température extérieure (hors_cage).....	46
Figure 25 : Comparaison entre les mois du % PAR (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % PAR transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % PAR transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.	47
Figure 26 : Comparaison entre les mois du % YPF (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % YPF transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % YPF transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.	47
Figure 27 : Comparaison entre les mois du % Bleu (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % Bleu transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % Bleu transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.	48
Figure 28 : Comparaison entre les mois du rapport Rc/Rs (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le rapport Rc/Rs est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur du rapport Rc/Rs entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.	49
Figure 29 : SLA moyen (\pm écart type) des feuilles de chaque traitement en fonction du mois. Des lettres différentes signifient que le SLA est significativement différent entre les dates pour le traitement concerné. Le nombre d'étoile indique le niveau de significativité. (n.s :non significatif, * : P<0.05, ** : P<0.01 , *** : P<0.001).....	50
Figure 30 : Teneur en matière sèche moyenne des feuilles (\pm écart type) de chaque traitement en fonction du mois. Des lettres différentes signifient que le % de matière sèche est significativement différent entre les dates pour le traitement concerné. Le nombre d'étoile indique le niveau de significativité. (n.s :non significatif, * : P<0.05, ** : P<0.01 , *** : P<0.001).....	50

Liste des tableaux

Tableau 1: Variables extraites des mesures au spectroradiomètre.....	24
Tableau 2 : Valeurs mesurées pour les caractéristiques des composantes quantitatives et qualitatives de la lumière des cinq traitements lumineux appliqués aux arbres, les variables PAR %, YPF % et Bleu% sont exprimées en pourcentage par rapport à la lumière incidente	27
Tableau 3: Récapitulatif des variables étudiées	32
Tableau 4: Résumé des méthodes d'analyse utilisées pour l'étude des variables suivies. * : chaque variable est traitée indépendamment. Pour certaines variables explicatives, le « 1 » signifie que la variable est testée pour l'essai n°1 et un « 2 » que la variable est testée pour l'essai n°2	35
Tableau 5 : Résumé de l'analyse du modèle global testant l'ensemble des facteurs sur l'occurrence de débourrement des UCs.	41
Tableau 6 : Résumé de l'analyse du modèle global testant l'ensemble des facteurs sur la dynamique de débourrement des UCs.	43
Tableau 7 : Effet des futurs traitements lumineux sur les mensurations des arbres (hauteur, volume de la canopée, diamètre du porte greffe et du greffon). Les valeurs correspondent aux moyennes ± écart type. Les résultats de l'analyse statistique (Pvalue de l'anova) sont également indiqués.	45
Tableau 8 : Nombre d'UCs terminales et étage de croissance maximal par arbre à t0 en fonction du traitement. Les valeurs correspondent aux moyennes ± écart type. Les résultats de l'analyse statistique sont également indiqués (Pvalue).	45

INTRODUCTION

La production de mangues sur l'île de la Réunion est une culture intéressante pour les agriculteurs car elle est plus rémunératrice que la plupart des autres productions issues de vergers fruitiers (Vincenot *et al.* 2009). La mangue représente environ 17% de la surface dédiée à la production de fruits tropicaux sur l'île (Daaf, 2020). De plus, avec les plus de 1900 tonnes annuelles produites, le marché de la mangue à la Réunion est peu soumis à la concurrence de l'importation (Vincenot *et al.* 2009). En revanche, il n'y a que peu de diversité de variétés produites. En effet la variété 'Cogshall' et la variété locale 'José' représentent en général plus de 80% des surfaces de manguiers plantées dans les exploitations réunionnaises (Lemarié 2008). Cette faible diversité de variétés impose une saison de récolte condensée et une vulnérabilité aux aléas climatiques. Le développement de nouvelles variétés pourrait contribuer à la stabilité économique et la résilience des exploitations, en étalant les périodes de travail sur le verger et les dates de récolte. Il existe plusieurs problématiques liées à la culture du manguiers, parmi elles, l'asynchronie phénologique qui peut toucher les vergers. En effet, différents stades phénologiques peuvent être présents au même moment sur un même arbre ou sur les différents arbres du verger. Cette asynchronie peut conduire à un étalement de stades phénologiques sensibles aux bioagresseurs, ou générer une forte hétérogénéité de la maturité des fruits à la récolte, ce qui complexifie la gestion du verger (Ramírez *et al.* 2014). Le phénomène d'alternance, qui décrit la succession d'une année avec une forte production de fruits avec une année peu productive, est aussi un problème pour la stabilité de la production d'une année sur l'autre. Enfin, la pression des bioagresseurs peut également avoir un fort impact sur le rendement. En effet, il existe plusieurs espèces d'insectes (cécidomyie, punaises, etc) ainsi que de microorganismes (oïdium, bactériose) qui provoquent des dégâts notamment sur les inflorescences.

L'environnement et les pratiques culturales sont susceptibles de modifier le fonctionnement des arbres. Les pratiques culturales, comme l'intensité de la taille, le broyage des résidus ou le choix des densités de plantation, pourraient être utilisées pour limiter l'impact des contraintes de production que subit le manguiers. Il existe donc un intérêt agronomique et économique à mieux comprendre le fonctionnement de l'arbre vis-à-vis de son environnement et des opérations culturales qui lui sont appliquées. Raisonner au mieux la gestion des opérations culturales, en simulant par modélisation le comportement des arbres, permettrait de s'inscrire dans une démarche de production plus raisonnée et durable, en adaptant les pratiques culturales aux objectifs de production. C'est notamment sur ces questions de durabilité de la production de mangues que le CIRAD (Centre International pour la recherche et le développement agronomique) travaille. Via différents projets d'étude variétale et d'études sur la compréhension du développement de l'arbre et l'élaboration de son rendement, les chercheurs du CIRAD visent à soutenir et accompagner le développement agronomique des cultures tropicales. C'est dans ce contexte qu'est développé V-Mango, un modèle structure-fonction qui décrit le développement architectural, la croissance et la production de fruits du manguiers (Boudon *et al.* 2020), et dans lequel les effets de l'environnement et des pratiques culturales seront pris en compte. Ce modèle permet à partir d'une modélisation informatique de produire des maquettes 3D de manguiers. Les représentations de ce modèle sont autant d'outils permettant une meilleure gestion du verger.

La lumière est un facteur environnemental qui régit le comportement de l'arbre et notamment son développement végétatif. Les travaux de recherche concernant l'effet de la lumière sur le développement des plantes sont assez nombreux. En effet, beaucoup de revues bibliographiques traitent de l'effet de la quantité de la lumière sur le développement de plantes annuelles (Leduc *et al.* 2014) et pérennes (Pitchers *et al.* 2021), ainsi que l'effet de la qualité de la lumière sur le développement de plantes modèles en horticulture (Demotes-Mainard *et al.* 2016). Cependant peu d'études traitent conjointement de l'effet de la qualité et de la quantité de lumière sur le développement d'espèces pérennes (Maron 2019; Matsubara 2018). L'étude de l'effet de la qualité de la lumière sur le développement végétatif d'arbres en condition de verger de plein vent reste donc à développer pour mieux comprendre l'influence de la lumière sur la physiologie, la phénologie et la morphologie des arbres.

Ainsi, l'étude dans laquelle s'inscrit ce mémoire vise à caractériser le développement végétatif du manguier par des analyses évaluant l'effet de la quantité et de la qualité de la lumière sur le développement végétatif des manguiers. Une première expérimentation préliminaire a été mise en place pour évaluer l'effet de la lumière sur la croissance végétative de manguiers adultes, en conditions non contrôlées. Cependant au sein de la canopée, la quantité et la qualité de la lumière sont étroitement liées (Boudon *et al.* 2020) et il est donc impossible de déterminer si c'est la qualité de la lumière, la quantité de la lumière ou les deux qui sont responsables des effets observés sur le débourrement et la morphologie des organes végétatifs. Une seconde expérimentation a donc été mise en place sur de jeunes manguiers en conditions pseudo-contrôlées visant à contrôler l'environnement lumineux des arbres, afin de pouvoir dissocier l'effet de la quantité de lumière et de sa qualité sur le développement végétatif. Ces deux expérimentations permettront de mieux appréhender le comportement du manguier face à son environnement lumineux. Et *in fine* ce facteur pourra être intégré dans le modèle V-Mango, ce qui permettrait de mieux spatialiser la croissance végétative au sein de la canopée en fonction des variations de l'environnement lumineux au sein de celle-ci.

Les objectifs spécifiques de ce mémoire sont donc dans un premier temps, d'analyser les données de l'essai préliminaire déjà en place qui évalue l'effet de la lumière sur les arbres adultes, puis dans un second temps, d'effectuer la mise en place, le suivi et l'analyse initiale des données de l'essai d'arbres juvéniles sous environnement contrôlé.

Chapitre 1. Etat de l'art des connaissances actuelles sur le manguiier et l'effet de la lumière sur le développement végétatif des plantes

I. LE MANGUIER, UN ARBRE FRUITIER TROPICAL

A. Contexte globale de la production de mangues et particularités réunionnaises

Le manguiier, *Mangifera indica*, appartient à la famille des Anacardiaceae qui compte environ 600 espèces (Watson and Dallwitz 1992). Originnaire de la région entre l'Inde et la Birmanie, elle est cultivée depuis plus de quatre mille ans (De Candolle 1884) mais sa distribution dans les zones tropicales à l'échelle mondiale date du début du 15^{ème} siècle avec les expéditions coloniales portugaises et espagnoles. La mangue est la cinquième production fruitière mondiale et représente plus de 50% de la production de fruits tropicaux. L'Inde et la Chine produisent plus de 50% de la production mondiale (Altendorf 2019). L'espèce compte plus de mille variétés mais il existe une dizaine de variétés leader qui représentent la majorité de la production mondiale, comme 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Keitt', 'Irwin', 'Zill', 'Haden', 'Palmer' (Vincenot *et al.* 2009). Les fruits pèsent en moyenne 200 g et peuvent peser jusqu'à 2 kg (Gerbaud 2018).

La mangue a été introduite à La Réunion au 18^{ème} siècle (Lebellec and V. Renard 1997). Les surfaces dédiées à la production de mangue sur l'île ont été multipliées par 7 au cours des 40 dernières années (Vincenot *et al.* 2009), les vergers de manguiers représentent environ 1% de la surface agricole utile réunionnaise (Agreste 2020). La mangue est le troisième fruit le plus exporté après l'ananas et le litchi (Agreste 2020). Sur l'île, il existe deux variétés leader, la variété locale 'José', très appréciée par la population de l'île et la variété 'Cogshall' qui représente la quasi-totalité des exportations (Vincenot *et al.* 2009). Ces deux variétés représentent plus de 80% des surfaces de production insulaire, le reste de la production étant d'autres variétés locales comme 'Caro' ou 'Lise'. (Vincenot *et al.* 2009).

B. Description générale du manguiier

Le manguiier est un arbre pouvant mesurer jusqu'à 50 mètres de hauteur et vivre plus d'une centaine d'années. Son port dépend de la variété et peut être globulaire comme la variété 'Cogshall', ou érigé et plus ou moins étalé comme la variété 'Kent' (Vincenot *et al.* 2009). Le feuillage est composé de feuilles simples, lancéolées, de couleur verte plus ou moins intense et organisées en spirale le long des axes. Le feuillage est persistant, et les feuilles peuvent rester sur l'arbre trois à quatre ans. Le manguiier est caractérisé par son architecture suivant le modèle de Scarrone, qui se caractérise par une croissance rythmique, une floraison terminale, des ramifications monopodiales et sympodiales ainsi qu'une tendance à l'acrotonie. (Goguy 1995, 1997; Hallé, Oldeman, and Tomlinson 1978)

Le système racinaire se compose de racines pivotantes et latérales. Les racines pivotantes explorent le sol en profondeur et plongent verticalement, servant à la fois d'ancrage pour la stabilité de l'arbre et à rechercher l'eau en profondeur. Les racines latérales ramifiées explorent le sol sur les 40 premiers centimètres, complétant la stabilité de l'arbre face aux vents, et sont le point de départ d'un chevelu racinaire composé de racines fines spécialisées dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (Vincenot *et al.* 2009).

Les fleurs sont regroupées en inflorescence pyramidales et se situent à l'extrémité des branches sur les unités de croissance terminales (Normand *et al.* 2009). La taille et la forme

de l'inflorescence, tout comme le nombre de fleurs qui la compose, varient selon les variétés. Ce nombre de fleurs peut varier d'un facteur 10 (Mukherjee and Litz 2009). La fleur mesure de 5 à 10 millimètres et se compose de 4 à 5 sépales pubescents et de 4 à 5 pétales de couleurs. Dans l'inflorescence on retrouve à la fois des fleurs mâles dont le pistil est avorté et des fleurs hermaphrodites qui pourront former un fruit. Leur proportion dépend de la variété et des conditions environnementales. La pollinisation est principalement zoochorique (Crane 2008). L'arbre est considéré comme juvénile jusqu'à 7 ans mais est productif dès la troisième année après la greffe de l'arbre (Crane 2008). Le manguier produit des fruits charnus à noyau dont la taille, la couleur, la forme et la texture peut fortement varier d'une variété à l'autre. Les drupes peuvent être plus ou moins aplatis, allongées ou globulaires. Unichrome ou non, elles peuvent prendre des couleurs vertes, oranges, jaunes, rouges ou violettes (Vincenot *et al.*, 2009). Dans le noyau, les graines sont uniques et il existe des variétés polyembryonnées et monoembryonnées (Mukherjee and Litz 2009). Les graines de manguier sont sensibles à la dessiccation et ont vite tendance à perdre leur pouvoir germinatif, c'est pourquoi il est recommandé de les semer rapidement après la récolte. Le manguier produit des fruits climactériques, lesquels augmentent leur production d'éthylène au début de leur maturation et continuent cette production après la récolte. Comme le fruit continue à murir après récolte, il est possible de récolter les fruits à des stades de maturité très précoce, offrant ainsi une bonne aptitude pour l'exportation (Mukherjee and Litz 2009)

C. Conditions agro-climatiques optimales pour la culture du manguier

Les conditions climatiques les plus favorables à la production de mangues sont celles du climat de la zone tropicale semi-aride avec des périodes sèches et humides bien marquées. (Vincenot *et al.* 2009) L'arbre est très sensible au gel et présente des dégâts physiologiques dès que la température est inférieure à 10°C (Gerbaud 2015), et des températures inférieures à -4°C lui sont mortelles. Des températures entre 24°C et 30°C sont idéales pour la croissance de l'arbre et la production de fruits (Whiley *et al.* 1989). Le manguier a besoin de températures fraîches pour le bon développement de ses organes reproductifs mais supérieures à 15°C pour la germination du tube pollinique (Crane *et al.* 2009).

En ce qui concerne la pluviométrie, la répartition des pluies au cours de l'année est importante. En effet, une saison sèche provoque le repos végétatif et favorise la floraison (Normand *et al.* 2009), tandis qu'une pluviométrie trop importante, supérieure à 1500 mm annuel, favorise le développement des maladies fongiques et impacte la rentabilité du verger. Avec ses feuilles coriaces et la présence de racines pivotantes profondes, le manguier est plutôt tolérant à la sécheresse bien qu'il reste sensible durant certaines périodes de son cycle, notamment lors de l'élaboration du rendement, pendant la nouaison ou la croissance des fruits par exemple (Schaffer *et al.* 2009).

Le manguier peut se développer dans des sols très variés, un sol non compacté et bien drainé permet une meilleure installation du système racinaire. Le pH optimal est compris entre 5,5 et 7,5 (Vincenot *et al.* 2009). Assez sensible au vent, il peut être judicieux d'installer des haies brises vent en bordure de verger. Le vent provoque des lésions sur les fruits et favorise le développement de ravageurs opportunistes et un déclassement des fruits à causes des cicatrices (Crane *et al.* 2009)

D. Un comportement rythmique, particularité du développement végétatif du manguiier

Le développement du manguiier est périodique et comprend différentes étapes qui forment le cycle phénologique. Celui de la variété étudiée pour l'essai, à savoir « Cogshall » et à La Réunion est décrit dans la figure 1. Le cycle phénologique du manguiier se compose de 4 événements périodiques : la croissance végétative, le repos végétatif, la floraison et la croissance et maturation des fruits. La floraison se déroule sur la période correspondant à l'hiver austral, entre juin et septembre. Comme pour la majorité des espèces végétales, l'environnement climatique influence fortement le déroulement du cycle phénologique du manguiier. Le comportement de l'arbre une année peut aussi affecter son développement l'année qui suit, par exemple en fonction de la charge en fruit ou de la position des unités de croissance, c'est l'alternance de production (Magne 2004; Normand *et al.* 2009; Renard 2005)

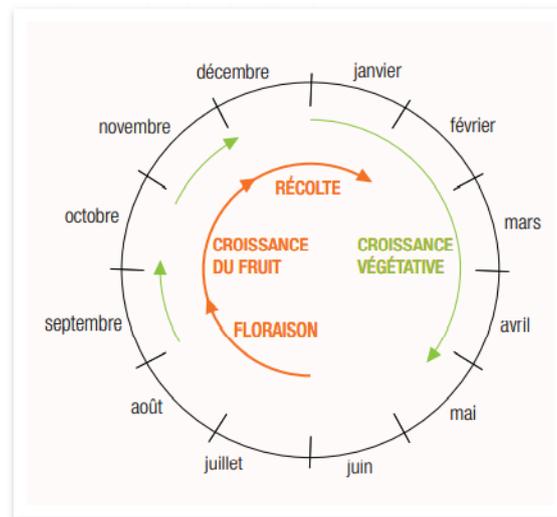


Figure 1 : Cycle phénologique du manguiier pour la variété Cogshall à St Pierre ,La Réunion (Vincenot *et al.* 2009)

La croissance du manguiier est rythmique, c'est-à-dire qu'elle correspond à de courtes périodes de croissances rapides (ou « flushs ») alternant avec des périodes de croissance nulle. Durant la période de croissance végétative, plusieurs flushs peuvent se succéder. Le nombre d'épisodes de croissance par saison dépend de l'âge de l'arbre, sa variété ou encore des conditions environnementale durant sa croissance (Davenport 2009). A chaque flush, de nouvelles unités de croissance (UCs) apparaissent. Une UC correspond à la portion d'un axe qui se développe durant une période d'extension ininterrompue et qui compose d'un ensemble d'entre nœuds et de feuilles préformés, c'est-à-dire déjà présents dans les bourgeons (Hallé and Martin 1968). Cette période d'extension dure entre 15 jours et 1 mois, au bout de laquelle l'UC est dite mature. Une branche est ainsi constituée par une succession d'UCs (Hallé, Oldeman, and Tomlinson 1978). Les nouvelles UCs qui apparaissent (aussi appelées UCs filles) sont issues de bourgeons présents sur l'UC antérieure (appelée UC mère). En fonction de la position des bourgeons dont elles sont issues, les nouvelles UCs sont définies comme apicales si elles sont issues d'un bourgeon apical, ou bien latérales si elles sont issues d'un bourgeon axillaire (figure 2). Si une UC ne porte pas d'autre UCs elle est dite terminale.

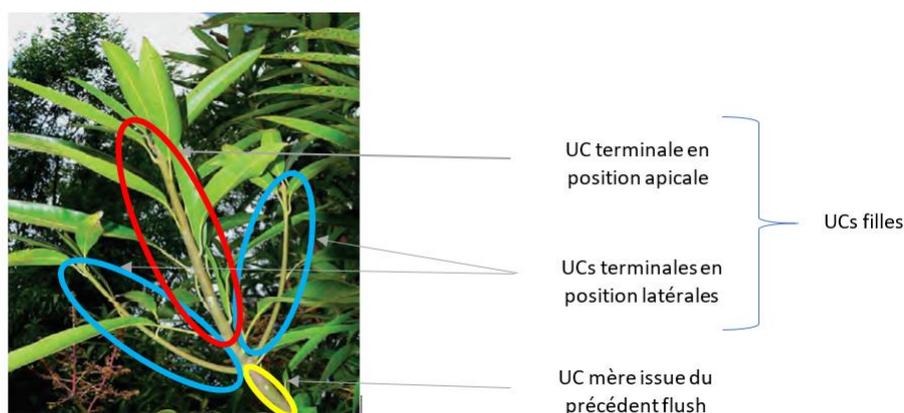


Figure 2 : Description des différentes UCs le long de l'axe végétatif (credit photo : P. E. LAURI)

La grande majorité des UCs qui apparaissent lors d'un flush sont issues des UCs en position terminale (Persello 2018). Il existe aussi certaines UCs qui se développent à partir d'UCs plus vieilles et qui ne sont plus terminales, à partir de bourgeons qui sont en dormances. Ce phénomène de réitération est souvent expliqué par une perturbation de la structure de l'arbre par exemple après une taille ou une casse (Barthélémy and Caraglio 2007). C'est l'empilement des UCs qui construit l'architecture de l'arbre. Le développement végétatif du manguiier résulte en effet de l'apparition des UCs, dont le nombre, la position et la croissance impactent le développement architectural de l'arbre.

Les périodes de croissance végétatives (flush) ne sont pas forcément simultanées entre tous les arbres du verger, ou au sein d'un même arbre, c'est le phénomène d'asynchronie de croissance (Vincenot *et al.* 2009). Lorsque la période de croissance végétative est terminée, l'arbre entre en période de repos végétatif. Cette période de repos est importante pour la floraison qui suit car elle permet la « maturation » des nouvelles UCs, c'est-à-dire qu'elle acquiert leur capacité à fleurir. C'est aussi une période de mise en réserve de sucres qui seront utiles à l'arbre pour les processus de floraison et fructification.

II. EFFETS CONNUS DE LA LUMIERE SUR LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF DES PLANTES

A. Quelles caractérisations de la qualité et de la quantité de lumière pour l'agronomie ?

La lumière est le plus souvent décrite selon deux caractéristiques, sa quantité et sa qualité. Les variables les plus couramment utilisées pour mesurer la lumière en agronomie sont le PAR (« Photosynthetically Active Radiation ») qui correspond à la portion du spectre lumineux utilisé par la plante pour la photosynthèse, soit le rayonnement dont les longueurs d'onde s'étendant entre 400 et 700 nm. On utilise aussi le PPFD (« Photosynthetic Photon Flux Density ») qui définit la densité du flux de photon du PAR incident, exprimé en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Carruthers *et al.* 2001). Le PPFD permet de caractériser la quantité de lumière. On utilise aussi le YPF (« Yield photon flux »), qui pondère la densité du flux de photons dans la plage de 360 à 760 nm en fonction de la réponse photosynthétique de la plante aux longueurs d'onde de cette gamme (Barnes *et al.*, 1993).

La qualité de la lumière est définie par les longueurs d'onde qui composent le rayonnement, notamment dans le rouge, 655-700 nm pour le rouge clair et 700-735nm pour le rouge sombre (Smith 1982), le bleu entre 400 et 500 nm, et le rapport entre le rouge et le rouge lointain. Le rapport Rc/Rs (Meng, Van Labeke, and Höfte 2020), est aussi appelé « Zeta ». Pour quantifier cette qualité, on mesure le pourcentage du spectre solaire dans la gamme de longueurs d'onde définie qui est reçue par la plante.

B. Perception de la lumière par les plantes

La plante perçoit l'intensité de la lumière mais aussi la composition de son spectre via des photorécepteurs qui par leurs signaux régulent sa croissance, son développement, ses défenses et aussi son cycle (Ballaré 2014; Kami *et al.* 2010). En effet en tant que fournisseur d'énergie et de signal décrivant l'environnement, la lumière influence fortement le développement de la plante au travers de l'assimilation issue de la photosynthèse et des réponses photo-morphogéniques qu'elle provoque. Ces processus sont notamment impliqués dans le contrôle du débourrement (Leduc *et al.* 2014; Maurel *et al.* 2004)

Parmi les photorécepteurs les plus étudiés on retrouve les phytochromes, une famille de photorécepteurs sensibles au rapport Rc/Rs, ou encore les cryptochromes qui eux sont responsables de la perception de la lumière bleu (Leduc *et al.* 2014). Le phytochrome B est impliqué dans les processus de débourrement des bourgeons en réponse à l'environnement lumineux (Finlayson *et al.* 2010; Reed *et al.* 1983). Le phytochrome A semble être responsable de la détection de la photopériode et de la longueur du jour (Leduc *et al.* 2014). Les cryptochromes sont eux impliqués dans les processus de germination ou encore d'accumulation de pigments dans les plantes (van der Horst and Hellingwerf 2004). La qualité de lumière reçue affecte principalement les caractéristiques morphologiques alors que la quantité de la lumière semble plus impacter les paramètres productifs de la plante notamment par des modifications de l'allocation de la biomasse (Stuefer and Huber 1998).

C. La quantité de lumière modifie l'architecture, la croissance et le développement des plantes

Lorsqu'elles sont exposées à différentes intensités lumineuses, les plantes montrent des différences architecturales marquées (Warming 1909). Elles résultent notamment de modifications de l'organisation des organes entre eux, de la ramification et de la longueur des pétioles et des entrenœuds, et également de changement dans les tendances d'allocation de la biomasse entre les différents organes de la plante. (Corré, WJ 1983; Schmitt and Wulff 1993; Slade and Hutchings 1987)

En règle générale, les fortes intensités lumineuses stimulent la ramification ou plus généralement la production de biomasse. En conditions contrôlées pour des cultures horticoles sous serres, on estime qu'une augmentation de 1% de l'intensité de la lumière augmente de 0,5 % à 1 % la production récoltable (Marcelis *et al.* 2006). Sur les plantes pérennes ligneuses (Leduc *et al.* 2014) comme les plantes annuelles (Assmann 1992), une réduction de l'intensité lumineuse induit un raccourcissement des axes végétatifs et une réduction de la ramification. Une forte intensité lumineuse, couplée avec une importante disponibilité en azote, peut augmenter jusqu'à 30% la masse sèche de jeunes plants de vigne (Grechi *et al.* 2007). Dans un contexte de verger fruitier, une baisse significative de la quantité

de lumière reçue peut affecter fortement la production à différent stade du cycle phénologique. La réduction de la quantité d'assimilat disponibles pour la croissance des fruits impacte la qualité et la quantité de la production (Corelli-Grappadelli 2003).

Il a été montré en verger de pommier, que la diminution du diamètre des troncs est corrélée à la baisse de l'intensité lumineuse, et que le SLA (« Specific Leaf Area », correspondant au rapport surface sur masse sèche) qui est un indicateur de remplissage des feuilles est plus faible lorsque les feuilles sont exposées à une forte intensité lumineuse (Pitchers *et al.* 2021). La lumière peut aussi favoriser la dominance apicale et l'hyponastie qui correspond à la concavité accrue de la face inférieure des feuilles (Smith and Whitelam 1997). Elle peut également augmenter le rapport entre le photosystème II et I, tout en réduisant celui entre la chlorophylle a et b, optimisant ainsi l'utilisation de la lumière dans le processus de photosynthèse (Givnish 1988; Valladares and Niinemets. 2008). L'acclimatation du manguier aux variations de quantité de lumière semble aussi être basée sur des modifications de la masse surfacique des feuilles et de l'allocation de l'azote foliaire entre les différentes fonctions, les feuilles proches des fruits développent une meilleure capacité photosynthétique. Une plus forte exposition à la lumière ne change pas la quantité d'azote surfacique mais le Carbone total non structural (Urban *et al.* 2003)

La lumière est un facteur strictement nécessaire au débourrement des bourgeons. Cependant, un PPFd faible, de $2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ semble suffisant au déclenchement du débourrement (Girault *et al.* 2008; Khayat and Zieslin 1982). De plus, la quantité de lumière impacte le débourrement d'un point de vue spatial et temporel car la quantité de lumière incidente peut favoriser le développement de bourgeons en dormance ou en position plus basale (Djennane *et al.* 2014).

D. La qualité de la lumière impacte les phénomènes phénologiques du développement, de défense et de croissance des plantes

a. Effet du rapport Rc/Rs

L'effet du rapport Rc/Rs en horticulture est assez bien connu. En effet, du point de vue morphologique, un faible rapport Rc/Rs provoque généralement une élongation des tiges, de la longueur des entre nœuds et de la longueur des pétioles (Demotes-Mainard *et al.* 2016). Chez plusieurs espèces comme *lolium multiflorum*, *hordeum vulgare* ou *arabisopsis*, la longueur des feuilles ayant reçu une lumière caractérisée par un faible rapport Rc/Rs peut augmenter de 10% jusqu'à 100% (Casal, Sanchez, and Deregibus 1987; Skinner and Simmons 1993). A contrario, un faible rapport Rc/Rs provoque une diminution de la LMA (« Leaf Mass Area », correspondant au rapport entre masse sèche et la surface des feuilles (Poorter *et al.* 2009)), de la densité stomatale, de la densité de ramification du système racinaire, et plus généralement une diminution de la hauteur de la plante et de sa biomasse (Demotes-Mainard *et al.* 2016)

En ce qui concerne le développement architecturale de la plante, un faible rapport Rc/Rs peut provoquer une diminution du débourrement pouvant varier de 10% chez certaines annuelles (Williamson, Wilson, and Hartnett 2012) jusqu'à plus de 80% chez le rosier (Gault *et al.* 2008). La taille des bourgeons est elle aussi réduite pour un faible rapport Rc/Rs reçu. En revanche, l'impact du rapport Rc/Rs sur la date de débourrement semble varier d'une espèce à l'autre, avec des dates plus précoces ou plus tardives que la normale (Demotes-Mainard *et al.* 2016). La perception de la qualité de la lumière, notamment avec un rapport Rc/Rs faible, comme

décrit ci-dessus, active plusieurs stratégies de réponse à la lumière chez la plante (élongation, hyponastie,..) lesquelles stratégies réduisent celles normalement mises en place pour sa défense. La plante modifie donc son équilibre défense/croissance en faveur des stratégies anti ombre. Mais la plante peut aussi augmenter la défense de certains organes plus localisés. Par exemple elle peut distribuer prioritairement les composés de défense aux feuilles les plus photosynthétiquement actives ou celles qui reçoivent le plus de lumière ,ou le rapport Rc/Rs le plus élevé (Douma *et al.* 2019).

Enfin d'un point physiologique, un faible rapport Rc/Rs semble réduire la concentration en chlorophylle ainsi que le taux net d'assimilation du carbone de la plante, cette réduction pouvant atteindre jusqu'à 88% (Barreiro *et al.* 1992).

b. Effet de la lumière bleue

Comme le rapport Rc/Rs, l'application de lumière bleue semble aussi avoir un impact sur la régulation des phénomènes de croissance des tiges et d'élongation des organes végétatifs (C. Barnes and Bugbee 1992). Les réponses connues des plantes à la lumière bleu incluent le phototropisme, la phototaxie, ou encore l'induction de la synthèse des caroténoïdes (Briggs and lino 1983). La lumière bleue déclenche aussi dans la plante une réponse spécifique impliquée dans le photo-contrôle de l'ouverture des stomates (Ogawa 1981; Sharkey and Raschke 1981; Zeiger, Field, and Mooney 1981). De plus, des mesures d'échange gazeux sur des feuilles ont montré qu'en réponse à une baisse de la lumière bleue, on observe une réduction de l'amplitude d'ouverture des stomates ainsi que la durée de leur ouverture, indiquant donc une réaction important des stomates à la lumière bleue (Assmann 1992)

Sur des arbres à feuille caduques, (Brelsford and Robson 2018) ont montré que les arbres exposés à une lumière enrichie en bleu débourent précocement en comparaison à ceux exposés en lumière naturelle, et que le taux de croissance et le nombre de feuilles préformées sont plus importants. De plus, la lumière bleue a tendance à augmenter le pourcentage de débourrement des bourgeons en positions axillaires (Girault *et al.* 2008; Muleo, Morini, and Casano 2001) .

III. PROBLEMATIQUES ET DEMARCHES SCIENTIFIQUES

L'objectif principal du travail dans lequel s'inscrit ce mémoire est de décrire les effets de la lumière (en termes de quantité et de qualité) sur le débourrement végétatif du manguier de la variété Cogshall. Il s'inscrit plus particulièrement dans une démarche de modélisation informatique pour produire des maquettes 3D d'arbres. Sur la base de précédentes études sur des plantes annuelles et pérennes, on fait l'hypothèse que la lumière peut impacter le développement architectural du manguier, en affectant à la fois le débourrement et la morphologie des organes végétatifs de l'arbre. Les effets de la lumière sur le développement des plantes pérennes ont été assez étudiés mais peu d'études traitent cette thématique en découplant la qualité et la quantité de lumière. On cherche donc à évaluer **quels sont les effets de la lumière sur le développement végétatif du manguier, et à dissocier les effets de la qualité de ceux de la quantité de lumière.**

Ce travail nous amène à aborder deux principales questions :

- ❖ Quels sont les effets de la quantité et de la qualité la lumière sur la morphologie des organes végétatifs du manguiers ?
- ❖ Quels sont les effets de la quantité et de la qualité de la lumière sur le débourrement végétatif du manguiers ?

Pour répondre à ces questions, deux dispositifs expérimentaux ont été mise en place.

Le premier dispositif (déjà en place) vise à évaluer l'effet de la lumière sur le débourrement végétatif des unités de croissance d'arbres adultes en condition de verger en production. L'environnement lumineux a ainsi été caractérisé par des mesures ponctuelles sur les arbres et re-simulé avec le logiciel R. Le débourrement des manguiers a été suivi au cours du temps pour pouvoir analyser et décrire les effets de la lumière sur le débourrement.

Le second dispositif (à mettre en place) vise à dissocier les effets de la quantité de la lumière de ceux de sa qualité sur le développement végétatif de jeunes arbres. Pour cela, vingt manguiers de la variété Cogshall ont été plantés en pleine terre et placés sous des filtres colorés permettant de modifier les conditions lumineuses de l'environnement des arbres. Cinq traitements lumineux ont été appliqué, dissociant les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière. Dans un premier temps, on caractérise le développement et la morphologie des arbres avant l'application des traitements lumineux puis on effectuera un suivi du débourrement des arbres pour évaluer les effets des différents traitements.

Dans le cadre de cette étude, mon travail a consisté à :

- Retravailler les données issues du dispositif déjà en place pour déterminer les paramètres qui définiront le second essai
- Sélectionner le design expérimental et mettre en place le dispositif
- Commencer les suivis et les mesures sur les arbres du nouvel essai
- Caractériser l'état initial des arbres avant la mise en place de l'essai
- Entretien le dispositif et s'assurer de la stabilité des conditions expérimentales au cours de l'essai
- Vérifier la qualité de la démarche expérimentale en identifiant les effets secondaires du dispositif

Chapitre 2. Matériel et méthodes

I. DISPOSITIF EXPERIMENTAL N°1 : EVALUATION PRELIMINAIRE DE L'EFFET DE LA LUMIERE SUR LE DEBOURREMENT VEGETATIF DES UNITES DE CROISSANCE D'ARBRES ADULTES

A. Matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite sur la station expérimentale du CIRAD de Bassin Plat, à St Pierre, sur l'île de La Réunion (-21.32 ; 55.48°), entre janvier et mars 2020. Le climat de Saint-Pierre est tropical (classé Am par la carte climatique de Köppen-Geiger), la température annuelle moyenne est de 22.3 °C et les précipitations annuelle sont en moyenne autour de 1600 mm. Les mesures ont été effectuées sur quatre manguiers adultes de la variété « Cogshall » plantés en 2004 et sélectionnés au sein d'un verger d'une densité de plantation de 5 m x 6 m. Le sol est argileux, avec peu de cailloux. Les arbres sont taillés tous les deux ans et conduits selon les recommandations standard. Le verger est équipé d'un système d'irrigation au gouttes à gouttes au pied de chaque arbre. Au total, 440 UCs ont été échantillonnées sur deux zones dans les arbres : en périphérie de la canopée (zone 1) et à l'intérieur de la zone feuillée de la canopée coté tronc (zone 2), en constituant des populations d'UCs d'effectifs égaux, en position apicale et latérale (figure 3) de manière à avoir un échantillon représentant l'intégralité de la canopée.



Figure 3: Schéma d'une coupe transversale de la canopée vue du haut. La zone 1(jaune) = périphérie de la canopée feuillée, zone 2(bleue)= intérieur de la canopée feuillée

B. Suivis et mesures

a. Mesures des variables descriptives de la morphologie des UCs

Les 440 UCs échantillonnées ont été préalablement décrites par leurs positions (Apicale ou latérale), leurs zones dans l'arbre (zone 1, en périphérie de la canopée ou zone 2, à l'intérieur de la canopée) et leurs diamètres à la base (diamètre juste au-dessus de la cicatrice de débourement, en cm).

b. Suivi du débourement des UCs

Le débourement des UCs est décrit par son occurrence (qui correspond au pourcentage d'UCs qui débourent), son intensité (qui correspond au nombre d'UCs filles produites par UC qui débourent) et sa dynamique (age de l'UC lorsqu'elle débourent). Toutes les UCs échantillonnées ont été suivies hebdomadairement entre janvier et février 2020 et les dates de débourement et la position de chaque nouvelle UC ont été notées.

c. Suivi de l'environnement lumineux des UCs

Juste après la taille des arbres, l'environnement lumineux des UCs a été caractérisé au spectroradiomètre Jazz Ocean . Afin de couvrir l'environnement journalier des UCs, 5 mesures à intervalles réguliers (8h, 10h, 12h, 14h et 16h) ont été réalisées au spectroradiomètre en condition de ciel dégagé. Une acquisition du PAR incident avec un capteur PAR Quantum fixé au champ est également réalisée en parallèle de ces mesures.

Différentes variables sont calculées sur la base des spectres acquis au spectroradiomètre (tableau 1) :

Tableau 1: Variables extraites des mesures au spectroradiomètre

Variable mesurée	Longueur d'onde	Variable étudiée
PAR ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	400 – 700 nm	PAR transmis (%)
Bleu ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	400 – 500 nm	Quantité de bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
Rc ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	655 – 665 nm	Rc/Rs
Rs ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	725 – 735 nm	

Le % de PAR transmis a été calculé comme étant le rapport entre la mesure ponctuelle de PAR au spectroradiomètre et le PAR incident mesuré avec le capteur PAR Quantum. La quantité de Bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) moyenne au cours d'une journée est utilisé comme caractéristique de l'environnement lumineux, en moyennant les 5 valeurs de Bleu mesurées entre 8h et 16h, le calcul du rapport Rc/Rs suit le même schéma que celui de la quantité de bleu.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL N°2 : DISSOCIATION DES EFFETS DE LA QUANTITE ET DE LA QUALITE DE LA LUMIERE SUR LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF DE JEUNES ARBRES

A. Site expérimental

L'expérimentation a été conduite sur la station expérimentale du CIRAD de Bassin Plat, à St Pierre, La Réunion. Le climat est identique à celui de l'essai n°1, les parcelles étant situées à quelques dizaines de mètres l'une de l'autre. Le sol est de texture argileuse avec peu d'hétérogénéité spatiale, la profondeur moyenne est de 150cm avec un faible taux de cailloux. La réserve utile est estimée à 130mm (Raunet 1991). Le 11 avril 2020, 20 manguiers (*Mangifera indica L.*) de la variété « Cogshall » ont été plantés avec un amendement de fond de 2.5 kg de fumier de bœuf par arbre mélangé avec la terre du trou de plantation et une densité de plantation de 5 m x 6 m. Les arbres sont plantés en 4 rangées de 5 arbres, orientées Nord/Sud pour qu'il y ait autant de lumière reçue sur chaque côté des arbres au cours de la journée (figure 4). L'identification de chaque arbre se fait selon le rang auquel il appartient et la ligne sur laquelle il est planté. Ainsi un arbre planté dans le rang C sur la 3ème ligne est identifié par le code « C3 ». Le verger est équipé d'un système d'irrigation au gouttes à gouttes au pied

de chaque arbre, irrigation quotidienne ,1.5 h par jour pendant les 2 premiers mois (soit 30L/jour/arbre), puis 1h par jour les deux mois suivants(20L/jour/arbre), Ils reçoivent actuellement environ 10 L/jour/arbre.



Figure 4: Photo aérienne du dispositif expérimental (crédit photo : Julien Sarron)

B. Choix des Traitements lumineux

Pour évaluer l'effet de la qualité et de la quantité de la lumière sur le débourrement végétatif des manguiers, cinq traitements lumineux (témoin, neutre, zeta, vert et bleu (Tableau 1)) ont été appliqués aux arbres, à raison de 4 arbres par traitement. Les traitements choisis permettent de modifier les environnements lumineux des arbres en dissociant les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière au sein de la canopée du manguiers, à savoir le rapport R_c/R_s , le % de lumière bleu (Bleu %), le YPF (YPF%) et le % de PAR transmis (PAR%) et le choix des filtre et de leur caractéristique a été établi sur la base des résultats obtenus sur le dispositif expérimental n°1 . On appelle traitement lumineux la modification des conditions de lumière reçues par les arbres via l'utilisation de filtres colorés.

Ces traitements ont été appliqués le 07 mai 2021 (date notée t_0), en mettant les arbres individuellement sous des cages composées de filtres de la compagnie « lee filter » et associé à une ombrière noire en polyéthylène tissé de haute densité pour certains traitements (Figure 1). L'ombrière permet une occultation de 50% de la lumière. Les filtres permettent de filtrer certaines longueurs d'onde qui sont spécifiques à chaque filtre. Les cinq traitements sont les suivants :

-Le traitement « Témoin » est constitué d'un filtre transparent (référence n°130 clear) ne modifiant quasiment pas la quantité (PAR% proche de 100%) ni la qualité de la lumière à l'intérieur de la cage, mais qui crée des conditions hygrothermiques similaires aux autres traitements.

-Le traitement « Neutre » composé d'une combinaison de 2 filtres (références n°130 clear et n°250 half white diffusion(opaque)) associés à une ombrière noire. Il permet de réduire la quantité de lumière reçue par la plante sans modifier le spectre de longueur d'onde.

-Le traitement « Zeta », qui est composé du filtre de la référence n°115 peacock blue(bleu), filtre les longueurs d'onde dans le rouge et réduit fortement le rapport Rc/Rs de la lumière dans la cage.

-Le traitement « Bleu » est obtenu grâce au filtre n°164 flame red (rouge) qui filtre les longueurs d'onde dans le bleu, résultant un environnement très appauvri en lumière bleu.

-Le traitement « Vert », obtenu grâce au filtre n°122 Fern green (vert) simule l'environnement lumineux à l'intérieur d'une canopée de manguier adulte qui se caractérise par un pourcentage de lumière bleue incidente et un rapport Rc/Rs faible.

Ces trois derniers traitements permettent une modification de la qualité de la lumière perçue par les arbres. Les traitements choisis permettent de modifier les environnements lumineux des arbres en dissociant les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière au sein de la canopée du manguier. Tous les traitements lumineux ont été choisis pour réduire la quantité de lumière dans la même proportion, correspondant aux caractéristiques de la lumière au cœur de la canopée d'un manguier adulte.

Les cages sous lesquelles sont placés les arbres sont des structures rectangulaires de 2,20 m de largeur sur 2 m de hauteur construites en tubes PVC (figure 5). Cette structure est surmontée d'un toit de 2,20 m de largeur comportant quatre ailettes de 20 cm de largeur sur chaque côté. L'ensemble de la structure est recouvert par les filtres. Pour la partie verticale de 2 m de hauteur, deux espaces, un de 25 cm au-dessus du sol et de 15 cm sous le toit, sont laissés sans filtre pour créer un courant d'air et assurer la ventilation des cages.



Figure 5: photo d'une cage pour le traitement vert (crédit photo : Hugo Guidez)

L'effet de chaque traitement lumineux sur la composition de la lumière perçue par les arbres à l'intérieur des cages a été vérifié avant la mise en place des cages via un spectroradiomètre jazz ocean® selon le protocole décrit en partie D du matériel et méthodes. Les caractéristiques cibles des composantes quantitatives et qualitatives de la lumière pour les cinq traitements lumineux sont résumés dans le tableau 2 et la figure 6

Tableau 2 : Valeurs mesurées pour les caractéristiques des composantes quantitatives et qualitatives de la lumière des cinq traitements lumineux appliqués aux arbres, les variables PAR %, YPF % et Bleu% sont exprimées en pourcentage par rapport à la lumière incidente

Traitement	PAR %	YPF %	Bleu %	Rc/Rs
Témoin	96	96	96	1,10
Neutre	35	34	33	1,09
Zeta	30	26	55	0,03
Vert	29	28	20	0,17
Bleu	28	31	1	1,07

La figure 6 représente le spectre lumineux à l'intérieur des cages pour chacun des cinq traitements et celui du soleil. On y voit que pour le traitement zeta les longueurs d'onde entre 600 et 700 nm (correspondant aux rouges) ne traversent pas le filtre. Pour le traitement vert, on observe une absorption des longueurs d'onde dans le rouge (entre 600 et 700nm) et le bleu (entre 400 et 450nm) similaire à ce qui s'observe dans la canopée. Le traitement bleu absorbe les longueurs d'onde inférieure à 600 nm. Le traitement neutre ne filtre aucune gamme de longueurs d'onde en particulier mais réduit le flux de photons entrant et le témoin possède un spectre similaire à celui du soleil.

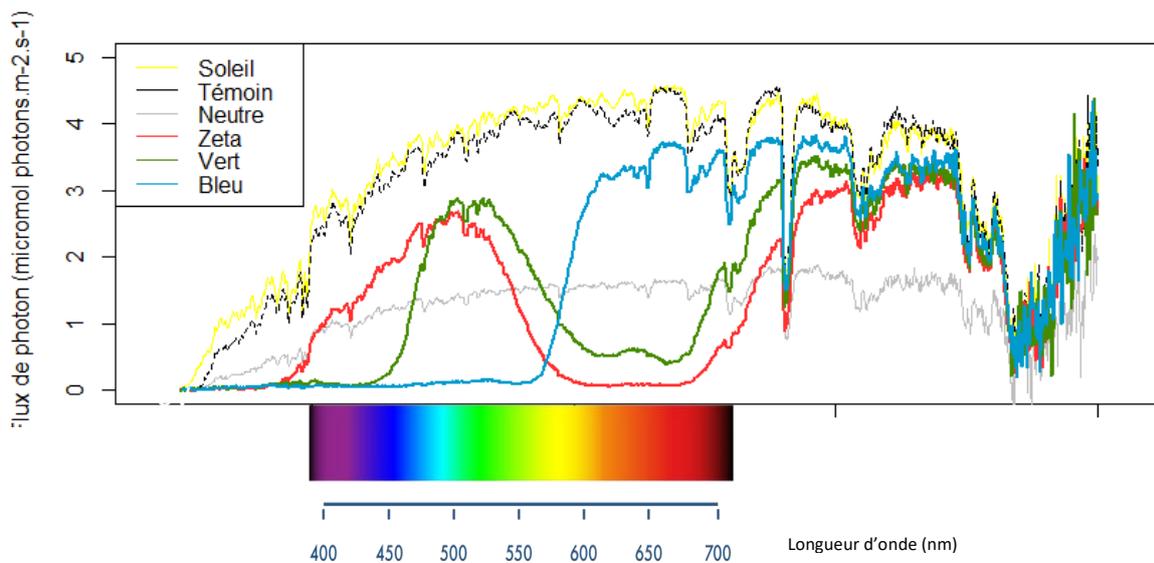


Figure 6: Spectre lumineux des différents traitements

C. Dispositif expérimental

Pour choisir le plan expérimental du dispositif, des mesures ont été effectuées sur chaque arbre pour décrire leurs caractéristiques architecturales à l'état initial t0 (i.e., à l'application des traitements lumineux). Ces mesures sont décrites partie D du matériel et méthodes.

L'effet du rang de plantation a été testé statistiquement sur ces variables (annexe 1). Pour l'explication du choix des tests statistiques, se référer à la partie 3 du matériel et méthodes. Il n'y a pas d'effet du rang concernant 4 variables d'intérêts. Un dispositif en bloc n'est donc pas nécessaire et un dispositif en randomisation totale est choisi. La répartition des 5 traitements entre les 20 arbres est alors déterminée aléatoirement. La figure 4 montre la répartition finale des traitements lumineux entre les arbres.

D. Suivis et mesures

a. Identification des unités de croissance

Au sein de chaque arbre, les UCs sont identifiées par un code unique qui correspond au code de l'arbre sur lequel se trouve l'UC et à une combinaison de chiffres entiers. Cette combinaison de chiffres entiers traduit la position de l'UC lors de son débourrement (0 correspond à une UC en position apicale, et 1 correspond à une UC en position latérale) et la succession des UCs qui la précèdent (un chiffre est ajouté à la suite des autres pour chaque nouvelle UC qui apparaît). Cette codification des UCs est illustrée sur la figure 7.

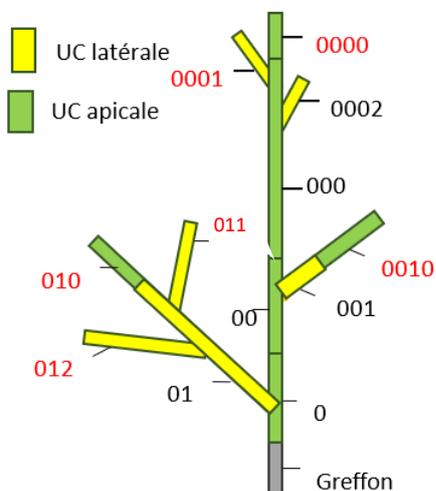


Figure 7 : Schématisation du système de codage des unités de croissance, en rouge les UCs terminales (Adapté d'après (Bayle 2021))

b. Mesures des variables descriptives de la morphologie des UCS

-Surface de la feuille médiane de l'UC

Pour évaluer la surface d'une feuille, on crée un modèle statistique permettant d'estimer la surface d'une feuille à partir de sa longueur et de sa largeur. Pour faire ce modèle, un échantillonnage de 40 feuilles a été prélevé. La longueur et la largeur de ces feuilles ont été mesurées, puis les limbes ont été photocopiés. La surface de la feuille sur la photocopie est mesurée grâce à un planimètre (Précision $\pm 1 \text{ mm}^2$). On établit ensuite une relation

allométrique de la surface des limbes en fonction du produit entre sa largeur et sa longueur (annexe 2 et 3) : un coefficient de forme de feuille de 0.77 est obtenu. Il est cohérent avec celui de 0.74 précédemment obtenu par Dambreville, Normand, et Lauri (2013) sur des arbres adultes de la variété Cogshall.

La surface d'une feuille ($S_{feuille}$, en cm^2) peut alors être estimée par la relation suivante :

$$S_{feuille} = L_{feuille} \times l_{feuille} \times 0.77$$

Ainsi, il est possible d'estimer la surface des feuilles de manière non destructive, juste en utilisant la longueur ($L_{feuille}$, en cm) d'une feuille médiane et sa largeur ($l_{feuille}$, en cm) au point le plus large du limbe. Ces mesures sont à effectuer à la fin de chaque flush et quand les UCs sont matures. Pour notre étude, les mesures sont faites avec un réglet (précision ± 1 mm), et a concerné les surfaces de feuille uniquement sur les UCs terminales à t_0 .

-Nombre de feuilles de l'UC

Le nombre de feuilles ($n_{feuilles}$) a été compté sur toutes les UCs en position terminale à la fin de chaque flush

- Surface foliaire de l'UC

La surface foliaire de l'UC ($S_{feuille_UC}$) est estimée à partir de son nombre de feuilles ($n_{feuilles}$) et de la surface de la feuille médiane ($S_{feuille_med}$).

Cette surface est estimée en suivant la relation décrite par Normand et Lauri (2018) telle que :

$$S_{feuille_UC} = (n_{feuilles} - 2) \times S_{feuille_med} + 0.52 \times S_{feuille_med} + 0.38 \times S_{feuille_med}$$

-Longueur et diamètre à la base de l'UC

La longueur de l'UC (L_{UC} , en cm) est mesurée dès lors que l'UCs est mature, avec un réglet (précision ± 1 mm) et correspond à la distance entre la cicatrice de l'entre nœud et l'extrémité apicale de l'axe.

Le diamètre à la base de l'UC (D_{UC} , en cm) est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse numérique (précision $\pm 0,1$ mm) juste au-dessus de la cicatrice de l'entre nœud.

-La surface foliaire spécifique (SLA) des feuilles

La surface foliaire spécifique (ou « specific leaf area », SLA) exprimé en $m^2.kg^{-1}$, correspond au rapport entre la surface et la masse sèche d'une feuille.

Pour l'essai, la SLA est calculée mensuellement, à partir de la mise en place des traitements lumineux (t_0). Le SLA est calculé à hauteur de 1 feuille par arbre à t_0 , et de 2 feuilles par arbre pour les suivis suivants. Les feuilles sont sélectionnées sur des UCs en position terminale et situées dans la partie supérieure de la canopée. Chaque feuille sélectionnée est photocopiée

en noir et blanc, pesée avec une balance Sartorius® (modèle CP124S ± 0,01 g) pour obtenir sa masse fraîche, puis mise à l'étuve à 70°C pendant 72h. Elle est pesée de nouveau pour obtenir la masse sèche à la fin des 72h. En parallèle on utilise un planimètre pour mesurer la surface des feuilles en scannant les photocopies.

c. Variables descriptives du développement architectural et végétatif de l'arbre

-Mensurations globales de l'arbre

Ces mesures sont effectuées tous les 6 mois à partir de t0. Les mensurations globales de l'arbre, sont mesurées au mètre ruban (± 1 cm) ou au pied à coulisse (± 1 mm) :

- Hauteur de l'arbre, comprenant le porte greffe et le greffon (H_{arbre} , en cm)
- Hauteur de jupe entre le sol et les feuilles inférieure de la canopée (H_{jupe} , en cm)
- Diamètre du greffon mesuré au-dessus du bourrelet de greffe ($D_{greffon}$, en cm)
- Diamètre du porte greffe en-dessous du bourrelet de greffe (D_{porte_greffe} , en cm)
- Largeur de la canopée sur le rang (l_{rang} , en cm)
- Largeur de la canopée sur l'inter-rang (l_{inter_rang} , en cm)

On estime aussi le volume de la canopée ($V_{canopée}$, en m^3), considérée comme une ellipsoïde, est calculé à partir des dimensions de l'arbre par la formule suivante :

$$V_{canopée} = \left(\frac{4}{3} \right) \times \pi \times \left(\left(\frac{H_{arbre} - H_{jupe}}{2} \right) \times \frac{l_{rang}}{2} \times \frac{l_{inter_rang}}{2} \right) \times 10^{-6}$$

Le nombre d'unité de croissance (UCs) en positions terminales est comptabilisé ainsi que l'étage maximal de croissance qui correspond au nombre maximal d'UC successives à partir du greffon

-Suivi du débourrement des UCs

Toutes les UCs terminales des arbres sont suivies quotidiennement et les dates de débourrement et la position (i.e. apicale ou latérale) de chaque nouvelle UC sont notées. Les nouvelles UCs sont étiquetées et un code leur est attribué selon le système de codage décrit sur la Figure 6. Pour notre étude, l'analyse du débourrement est effectuée à partir du dernier flush avant l'application des traitements lumineux.

Les dates du dernier flush avant l'application des traitements sont identifiées à l'échelle de chaque arbre, selon les critères suivants : un flush doit être séparé du précédent d'au moins 10 jours et il faut qu'au moins 15% des UCs de l'arbre aient débourrées.

Comme il peut exister des décalages dans le temps entre les flushes des différents arbres, la date de débourrement des UCs est définie en nombre de jours depuis leur propre débourrement (ce qui correspond en fait à l'âge des UCs quand elles débourrent).

L'intensité du débourrement n'est pas étudiée pour le dispositif n°2 des arbres juvéniles car, à t0, sur les 102 UCs qui ont débourré, 96 ont eu une seule fille et 6 ont eu 2 filles ou plus. Il n'y a pas assez de variabilités pour une analyse intéressante. L'intensité sera caractérisée lors des flushs suivants.

d. Variables de suivi du microclimat à l'intérieur des cages

-Température

La température à l'intérieur de chaque cage ainsi qu'à l'extérieur est contrôlée une fois par mois avec des Thermo-boutons. Ils sont programmés pour effectuer une mesure de température toutes les 10 minutes durant une période de 3 à 4 jours. Pour avoir une mesure la plus fiable possible, les thermo boutons sont installés dans des dispositifs permettant de les protéger de la pluie et du rayonnement solaire direct tout en offrant une bonne ventilation. Chaque cage est équipée d'un dispositif de mesure, et 2 dispositifs supplémentaires sont installés dans la canopée d'arbres situés dans des haies voisines au verger de l'essai.

-Environnement lumineux

Une mesure mensuelle de la qualité et de la quantité de la lumière sous les cages est effectuée afin de contrôler que les caractéristiques lumineuses de chaque traitement ne soient pas modifiées au cours de l'expérimentation du fait d'une possible dégradation des filtres.

Pour chaque campagne de mesure, deux mesures du rayonnement lumineux à l'intérieur de chaque cage et une mesure à l'extérieur des cages ont été prises à l'aide d'un spectroradiomètre jazz ocean. Comme décrit pour le dispositif n°1, les spectres lumineux ainsi mesurés permettent d'extraire les variables décrivant les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière (PAR %, YPF %, Blue %, Rc/Rs), définies dans la partie D du matériel et méthodes. Toutes les mesures sont effectuées durant des journées très ensoleillées, entre 11h et 13h, pour une homogénéité des mesures. Les valeurs obtenues sont moyennées pour chaque cage.

E. Résumé des variables suivies

L'ensemble des variables mesurées ainsi que la fréquence de leur mesure, et leur échantillonnage sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Récapitulatif des variables étudiées

Groupe	Variable mesurée	Unité	Date de début et Fréquence des mesures	Echantillonnage par arbre
Morphologie des UCs	Surface de la feuille médiane	cm ²	Dernier flush avant t0, à la fin de chaque flush	Toutes les UCs en position terminale, 1 feuille par UC
	Nombre de feuilles par UC	-	Dernier flush avant t0, à la fin de chaque flush	Toutes les UCs en position terminale
	Surface foliaire UC	cm ²	Dernier flush avant t0, à la fin de chaque flush	Toutes les UCs en position terminale
	Longueur des UCs	cm	A partir de la plantation, à la fin de chaque flush	Toutes les UCs en position terminale
	Diamètre des UCs	cm	A partir de la plantation, à la fin de chaque flush	Toutes les UCs en position terminale
	SLA	m ² .kg ⁻¹	A partir de t0, une fois par mois	2 feuilles (sauf à t0 : 1 feuille)
Développement architectural	Hauteur	cm	A partir de t0, une fois tous les 6 mois	-
	Volume canopée	cm	A partir de t0, une fois tous les 6 mois	-
	Diamètre P.G.	cm	A partir de t0, une fois tous les 6 mois	-
	Diamètre Greffon	cm	A partir de t0, une fois tous les 6 mois	-
	Nombre d'UCs terminales	-	A partir de la plantation, à la fin de chaque flush	-
	Nombre d'étages maximal	-	A partir de la plantation, à la fin de chaque flush	-
Développement végétatif	Débourrement : (Occurrence, Intensité, Dynamique)	- - Jour	A partir de la plantation, suivi tous les jours en période de flush	Toutes les UCs en positions terminales
Micro climat dans la cage	Température	°C	A partir de t0, pendant 3 jours (1 mesure toutes les 10 min), une fois par mois	1 thermo bouton par cage (+ 2 thermo boutons extérieurs)
	Qualité de la lumière (RC/Rs et % bleu)	-	A partir de t0, une fois par mois	2 mesures par cages
	Quantité de la lumière (%PAR et %YFP)	-	A partir de t0, une fois par mois	2 mesures par cages

III. ANALYSE DES DONNEES

Pour le dispositif n°1, l'objectif de l'analyse est d'identifier si les différentes caractéristiques de la lumière influent le débourrement. Pour ce faire on décrit l'occurrence du débourrement comme une variable suivant une loi binomiale, 0 codant pour « L'UC n'a pas débourrée » et 1 pour « L'UC a débourrée ». On analyse aussi l'intensité de débourrement, du fait de la répartition hétérogène des effectifs entre les différents groupes d'intensité (1 UCfilles, 2 UCs filles, 3 UCs filles, ect), on choisit de considérer cette variable comme suivant une loi binomiale avec 0 codant pour « l'UC n'a pas de fille » et 1 codant pour « l'UC a 1 fille ou plus ». L'âge de l'UC lors du débourrement est étudié comme une variable qui suit une loi normale.

Pour le dispositif n°2, les objectifs des analyses sont multiples. Premièrement on cherche à choisir le dispositif expérimental : en bloc (un bloc par rangée) ou randomisé. Pour cela on teste s'il existe un effet de la rangée sur les variables caractérisant le développement architectural des arbres et la morphologie des UCs à t0. Ces variables sont la hauteur de l'arbre et le volume de la canopée suivants toutes les deux une loi normale puis on utilise aussi l'étage maximal et le nombre d'UCs terminales qui sont des variables de comptage avec des effectifs faibles suivant une loi de Poisson.

Deuxièmement, on contrôle l'attribution des 5 traitements aux 20 arbres de la parcelle. Il s'agit de s'assurer que cette attribution n'entraîne pas un effet significatif d'un traitement sur une variable dès la mise en place des traitements à t0. On considère les variables suivantes : la Longueur des UCs, le Diamètre des UCs, la Surface de la feuille médiane des UCs, la Surface foliaire des UCs, la SLA, la hauteur, le Volume de la canopée et Nombre de feuille par UC, toutes suivent une loi de répartition normale. On utilise aussi l'étage maximale et le nombre d'UCs terminales qui comme spécifier ci-dessus suivent une loi de poisson.

Enfin nous avons effectué la comparaison des variables environnementales dans les cages (Température, %PAR, %YPF, Rc/Rs et % bleu) entre les traitements à différentes dates. Ces variables suivent une loi normale

Les méthodes utilisées pour l'analyse des variables d'intérêt sont expliquées ci-dessous et résumées dans le tableau 4.

Les variables ayant une distribution gaussienne ont été testés par des analyses de variance (Linear models, LM). Lorsqu'une variable explicative avait un effet significatif sur une variable expliquée ayant plus de deux niveaux (ou modalités), une comparaison multiple de moyenne par un test post-hoc de Tukey avec un ajustement de Bonferroni a été réalisé pour identifier les groupes de modalités homogènes. Pour les variables ne suivant pas une distribution gaussienne les effets des variables explicatives ont été testés par des modèles linéaires généralisés (Generalized Linear Models, GLMs) avec la loi de distribution appropriée. Lorsqu'une variable explicative avait un effet significatif sur une variable expliquée ayant plus de deux niveaux (ou modalités), une comparaison multiple de moyenne par un test post-hoc avec un ajustement de type fdr.

Lorsqu'une variable comprend plusieurs mesures par arbre, un effet aléatoire « arbre » est ajouté au modèle pour tenir compte de la structure groupée des données : les modèles utilisés sont alors des modèles linéaires mixtes (Linear Mixed Models, LMMs) ou des modèles linéaires généralisés mixtes (Generalized Linear Mixed Models, GLMMs). Les effets des variables

explicatives des GLM et des modèles mixtes (LMM et GLMM) sont testés par une analyse de déviance avec un test du Chi2 (GLM, GLMM) ou de Fisher (LM,LMM).

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels R (version 4.0.4) et Rstudio (version 4.0.4). Les GLMs et GLMMs sont réalisés avec les fonctions `glm()` du package « stats » et `glmer()` du package « lme4 ». Les LMs et LMMs sont réalisés avec les fonctions `lm()` du package « stats » et `lmer()` du package « lme4 ». Les comparaisons multiples post hoc sont réalisées avec les fonctions `cld()` du package « multcomp », `TukeyHSD()` du package « stats » et `lsmeans()` du package « emmeans ».

Dans un premier temps l'effet de chaque facteur sur le débourement est testé seul, puis un model global avec l'ensemble des facteurs est testé. Du fait que l'échantillonnage des effectifs n'ai pas fait l'objet d'un plan d'observation (choix de l'échantillonnage en fonction des variables explicatives), on ne considèrera pas d'interactions entre les variables pour l'analyse des données dans ce mémoire. Les résultats de l'essai n° 1 étant aussi destiné à être comparé à une autre étude dont le jeu de donnée est moins important, et pour d'éviter des erreurs de surinterprétation, le seuil de significativité est abaissé à 0.01. Pour l'essai n°2 le seuil est fixé à 0,05.

Tableau 4: Résumé des méthodes d'analyse utilisées pour l'étude des variables suivies. * : chaque variable est traitée indépendamment. Pour certaines variables explicatives, le « 1 » signifie que la variable est testée pour l'essai n°1 et un « 2 » que la variable est testée pour l'essai n°2

Groupe	Variable étudiée	Méthode d'analyse			Variables explicatives testées		Test post hoc
		Modèle	Loi de distribution	Test	Fixes	Aléatoires	Ajustement
Morphologie des UCs	Longueur des UCs	LMM	Gaussienne	Fischer	Traitement	arbre	Bonferroni
	Diamètre des UCs	LMM	Gaussienne	Fischer	Traitement	arbre	Bonferroni
	SLA	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni
	Nb feuilles par UC	LMM	Gaussienne	Fischer	Traitement	arbre	Bonferroni
	Surface foliaire UC	LMM	Gaussienne	Fischer	Traitement	arbre	Bonferroni
Développement architectural	Hauteur	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement, Rang	/	Bonferroni
	Volume canopée	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement, Rang	/	Bonferroni
	Diamètre P.G.	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni
	Diamètre Greffon	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni
	Nb étage maximal	GLM	Poisson	χ^2	Traitement, Rang	/	fdr
	Nb UCs terminales	GLM	Poisson	χ^2	Traitement, Rang	/	fdr
Développement végétatif	Débourrement* : (occurrence, intensité, Dynamique)	GLMM	Occurrence : Binomiale	χ^2	Position de l'UC ^{1,2}	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	Traitement ²	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	Diamètre de l'UC ²	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	Etage de l'UC ²	arbre	fdr
		GLMM	Intensité : Binomiale	χ^2	Modèle global avec toutes les variables ²	arbre	fdr
		GLMM	Dynamique : Normale	χ^2	% PAR ¹	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	% YPF ¹	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	Rc/Rs ¹	arbre	fdr
		GLMM		χ^2	Quantité Bleu ¹	arbre	fdr
Micro climat dans la cage	Température	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni
	Quantité de lumière* (PAR%, YPF%)	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni
	Qualité de lumière* (Rc/Rs, % bleu)	LM	Gaussienne	Fischer	Traitement	/	Bonferroni

Chapitre 3. Résultats

I. EFFET DE LA QUANTITE ET DE LA QUALITE DE LA LUMIERE SUR LE DEBOURREMENT VEGETATIF DES UCS TERMINALES DE MANGUIERS ADULTES

A. Effet du PAR transmis sur le débourrement

Le pourcentage de PAR transmis des UCs a eu un effet très significatif sur l'occurrence du débourrement (GLMM, Pvalue<0.001)(figure 9).

En ce qui concerne l'occurrence du débourrement, parmi les 440 UCs suivies, 74 % des UCs apicales ont débouuré contre 63 % des UCs latérales. Les UCs n'ayant pas débouuré au cours du suivi (code 0) ont un pourcentage de PAR transmis moyen de $13 \pm 12\%$ pour les UCs apicales et $14 \pm 15\%$ pour les latérales, tandis que celles qui ont débouuré (code 1) ont un pourcentage de PAR transmis moyen de $35 \pm 21\%$ pour les UCs apicales et $31 \pm 21\%$ pour les latérales (figure 8).

Sur les 440 UCs suivies, un seuil moyen de 30% de PAR transmis est apparu comme le seuil limite d'intensité lumineuse permettant le débourrement des UCs (figure 8). C'est d'ailleurs pour cela que cette valeur seuil de 30% du PAR a été retenue pour l'essai sur jeunes manguiers.

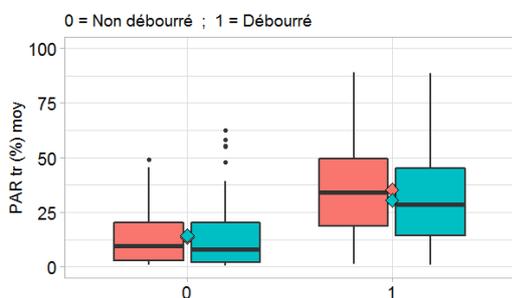


Figure 8 : %PAR transmis reçu par les UCs en fonction de leur occurrence de débouurement (0 : UCs n'ayant pas débouuré, 1 : UCs ayant débouuré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales)

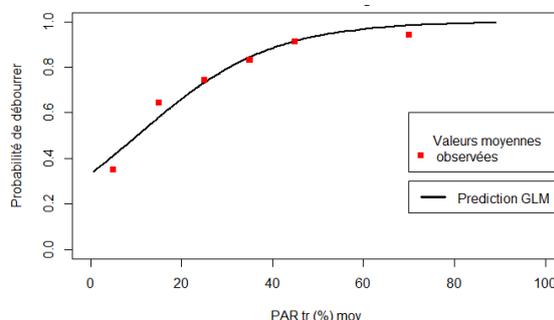


Figure 9 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débouurement au % de PAR transmis moyen. Les points rouges sont les probabilités de débouurement moyennes observées par classe de PAR % (classes d'effectifs égaux, n=72).

Dans le dispositif, 87% des UCs ayant débouuré ont émis seulement une UC fille et 13% en ont produit au moins deux. Le pourcentage de PAR transmis moyen reçu par les UCs ayant produit une seule UC fille est de $31 \pm 20\%$ et $48 \pm 23\%$ pour les UCs ayant produit deux UCs filles ou plus (figure 10). Le pourcentage de PAR transmis moyen a un effet significatif sur l'intensité de leur débouurement (GLMM, Pvalue<0.001) Les UCs ayant donné le plus de filles sont celles qui ont reçu les % de PAR transmis les plus importants (figure 11).

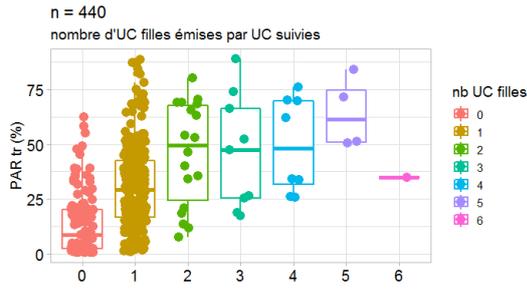


Figure 10 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au % de PAR transmis et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi. 1 point représente 1 UCs.

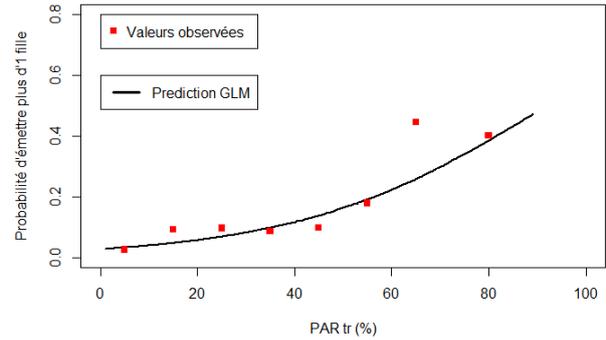


Figure 11 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourrement au % de PAR transmis moyen. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de PAR % (classes d'effectifs égaux, n=72).

B. Effet du rapport Rc/Rs sur le débourrement

Les UCs n'ayant pas débourré au cours du suivi ont un rapport Rc/Rs moyen de 0.39 ± 0.20 pour les UCs apicales et 0.39 ± 0.23 pour les latérales. Quant aux UCs ayant produit une ou plusieurs UCs filles, le rapport Rc/Rs moyen est de 0.71 ± 0.26 pour les UCs apicales et 0.61 ± 0.26 pour les UCs latérales (figure 12).

Les UCs exposées à une valeur du rapport Rc/Rs faible débourrent moins (figure 13). Pour le traitement de l'essai jeunes arbres qui vise à réduire ce rapport Rc/Rs on vise donc des valeurs proches de zéro pour étudier le débourrement quasi sans lumière rouge.

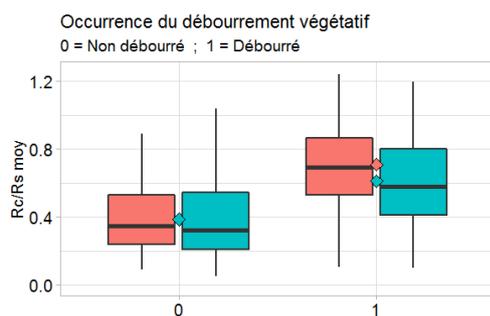


Figure 12 : Rapports Rc/Rs des UCs en fonction de leur occurrence de débourrement (0 : UCs n'ayant pas débourré, 1 : UCs ayant débourré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales)

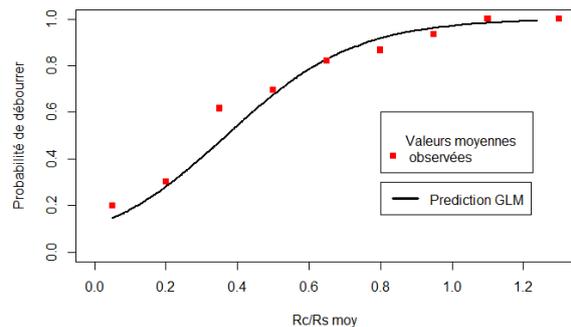


Figure 13 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débourrement au rapport Rc/Rs. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de Rc/Rs (classes d'effectifs égaux, n=72).

Le rapport Rc/Rs moyen des UCs a un effet très significatif sur l'occurrence du débourrement (GLMM, Pvalue<0.001). La probabilité du débourrement augmente avec le rapport Rc/Rs moyen (figure 13).

En ce qui concerne l'intensité du débourrement, le rapport Rc/Rs moyen des UCs est de 0.63 ± 0.25 pour les UCs ayant produit une seule UC fille et 0.88 ± 0.26 pour les UCs ayant produit deux UC filles ou plus (figure 14). Le rapport Rc/Rs moyen a un effet significatif sur l'intensité du débourrement (GLMM, Pvalue<0.001). L'augmentation du rapport Rc/Rs moyen des UCs augmente la probabilité pour une UC mère de produire plus d'une UC fille (figure 15).

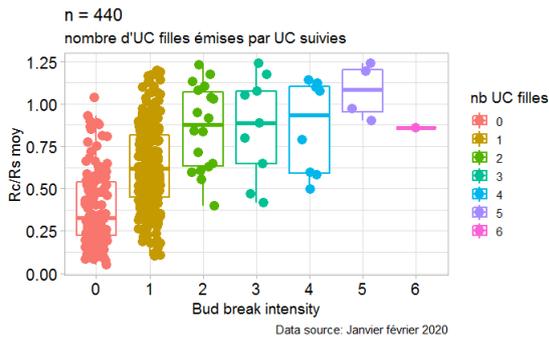


Figure 14 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au rapport Rc/Rs transmis et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi. 1 point représente 1 UCs.

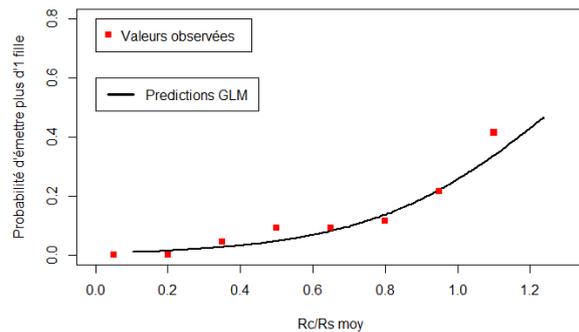


Figure 15 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourrement au rapport Rc/Rs. Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de Rc/Rs (classes d'effectifs égaux, n=72).

C. Effet de la quantité de Bleu sur le débourrement

La quantité de Bleu des UCs a un effet significatif sur l'occurrence du débourrement (GLMM, Pvalue<0.001). L'occurrence du débourrement augmente avec la quantité de Bleu moyenne ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (figure 17)

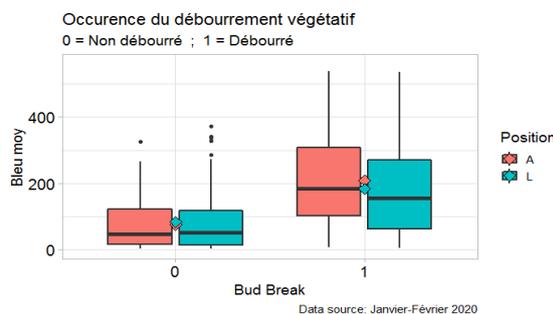


Figure 16 : Quantité de bleu moyenne Bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) des UCs en fonction de leur occurrence de débourrement (0 : UCs n'ayant pas débourré, 1 : UCs ayant débourré) et leur position (rouge : UCs apicales, bleu : UCs latérales)

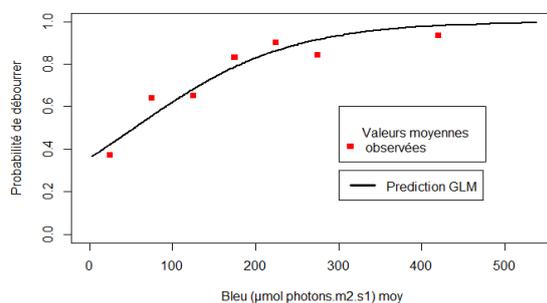


Figure 17 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'occurrence du débourrement à la quantité de bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Les points rouges sont les probabilités de débourrement moyennes observées par classe de quantité de bleu (classes d'effectifs égaux, n=72).

Les UCs n'ayant pas débourré au cours du suivi ont reçu une quantité de Bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) moyenne de 76 ± 76 pour les UCs apicales et 84 ± 92 pour les latérales. Quant aux UCs ayant produit une ou plusieurs UCs filles, la quantité de Bleu moyenne est de 209 ± 132 pour les UCs apicales et 183 ± 137 pour les latérales.

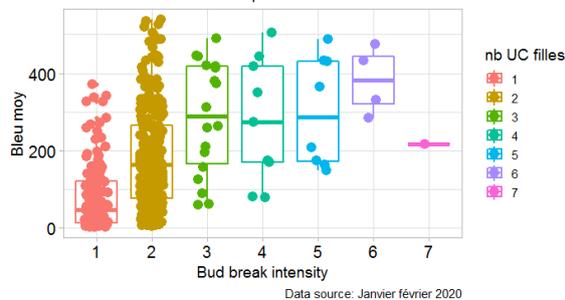


Figure 18 : Boxplot de la Distribution de l'ensemble des UCs par rapport au bleu moyen reçu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) et au nombre d'UCs filles émises au cours du suivi. 1 point représente 1 UCs

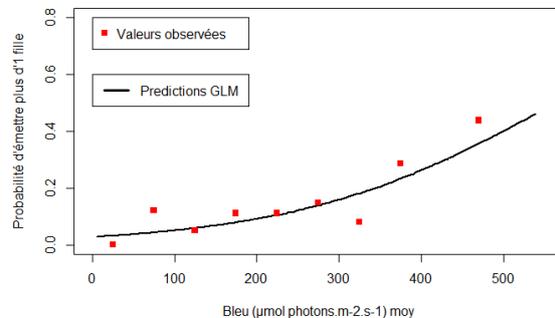


Figure 19 : Représentation graphique des prédictions (traits) du modèle glmer de la réponse de l'intensité du débourement à la quantité de bleu ($\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Les points rouges sont les probabilités de débourement moyennes observées par classe de quantité de bleu (classes d'effectifs égaux, $n=72$).

En ce qui concerne l'intensité du débourement, la quantité moyenne de Bleu des UCs est de 183 ± 128 pour les UCs ayant produit une seule UC fille et 294 ± 140 pour les UCs ayant produit deux UC filles ou plus (figure 18). La quantité moyenne de Bleu a un effet très significatif sur l'intensité du débourement (GLMM, $P\text{value} < 0.001$). L'augmentation la quantité moyenne de Bleu des UCs augmente la probabilité pour une UC mère de produire plus d'une UC fille (figure 19).

Globalement, les résultats de l'essai évaluant les effets de la lumière sur le débourement des manguiers adultes mettent en évidence l'effet de la lumière (%PAR transmis, rapport R_c/R_s et quantité de Bleu) sur l'occurrence et l'intensité du débourement. Toutefois, la quantité et la qualité de la lumière au sein de la canopée étant corrélées (Escobar-Gutiérrez et al. 2009). Ces résultats ne permettent pas de déterminer s'il s'agit d'un effet de la quantité de la lumière (%PAR transmis), de la qualité de la lumière (rapport R_c/R_s et quantité de Bleu) ou des deux.

Par ailleurs, les résultats de l'essai ont permis d'identifier les caractéristiques de la lumière utilisée pour le choix des traitements lumineux de l'essai jeune manguiers qui dissocie qualité et quantité de lumière.

II. ANALYSES PRELIMINAIRES A LA MISE EN PLACE DE TRAITEMENTS CONTROLANT L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DE JEUNES MANGUIERS

Les jeunes manguiers n'ayant pas encore débourré, seule l'analyse du débourement des UCs lors du dernier flush avant l'application des traitements a été faite dans le cadre de ce stage pour contrôler qu'à la mise en place des traitements il n'y avait pas déjà de différence observable entre les traitements. Cette analyse est complétée par une caractérisation du comportement initial du débourement des UCs en réponse aux facteurs architecturaux et morphologiques (diamètre, position et l'étage de croissance).

A. Effet des futurs traitements et de facteurs architecturaux sur le développement végétatif du dernier flush des arbres

a. Analyse de l'occurrence du débourement

1. Analyse de l'effet de chaque facteur indépendamment

- *Occurrence du débourement à t0 en fonction du traitement attribué*

Il n'y a pas de différence d'occurrence du débourement entre les UCs appartenant à différents traitements (GLMM, Pvalue= 0.43). C'est un résultat important pour faciliter la comparaison des prochains flushes qui feront suite à l'application des traitements, car cela permet de montrer qu'à t0 l'essai il n'y a pas de différence entre les traitements.

- *Occurrence du débourement en fonction de la position de l'UC*

La position de l'UCs a un effet significatif sur l'occurrence du débourement des UCs (GLMM, Pvalue<0.001). L'occurrence de débourrer des UCs en position apicale est de 0.91 avec un intervalle de confiance à 95 % de [0,77 ; 0,93] et est supérieur à celles en position latérales 0.71 avec un intervalle de confiance à 95% de [0,50 ; 0,77] (figure 20).

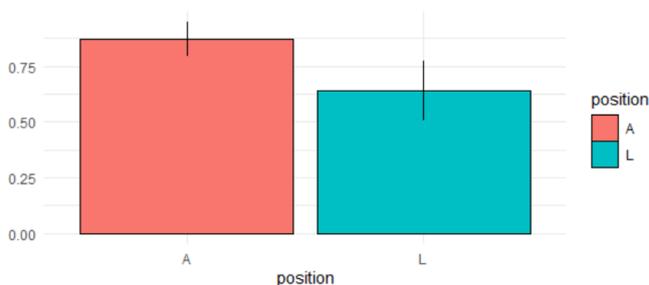


Figure 20 : l'occurrence de débourement des UCs (\pm intervalle de confiance à 95%) en fonction de la position (apicale ou latérale)

- Occurrence du débourrement en fonction du diamètre de l'UC

L'occurrence de débourrement semble être plus importante lorsque le diamètre de l'UC augmente (figure 21) passant de 0.58(IC₉₅: [0,77 ; 0,93])pour les UC de diamètre inférieur à 3.03 mm à 0.94 (IC₉₅: [0,73 ;0,98]) pour les UCs avec le diamètre le plus important. Le diamètre de l'UCs a un effet significatif sur l'occurrence du débourrement (GLMM,Pvalue=0.018).

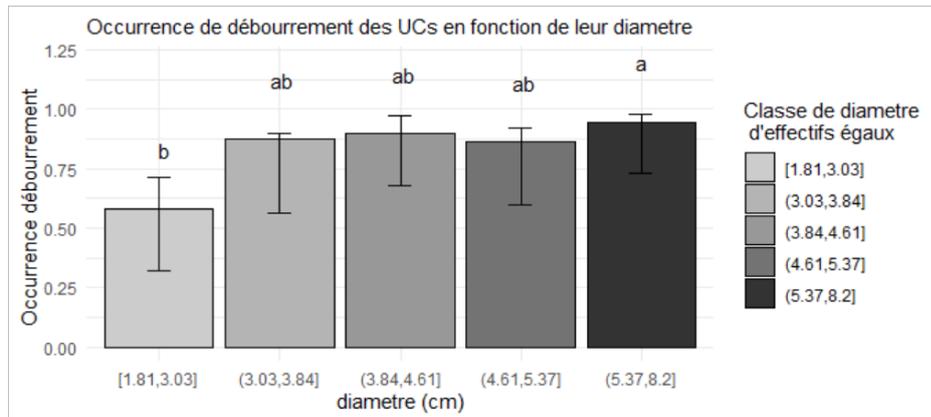


Figure 21 : Comparaison de l'occurrence (\pm IC 95%) de débourrement des UCs en fonction de la classe de diamètre de l'UC

- Occurrence du débourrement en fonction de l'étage de l'UC

L'étage sur lequel se situe l'UC n'a pas d'effet significatif sur l'occurrence du débourrement (GLMM,Pvalue = 0.229)

2. Analyse du modèle global de débourrement (traitement, position, diamètre et étage avec effet aléatoire de l'arbre)

Quand on test le modèle statistique global sans interactions d'explication de l'occurrence du débourrement en réponse au traitement, à la position de l'UC, son diamètre et le nombre d'étage, il n'y a que le diamètre de l'UC qui a un effet significatif sur l'occurrence du débourrement (tableau 5).

Tableau 5 : Résumé de l'analyse du modèle global testant l'ensemble des facteurs sur l'occurrence de débourrement des UCs.

Variabes	χ^2	Df	Pr(> χ^2)
Traitement	2.6776	4	0.61
Position	1.0685	1	0.30
Diamètre	5.8940	1	0.015 *
Étage	0.9290	1	0.33

b. Analyse de l'âge des UCs lors du débourrement

1. Analyse de l'effet de chaque facteur indépendamment

- *Dynamique de débourrement en fonction de la répartition du traitement*

Il n'y a pas de différences significatives d'âge au moment du débourrement des UCs appartenant à différents traitements (GLMM, Pvalue=0.48). C'est un résultat important pour faciliter la comparaison des prochains flushs qui feront suite à l'application des traitements, car cela permet de montrer qu'à t0, il n'y a pas de différence entre les traitements.

- *Dynamique du débourrement en fonction de la position de l'UC*

L'âge moyen des UCs apicales lorsqu'elles débourrent est de 59 ± 3 jours alors qu'en moyenne les UCs latérales débourrent au bout de 79 ± 4 jours (figure 22). La position de l'UCs a eu un effet significatif sur l'âge lors du débourrement (GLMM, Pvalue<0.001)

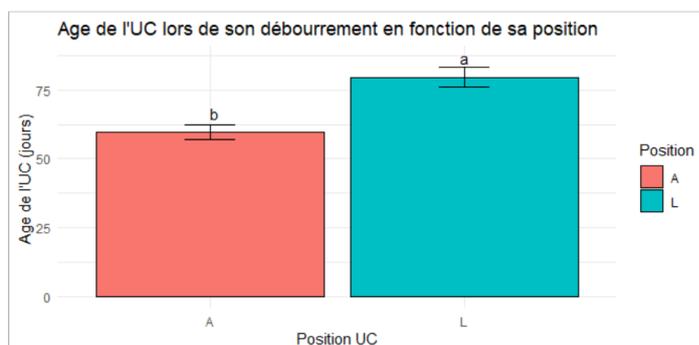


Figure 22 : Comparaison de l'âge moyen lors (nombre de jour \pm écart type) du débourrement des UCs en fonction de la position (apicale ou latérale), (GLMM, Pvalue<0.001).

- *Dynamique du débourrement en fonction du diamètre de l'UC*

Il n'y a pas de différences significatives d'âge au moment du débourrement des UCs appartenant à différentes classes de diamètre d'UCs (GLMM, Pvalue= 0.51).

- *Dynamique du débourrement en fonction de l'étage de l'UC*

L'étage de croissance a un effet significatif sur la dynamique de débourrement (GLMM, Pvalue<0.001). L'âge des UCs situées sur les étages 1 lorsqu'elles débourrent est de 82 ± 5 jours. L'âge des UCs de l'étage 2 lorsqu'elles débourrent est de 69 ± 4 jours. Les UCs situées sur l'étage 3 débourrent en moyenne au bout de 54 ± 5 jours. En ce qui concerne les UCs des étages supérieurs à 3, leur âge lors du débourrement est plus variable il varie entre 40 ± 17 jours et 61 ± 9 jours (figure 23)

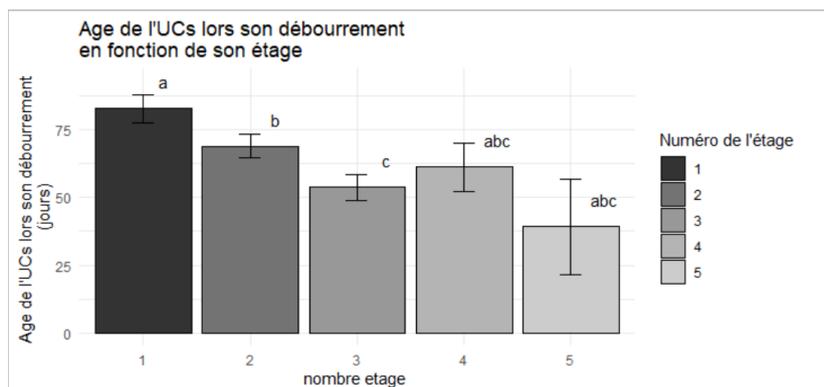


Figure 23 : Comparaison de l'âge moyen lors (nombre de jour \pm écart type) du débourrement des UCs en fonction l'étage de croissance sur lequel elles se situent. Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes. (Effectif par classe ; « 1 » : 25, « 2 » : 67, « 3 » : 31, « 4 » : 2, « 5 » : 6)

Pour résumé, si on test les facteurs un par un, la position de l'UC, et l'étage sur lequel se trouve les UCs influent significativement leur âge quand elles débourrent.

2. Analyse du modèle global de l'âge lors du débourrement (traitement, position, diamètre et étage avec effet aléatoire de l'arbre)

Quand on test le modèle statistique global sans interactions d'explication de la dynamique du débourrement en réponse au traitement, à la position de l'UC, son diamètre et son étage, il n'y a plus que l'étage de l'UC qui a un effet significatif sur l'âge de l'UCs lors de son débourrement (tableau 6)

Tableau 6 : Résumé de l'analyse du modèle global testant l'ensemble des facteurs sur la dynamique de débourrement des UCs.

Variables	F	Df	Pr(>F)
Traitement	0.8754	4	0.50
Position	0.0097	1	0.92
Diamètre	2.0159	1	0.15
Etage	8.9419	1	<0.001

B. Effet des futurs traitements sur les caractéristiques morphologiques des UCs terminales et architecturales des arbres, et du SLA à t0

L'effet de la lumière sur la morphologie des UCs a été caractérisé sur le dispositif expérimental n°2, sur les jeunes arbres sous les cages. La morphologie des UCs a été d'abord analysée à t0 de manière définir l'état initial des arbres avant traitement et d'identifier de potentielles

différences entre la morphologie des UCs qui ne seraient pas dues au traitement. Les jeunes manguiers n'ayant pas encore débouffé depuis l'application des traitements lumineux, il n'a cependant pas été possible d'analyser l'effet de la lumière sur la morphologie des UCs apparues après l'application des traitements lumineux dans le cadre de ce stage.

a. Longueur des UCs

Il n'y a pas de différence entre la longueur des UCs terminales (du dernier flush avant t0) des arbres de chaque traitement à t0 (LMM, Pvalue= 0.80).

b. Diamètre des UCs

Il n'y a pas de différence entre le diamètre des UCs terminales (du dernier flush avant t0) des arbres de chaque traitement à t0 (LMM, Pvalue= 0.78).

c. Nombre de feuille par UC

Il n'y a pas de différence entre le nombre moyen de feuilles qui composent les UCs terminales (du dernier flush avant t0) des arbres de chaque traitement à t0 (LMM, Pvalue= 0.13).

d. Surface de la feuille médiane des UCs

Il n'y a pas de différence entre les traitements concernant la surface moyenne de la feuille médiane des UCs terminales à t0 (LMM, Pvalue =0.88).

e. Surface foliaire des UCs

A l'échelle des UCs terminales, il n'y a pas de différence de la surface foliaire totale moyenne des UCs terminales entre les traitements à t0 (LMM, Pvalue= 0.43).

f. SLA et teneur en matière sèche des feuilles

La valeur du SLA n'est pas statistiquement différente entre les traitements pour les mesures du mois de Mai (t0) (LM, Pvalue=0,051). Ce résultat est à la limite de la significativité, une analyse temporelle du SLA est effectuée partie III.C. des résultats.

g. Mensurations des arbres

Pour évaluer les effets de la lumière sur le développement architectural des manguiers, les mensurations globales des arbres ont été analysées à t0 de manière définir l'état initial des arbres avant traitement et d'identifier de potentielles différences entre les arbres, qui ne seraient pas dues au traitement. Les résultats de cette analyse conduite sur l'ensemble des variables descriptives de l'architecture des arbres sont résumés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Effet des futurs traitements lumineux sur les mensurations des arbres (hauteur, volume de la canopée, diamètre du porte greffe et du greffon). Les valeurs correspondent aux moyennes \pm écart type. Les résultats de l'analyse statistique (Pvalue de l'anova) sont également indiqués.

Traitement	Hauteur (cm)	Volume canopée (m3)	Diamètre porte greffe (cm)	Diamètre greffon (cm)
Témoin	95.5 \pm 6.5	0.080 \pm 0.026	2.46 \pm 0.27	1.99 \pm 0.25
Neutre	95.5 \pm 12.2	0.096 \pm 0.045	2.54 \pm 0.31	2.01 \pm 0.24
Zeta	90.2 \pm 7.9	0.079 \pm 0.035	2.53 \pm 0.3	1.88 \pm 0.17
Vert	87.2 \pm 3.6	0.071 \pm 0.009	2.43 \pm 0.13	1.93 \pm 0.15
Bleu	91.8 \pm 18.6	0.085 \pm 0.076	2.30 \pm 0.43	1.84 \pm 0.51
<i>P-value</i>	<i>0.80</i>	<i>0.95</i>	<i>0.80</i>	<i>0.92</i>

Il n'y a pas de différence significative entre les traitements à t0 pour aucune des variables de mensuration des arbres (Tableau 8).

h. Caractéristique de l'architecture globale des arbres

A l'échelle des arbres, le nombre d'UCs terminales et l'étage de croissance maximal ne sont pas significativement différents entre les traitements à t0 (Tableau 8).

Tableau 8 : Nombre d'UCs terminales et étage de croissance maximal par arbre à t0 en fonction du traitement. Les valeurs correspondent aux moyennes \pm écart type. Les résultats de l'analyse statistique sont également indiqués (Pvalue).

Traitement	Nombre d'UC terminales	Etage de croissance
Témoin	7.2 \pm 2.2	3.7 \pm 0.5
Neutre	7.2 \pm 1.5	3.7 \pm 0.5
Zeta	7.5 \pm 1.7	3.5 \pm 1
Vert	8.2 \pm 3.3	3.2 \pm 0.5
Bleu	9.3 \pm 4.7	3.5 \pm 1.7
<i>Pvalue</i>	<i>0.83</i>	<i>0.99</i>

III. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR L'ENVIRONNEMENT DES JEUNES ARBRES, SUR LE SLA ET LA TENEUR EN MATIERE SECHE DES FEUILLES

A. Effet des cages colorées sur la température

Les résultats décrits ci-dessous sont issus d'observations des données mesurées, ils sont une première étape exploratoire pour identifier l'effet des traitements sur l'environnement thermique des arbres. Les valeurs présentées sont des moyennes horaire obtenues sur 6 jours de campagne de mesures. La mise en place des traitements lumineux par les cages semble modifier le micro-climat autour des arbres. Il existe notamment des différences de températures par rapport à l'extérieur des cages et entre les traitements. En effet, au cours

du jour, se dégagent 2 tendances de modification de la température sous les cages (figure 24). Entre 17h et 7 heures, la température sous les gages est en moyenne plus faible qu'à l'extérieur des cages, une différence allant de -0,3 à -0,8 °C. A contrario, entre 8h et 16h, la température sous les cages est supérieure à la température extérieure, cette différence varie entre 1,7°C et 5,2°C au maximum. Il existe aussi des différences de température entre les traitements, il semblerait que le traitement neutre soit le plus frais avec une température moyenne plus faible de 1,6°C que celle des traitements colorés et jusqu'à 3 degrés plus froid que le traitement témoin. Le traitement témoin apparaît comme celui augmentant le plus la température environnant les arbres avec environs 1 °C de plus que pour les traitements colorés (Vert, Zeta, Bleu).

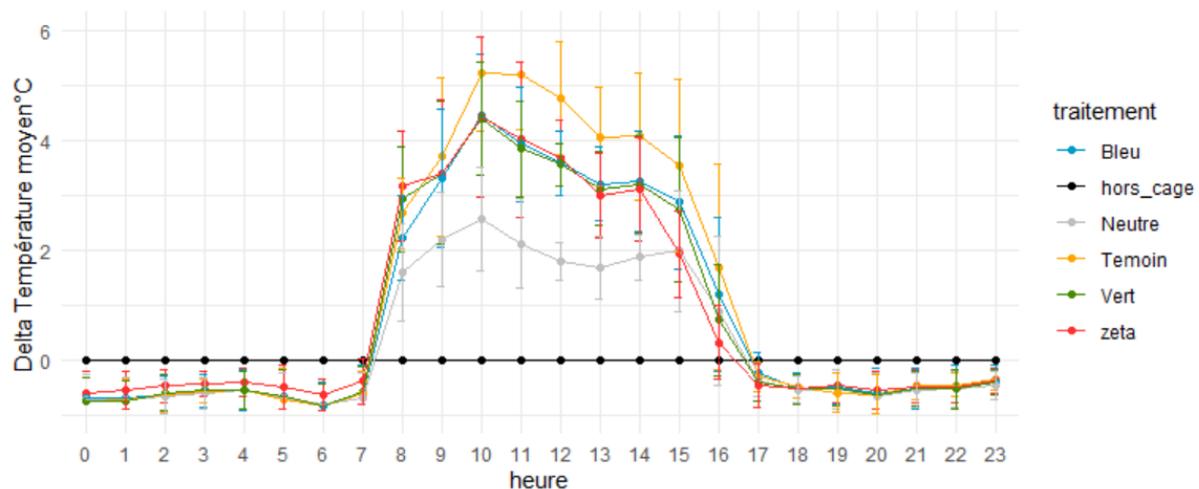


Figure 24 : Différence moyenne (n=6 jours) de la température horaire (±écart type) sous les cages par rapport à la température extérieure (hors_cage)

B. Effet des cages colorées sur l'environnement lumineux

a. Evolution du % de PAR transmis au cours de l'essai.

Le traitement bleu au mois de mai présentait un % de PAR transmis autour des $20 \pm 1\%$, une valeur trop faible en comparaison des 30% fixés comme objectif et qui est atteinte par les autres traitements (figure 25). Le traitement bleu initialement composé d'une superposition de 2 filtres a donc été corrigé au cours de mois de juin (suppression du filtre neutre). Le contrôle de l'environnement lumineux réalisé en juin a validé la correction apportée et la valeur est maintenant conforme aux objectifs fixés. On observe une tendance générale à une augmentation du % de PAR transmis au cours de l'essai. Cette augmentation, de moins de 5%, est significative pour les traitements vert et bleu (LM, respectivement $P_{\text{value}}=0.02$ et $P_{\text{value}}<0.001$).

Le % de PAR transmis entre les traitements pour le mois de mai est significativement différent entre le traitement témoin et les autres traitements ($P_{\text{value}}<0.001$), les traitements zeta, vert et neutre possèdent des niveaux de % de PAR transmis similaire. Seul le traitement vert présente un % de PAR transmis significativement différent des autres traitements colorés en mai. Pour le mois de juin, tous les traitements colorés présentent un % de PAR transmis équivalent (LM, $P_{\text{value}}=0.44$). En juillet, le % de PAR transmis du traitement témoin est

toujours significativement différent des autres (LM,Pvalue<0.001),les traitements bleu et neutre montrent des valeur de % de PAR transmis significativement différente entre eux(LM,Pvalue=0.02),avec 5% de plus pour le traitement bleu.

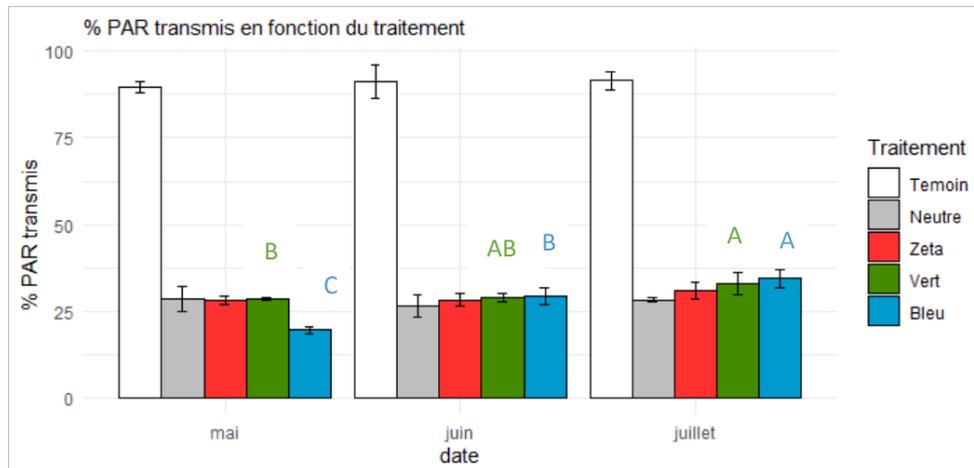


Figure 25 : Comparaison entre les mois du % PAR (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % PAR transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % PAR transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.

b. Evolution du YPF% au cours de l'essai.

Le YPF% transmis n'a pas changé durant les 3 premiers mois de l'essai pour les traitements témoin, neutre et zeta. Une légère augmentation significative, inférieure à 5%, est observée sur les traitements vert et bleu (LM,respectivement Pvalue< 0.05 et Pvalue<0.001) .Pour le mois de mai, seul le traitement bleu est différent (plus forte valeur de YPF transmis) des autres traitements colorés (LM,Pvalue<0.001).

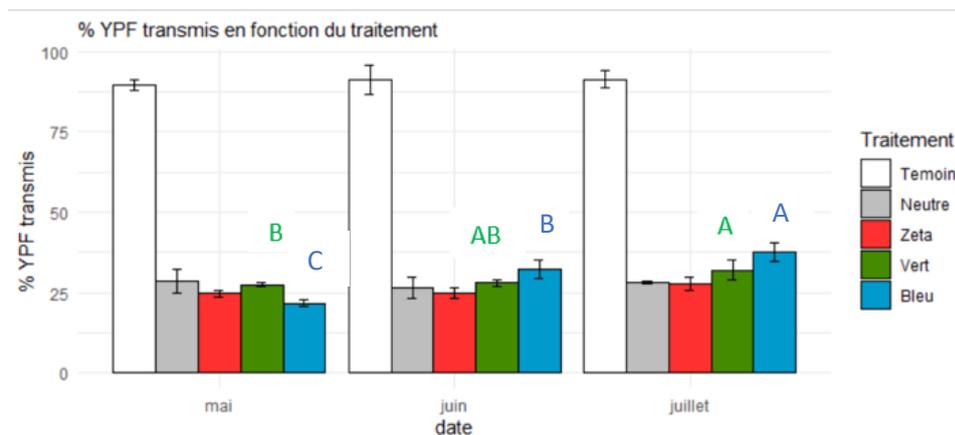


Figure 26 : Comparaison entre les mois du % YPF (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % YPF transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % YPF transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.

Le % de YPF transmis entre les traitements pour le mois de juin est significativement différent entre le traitement témoin et les autres traitements (LM,Pvalue<0.001). Les traitements zeta, vert et neutre possèdent des niveaux de YPF transmis similaires, seul le traitement bleu présente un % de YPF transmis significativement différent des autres traitements colorés en juin. En juillet, le % de PAR transmis du traitement témoin est toujours significativement différent des autres (LM,Pvalue<0.001), les traitements zeta et neutre montrent des valeurs de YPF similaires, alors que les valeurs de %YPF transmis pour le vert et le bleu sont significativement plus grandes (LM,Pvalue<0.01).(figure 26)

c. Evolution du % de Bleu au cours de l'essai

Le % de bleu transmis n'a pas significativement changé durant les 3 premiers mois de l'essai pour les traitements témoin, neutre et rouge (figure 27). Une légère augmentation significative de 3 % est observée sur les traitement vert (LM,Pvalue=0.03). En revanche, le traitement bleu qui vise à réduire le % de bleu transmis a lui aussi subi une augmentation significative (LM,Pvalue<0.001) puisque que le % de bleu transmis à tripler est atteint en juillet 3.7 % de bleu transmis.

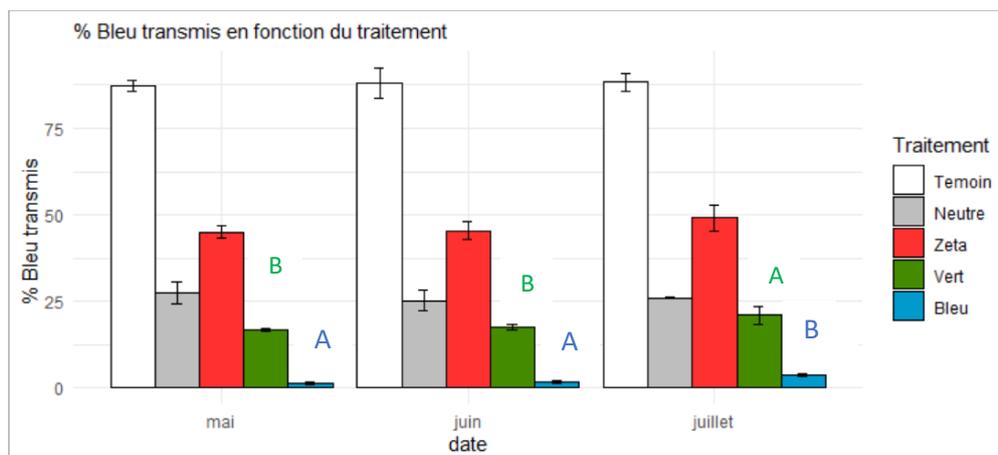


Figure 27 : Comparaison entre les mois du % Bleu (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le % Bleu transmis est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur de % Bleu transmis entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.

d. Evolution du rapport Rc/Rs au cours de l'essai

Le rapport Rc/Rs n'a pas significativement changé durant les 3 premiers mois de l'essai (figure 28) pour le traitement neutre et la valeur pour le traitement témoin est la même entre le début de l'expérience et la dernière mesure de juillet. Le traitement bleu a vu son rapport Rc/Rs augmenter faiblement (mais significativement (LM,Pvalue< 0.001)) de 0.1 ± 0.006 point

au cours du mois de juin. En ce qui concerne le traitement vert, la valeur du rapport entre t0 et juillet a augmenté plus significativement de 0.2 point. Le rapport Rc/Rs du traitement Zeta a quant à lui doublé au cours des premier mois de l'essai (LM,Pvalue<0.001). Sachant que c'est ce traitement qui a pour objectif de réduire le rapport Rc/Rs il convient de surveiller avec attention cette augmentation.

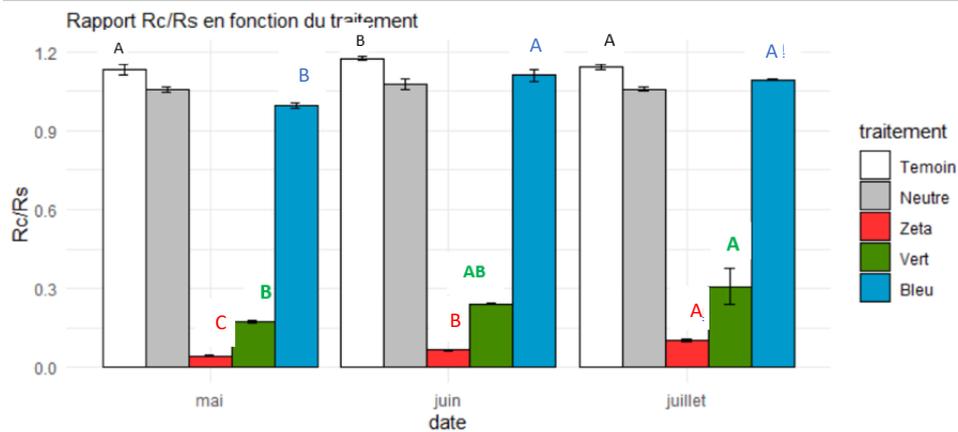


Figure 28 : Comparaison entre les mois du rapport Rc/Rs (\pm écart type) transmis pour chaque traitement. La couleur des lettres correspond au traitement pour lequel le rapport Rc/Rs est comparé entre les mois. Deux lettres différentes signifient que la valeur du rapport Rc/Rs entre les mois pour ce traitement est significativement différente. Une absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour ces traitements.

C. SLA et teneur en matière sèche des feuilles

Comme dit dans la partie II.B.f. des résultats le SLA pour le mois de Mai n'est pas significativement différent entre les traitements, la différence de SLA entre les traitement en Juillet n'est pas non plus significative (LM,Pvalue =0,40). En revanche, il existe une différence de SLA significative entre les traitements pour les mesures du mois de Juin (LM,Pvalue = 0,02). En particulier, le traitement Zeta montre un SLA de 16% plus important que le traitement Témoin. Une tendance à la diminution du SLA moyen par traitement au cours du temps est observable figure 29. La mesure de Mai correspond à t0 donc on n'attendait pas un effet du traitement lumineux.

Pour les traitements Témoin et Bleu, le SLA du mois de mai est de 15% et 25% plus important que celui de juin (LM,Pvalue <0,001) et juillet (LM,Pvalue < 0.001), respectivement. Une diminution d'environ 10% de la SLA s'observe pour le mois de juillet pour les traitements Neutre (LM,Pvalue= 0.001) et Zeta (LM,Pvalue=0.005). Le traitement vert ne présente pas de variation du SLA entre les 3 mois (LM,Pvalue= 0.05581).

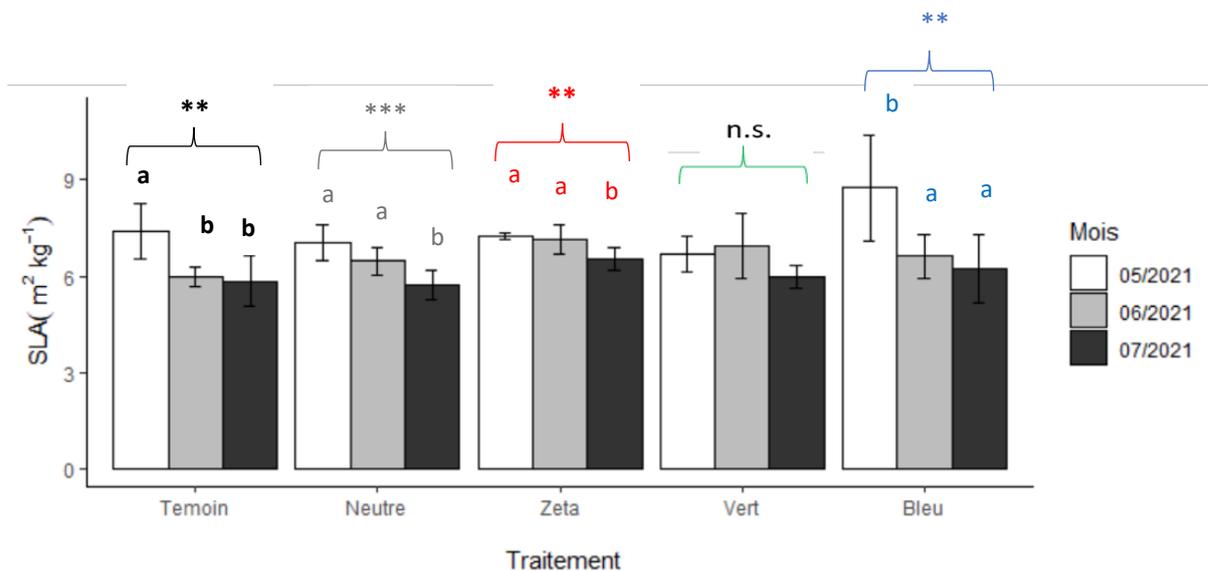


Figure 29 : SLA moyen (\pm écart type) des feuilles de chaque traitement en fonction du mois. Des lettres différentes signifient que le SLA est significativement différent entre les dates pour le traitement concerné. Le nombre d'étoile indique le niveau de significativité. (n.s.:non significatif, * : $P<0.05$, ** : $P<0.01$, *** : $P<0.001$)

On analyse la teneur en matière sèche des feuilles ayant servi au calcul du SLA, en fonction du traitement et du mois de mesure.

Pour les mois de mai et juillet, il n'y a pas de différence de la teneur en matière sèche des feuilles entre les traitements (Pvalue=0.09 et Pvalue= 0.18) (figure 30). A l'exception du traitement vert, tous les traitements présentent une augmentation de l'ordre de 5% de la teneur en matière sèche des feuilles. Pour le mois de Juin, on retrouve une différence de 7% de la teneur en matière sèche des feuilles entre les traitements Témoin et Zeta (LM,Pvalue=0.012).

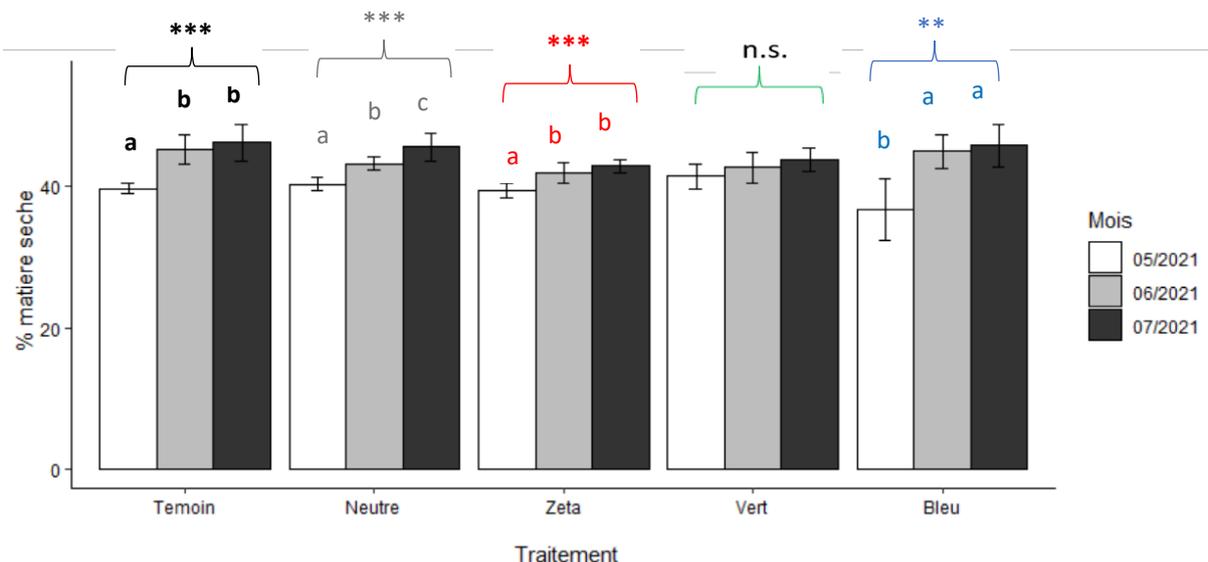


Figure 30 : Teneur en matière sèche moyenne des feuilles (\pm écart type) de chaque traitement en fonction du mois. Des lettres différentes signifient que le % de matière sèche est significativement différent entre les dates pour le traitement concerné. Le nombre d'étoile indique le niveau de significativité. (n.s.:non significatif, * : $P<0.05$, ** : $P<0.01$, *** : $P<0.001$)

Chapitre 4. Discussion

I. DISCUSSION DES RESULTATS

A. La quantité de lumière influe le débourrement

Nos résultats montrent que la quantité de lumière a un effet sur le débourrement. En effet l'analyse des effets de la lumière sur le débourrement des UCs sur des manguiers adultes a montré que les caractéristiques du débourrement sont influencées par la quantité de lumière reçue. Plus de lumière favorise le développement végétatif, et il semble exister une valeur de %PAR transmis sous laquelle le débourrement est quasi inexistant. C'est une valeur de référence intéressante pour modéliser le débourrement dans la canopée car on connaît les valeurs de lumière dans celle-ci. Ainsi, dans des canopées trop obstruées, le débourrement sera moins probable, c'est un résultat important pour la construction du modèle de simulation. Ce résultat souligne qu'une quantité de lumière minimale est indispensable au débourrement. Des résultats similaires sont décrits sur *Rosa sp.* par (Girault et al. 2008). On a aussi montré que plus il y a de lumière, plus il y a d'UCs filles produites par l'UC mère. C'est un phénomène déjà décrit sur *Rosa sp.* par (Choubane et al. 2012) et sur *impatiens capensis*, *datura ferox* ou *amaranthus* par (Caffarra and Donnelly 2011). Ceux-ci décrivent qu'une réduction de la quantité de lumière peut réduire la ramification des axes végétatifs. Ce résultat pourra être confirmé grâce au dispositif sur les jeunes manguiers.

B. La qualité de la lumière influe le débourrement

La qualité de la lumière a aussi un effet sur le débourrement. Au travers de l'essai n°1 on a montré que l'augmentation de la quantité de bleu ou du rapport Rc/Rs augmentait l'occurrence et l'intensité du débourrement. Des résultats qui sont similaires à ceux de (Williamson et al , 2012) sur plantes pérennes . L'effet de la qualité de la lumière sur la dynamique de débourrement (âge des UCs) n'a pas été étudié dans l'essai n°1, mais d'après (Brelsford and Robson 2018) une augmentation de la quantité de lumière bleue avancerait les dates de débourrement. C'est un effet qui pourra être analysé dans l'essai n°2 sur de jeunes manguiers. Il en va de même pour le rapport réduit de Rc/Rs qui pourrait diminuer l'âge de débourrement des UCs sous le traitement zeta, relation montré sur *betula pendula* par (Linkosalo and Lechowicz 2006).

C. Caractérisation à t0 du développement végétatif des jeunes manguiers

L'étude caractérisant le débourrement sur les jeunes manguiers à t0 sert à vérifier si les arbres ont un développement végétatif similaire avant l'application des traitements. Cela permettra aussi de vérifier si les caractéristiques du développement végétatif de jeunes manguiers sont similaires à celles d'arbres adultes. Il peut en effet exister des différences de comportement entre des arbres adultes et des jeunes arbres. Par exemple, la photosynthèse nette peut être plus faible chez des arbres adultes (J. Yoder et al., 1994), ou la distribution de la biomasse entre les organes peut être différente, avec une priorisation du développement des racines par rapport aux organes aériens pour les arbres juvéniles par exemple (Li, Kräuchi, and Dobbertin 2006).

In fine, ce sont les courbes de réponse à la lumière de l'essai n°1 qui seront utilisées dans pour la modélisation des arbres. L'essai sur de jeunes manguiers permettra de comprendre le rôle de la quantité et de la qualité de la lumière dans le débourrement. L'étude de l'effet de facteurs architecturaux sur le débourrement chez ces jeunes manguiers permet de confirmer l'influence forte de certains de ces facteurs sur le débourrement. Par exemple, on a montré que le diamètre des UCs et leur position influencent l'occurrence et l'intensité du débourrement. Les UCs de diamètre plus important et celles en position apicale ont tendance à plus débourrer et à donner plus d'UCs filles. Des résultats déjà montrés par ailleurs (Normand et al., 2009 ; Dambreville et al., 2013b). Ces résultats indiquent aussi qu'il faudra considérer ces facteurs architecturaux pour l'analyse des effets de la lumière sur le débourrement, pour éviter d'avoir des confusions d'effet.

D. Modification du SLA

Durant l'essai n°2, une baisse significative du SLA (sauf pour le traitement vert) a été observée entre mai (t0) et juillet. Une des hypothèses qui pourrait expliquer cette baisse serait une augmentation de la teneur en masse sèche des feuilles, ce qu'on montre dans nos résultats. Nous pensons que ce remplissage est dû à la maturation des UCs et pas un effet du traitement (où seul le traitement vert ne présente pas de variations significatives du SLA et du taux de matière sèche). En effet, la teneur en matière sèche des feuilles augmente rapidement après leur apparition, puis ralentit avant de se stabiliser (données non encore publiées, Isabelle Grechi). Sachant que les dates d'apparitions des UCs qui ont été considérées pour l'analyse sont autour du 15 avril, on pourrait penser que les feuilles n'avaient pas atteint leur stade mature lors des campagnes de mesures de mai.

A t0, les caractéristiques architecturales et morphologiques des arbres, et de développement des UCs ne sont pas significativement affectées par les futurs traitements modifiant les environnements lumineux des jeunes arbres. On suppose donc que si ces caractéristiques évoluent au cours du temps, après des phases de développement végétatif, ce sera dû à des effets du traitement.

II. DISCUSSION SUR LES METHODES

A. Mesure du SLA

La méthode de mesure du SLA est destructive car il faut prélever des feuilles. Les arbres étant jeunes et petits, on ne peut pas prélever un nombre trop important de feuilles, au risque de créer une perturbation ou un stress dans le fonctionnement des arbres. Le nombre d'échantillons prélevés par arbre est donc assez faibles avec peu de répétitions possibles. Il faut donc être prudent sur les résultats obtenus sur le SLA. Après la mesure du SLA et de la teneur en matière sèche, les feuilles sèches ont été envoyées au laboratoire d'analyses de sols et de plantes au CIRAD à Saint-Denis pour déterminer leurs teneurs en carbone total et en azote total. Ces résultats pourront ultérieurement être utilisés pour caractériser des changements dans la composition minérale et organique foliaire suite au traitement lumineux

B. Mesure de la température

Pour mieux appréhender le potentiel effet de la modification par les cages de la température sur le développement végétatif des manguiers, il aurait pu être pertinent de prévoir dans le schéma expérimental des arbres sans cages. On suppose qu'il peut exister des relations entre la température et le débourrement. Relations qui sont discutées par (Dambreville et al. 2013). Ils relatent de l'influence des facteurs environnementaux, parmi eux la température, sur la croissance et le développement des manguiers et soulignent notamment l'effet des différents micro-climat que l'on retrouve au sein de la canopée et qui diffère dans un même arbre à l'échelle de l'UCs. UCs dont le débourrement pourrait donc se voir affecté par ce microclimat. L'effet de la température sur le débourrement a été montré sur *Picea abies*, *Abies lasiocarpa*, *Betula pubescens* et 3 autres espèces d'arbre par Aas (2015) et Caffarra & Donnelly (2011). Une étude de la distribution des températures au sein de la canopée pourrait être envisagée pour identifier de potentiels gradients de température au sein de la canopée et qui pourraient impacter le débourrement.

C. Choix des dates d'expérimentation

La période de mise en place des cages sur les jeunes manguiers, au début de l'hiver austral, n'a pas permis dans le cadre de ce stage d'observer un débourrement depuis la mise en place des cages. Il a été choisi d'installer le dispositif au début de l'hiver austral afin d'éviter la période des cyclones qui balayent l'île durant l'été. Les cages ayant une forte prise au vent et étant d'une robustesse limitée, il est recommandable de tester la solidité du dispositif, et sa résistance aux vents et à la pluie, d'abord dans des conditions climatiques plus clémentes. Les températures fraîches de l'hiver ont maintenu les arbres en quiescence végétative, attendant de meilleures conditions climatiques pour débourrer. A la fin de la période du stage, fin août, deux arbres sur les 20 ont avaients débourrés.

D. Choix des modèles statistique

Il aurait été statistiquement plus rigoureux de construire les modèles statistiques en étudiant les potentielles interactions entre variables explicatives. A la vue de toutes les analyses effectuées, et notamment en fonction de la qualité des données, il a fallu faire des choix en fonction des objectifs du stage qui étaient notamment d'identifier les effets de la qualité et de la quantité de la lumière sur le débourrement d'arbres adultes et de caractériser le développement végétatif des arbres juvéniles à t0.

Les modèles statistiques prenant en compte toutes les variables montrent qu'il y a des variables explicatives qui, prises individuellement, ont un effet significatif sur des variables caractérisant le développement végétatif, et qui n'ont plus d'effet significatif lorsqu'elles sont associées à d'autres variables explicatives. Par exemple, la position de l'UC a un effet significatif sur la dynamique de débourrement, mais elle n'a plus d'effet significatif si les variables diamètre et étage sont intégrées dans le modèle. Cela peut s'expliquer par des corrélations entre certaines variables explicatives. C'est une analyse exploratoire qui n'a pas été réalisée à l'échelle du stage mais il serait pertinent de s'intéresser aux potentielles interactions entre les variables dans le choix des modèles statistiques. Cependant, on observe des tendances à la corrélation, notamment la répartition des effectifs des UCs en fonction de leur position et de leur diamètre. Les UCs apicales ont un diamètre plus élevé que les UCs latérales (annexe 3), phénomène décrit par (Normand et al. 2009) qui ont montré qu'en

moyenne les UCs apicales sont 1,3 fois plus longues que les latérales et que leur surface peut être 3 fois plus grande que celle des UCs latérale.

Ce travail vient conclure la première étape de l'évaluation des effets de la qualité et de la quantité de la lumière sur le débourrement végétatif des manguiers. Cette étape avait pour objectif de concevoir et mettre en place un essai permettant de dissocier la qualité et la quantité de la lumière. La caractérisation des arbres et des UCs avant l'application des traitements, et la vérification statistique que les caractéristiques étudiées n'étaient pas affectées à t0 par les futurs traitements, permettent d'avoir un état initial du comportement des arbres et de pouvoir identifier les changements qui seront provoqués par les traitements lumineux.

III. LIMITES ET FORCES DU DISPOSITIF

A. Augmentation de la température dans les cages

La différence de température peut être assez élevée entre l'intérieur des cages du dispositif et l'extérieur. Deux phénomènes sont observables au cours de la journée. De 17h à 7h, la température à l'intérieur des cages est plus fraîche que la température extérieure. De 8h à 16h, les températures sous les cages du traitement témoin sont les plus élevées. Les cages avec un filtre coloré présentent des températures similaires et intermédiaires, et celles du traitement neutre ont les températures les plus fraîches. Ces différences de température pourront être testées statistiquement pour confirmer statistiquement ces différences de température.

B. Evaluation des changements écophysologiques

Du point de vue de l'écophysologie des arbres, il était initialement prévu de faire des mesures de photosynthèse sur les jeunes arbres sous les cages avec un analyseur d'échange gazeux de type LI-COR®. Les conditions extérieures du verger (la variabilité du vent, de passage nuageux, de la température et de l'hygrométrie) n'ont pas permis de réaliser des mesures exploitables. Cependant, le SLA semble être un indicateur pertinent pour évaluer l'effet de la qualité et de la quantité de la lumière sur l'activité photosynthétique des jeunes arbres. En effet, le SLA est lié à la relation entre l'azote foliaire et la capacité photosynthétique nette. Pour toute valeur d'azote foliaire confondus, l'augmentation du SLA est liée à l'augmentation de la capacité photosynthétique nette de la feuille. (Reich & Walters, 1994; Reich et al., 1998).

C. Modification des paramètres expérimentaux au cours du temps

Un des objectifs de ce stage était aussi de mettre en place l'essai sur les jeunes manguiers et de contrôler que le dispositif se maintienne au cours du temps. Le suivi mensuel de l'environnement lumineux sous les cages a montré des modifications du % de PAR transmis, du pourcentage de bleu transmis et de rapport Rc/Rs sous certains traitements lumineux. Le contrôle de la stabilité des conditions expérimentales dans les cages a permis d'identifier des

variations dans les paramètres lumineux de certains traitements au cours du temps. Ces variations n'ont pas dépassé les seuils des caractéristiques de la lumière définis dans le protocole. Les écarts ont pu être corrigés par des remplacements de filtres sur les cages concernées afin de maintenir des conditions lumineuses stables autour des manguiers au cours de l'essai. La variation de l'environnement lumineux sous les cages reste donc un point de vigilance pour la durabilité et la réussite de l'essai.

D. Utilisation d'arbres juvéniles

Les résultats de l'essai n°2 sont issus d'arbres juvéniles et en générale, Le développement végétatif des jeunes manguiers est plus rapide que celui des arbres adultes. Les flushs sont plus nombreux et plus fréquents que pour des manguiers âgés, afin de mettre en place rapidement leur structure végétative qui sera capable de supporter la reproduction (communication interne CIRAD). Les potentiels effets de la lumière sur le débourrement pourront donc être transposables à des arbres adultes mais en tenant en compte que l'intensité des effets sera peut-être moindre en comparaison à celui observé sur les juvéniles.

E. Résistances du dispositif aux aléas climatiques

La résistance du dispositif aux aléas climatiques est satisfaisante. En effet, les cages ont bien résisté aux vents et aux épisodes de fortes pluies. Hormis quelques réparations ponctuelles, l'ensemble du dispositif est resté en place jusqu'à présent, ce qui est encourageant pour sa durabilité pour les mois à venir. De plus, la conception des cages permet le remplacement facile et rapide des filtres en cas de dégâts. Les arbres sont aussi suffisamment espacés les uns des autres pour qu'ils ne se fassent pas d'ombre entre eux.

F. Représentativité des traitements

L'essai n°2 comporte 20 individus, 4 par traitements. Si l'on considère les variables à l'échelle de l'arbre comme le volume de la canopée ou la hauteur de l'arbre, on se retrouve avec seulement 4 répétitions par traitement ce qui est peu pour des analyses statistiques robustes. Cependant les analyses sur le débournement portent essentiellement sur le débournement à l'échelle de l'UC. Ainsi avec 4 arbres par traitements et plusieurs dizaines d'UCs par arbres, on se retrouve avec une population totale d'UCs par traitement pouvant atteindre plusieurs centaines, ce qui permet de réaliser des analyses statistiques robustes.

CONCLUSION

Les résultats de l'essai n°1 testant l'effet de la lumière sur le débourrement des UCs terminales de manguiers adultes ont permis de déterminer des seuils pour les variables décrivant la qualité ou la quantité de lumière, en deçà desquels le débourrement est impacté négativement. Ainsi, un % de PAR transmis inférieur à 30%, ou un rapport Rc/Rs faible (proche de zéro), réduisent la probabilité et l'intensité du débourrement. Ces seuils ont été déterminant pour le choix des traitements du second dispositif qui visait à dissocier les effets de la qualité et de la quantité de la lumière sur le développement végétatifs de jeunes manguiers. Il a aussi été montré dans l'essai n°2 que des caractéristiques architecturales et morphologiques des UCs affectent leur probabilité et intensité de débourrement. Ainsi, les UCs en position apicale avaient une occurrence de débourrement plus importante que les UCs en position latérale. De la même manière, plus le diamètre des UCs est important, plus leur probabilité et leur intensité de débourrement sont importantes.

Les arbres du second dispositif n'ayant pas débourré au cours de la période d'étude du stage, une caractérisation initiale des arbres a été réalisée afin d'en avoir une description la plus complète avant la mise en place des traitements lumineux. Ont ainsi été caractérisés leur architecture, la morphologie de leurs UCs et leur comportement de débourrement, qui sont similaires à ceux d'arbres adultes. Cette caractérisation initiale sert aussi de point de référence pour la suite du suivi de l'essai et a permis d'identifier qu'à t0 il n'y a pas d'effet des futurs traitements.

Les observations sur la modification de la température du climat autour des arbres dues aux cages soulignent des différences importantes entre les traitements et une augmentation de la température à l'intérieur des cages durant la journée. On pressentait cette augmentation de température, c'est pour cela que les cages ont été conçues avec des ventilations naturelles pour essayer de limiter cette augmentation. La mise en place d'un traitement témoin avec une cage transparente permet aussi de comparer les données de débourrement du témoin avec celle des autres traitements à cause des différences marquées de température avec l'extérieur.

Les résultats confirment sur manguiers, les effets de la lumière connus sur le développement végétatif des plantes. Les futurs résultats issus du débourrement des arbres juvéniles permettront de préciser quels sont les effets de la qualité de la lumière et ceux de sa quantité sur le débourrement du manguiers et compléter les connaissances sur la culture et le fonctionnement du manguiers.

BIBLIOGRAPHIE

- Aas, Oda Toresdatter. 2015. "Effects of Light Quality and Temperature on Elongation Growth, Dormancy and Bud Burst in Norway Spruce (*Picea Abies*) and Subalpine Fir (*Abies Lasiocarpa*)." Thesis ,Norwegian University of Life Sciences.
- Agreste. 2020. "MEMENTO Réunion."
- Altendorf, S. 2019. "Major Tropical Fruits Market Review 2018." *FAO Food And Agriculture Organization of the United Nations*: 12.
- Assmann, S M. 1992. "Effects of Light Quantity and Quality during Development on the Morphology and Stomatal Physiology of *Commelina Communis*." *Oecologia*(1992)92:t88-195.
- Ballaré, Carlos L. 2014. "Light Regulation of Plant Defense." *Annual Review of Plant Biology* 65(1): 335–63. <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-arplant-050213-040145>.
- Barnes, C., and B Bugbee. 1992. "Morphological Response of Wheat to Bluelight." *Journal of Plant Physiology* 139: 339–342.
- Barnes, Charles et al. 1993. "Accuracy of Quantum Sensors Measuring Yield Photon Flux and Photosynthetic Photon Flux." *HortScience* 28(12): 1197–1200. <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/28/12/article-p1197.xml>.
- Barreiro, Roberto, Juan J. Guiamet, Jose Beltrano, and Edgardo R. Montaldi. 1992. "Regulation of the Photosynthetic Capacity of Primary Bean Leaves by the Red:Far-Red Ratio and Photosynthetic Photon Flux Density of Incident Light." *Physiologia Plantarum* 85(1): 97–101. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1399-3054.1992.tb05269.x>.
- Barthélémy, D., and Y. Caraglio. 2007. "Plant Architecture: Adynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny." *Ann. Bot.* 99: 375–407.
- Bayle, Marion. 2021. *Effet Du Porte-Greffe Sur Le Développement Végétatif de Jeunes Manguiers à La Réunion*. Stage ingénieur agronome CIRAD
- Brelsford, Craig C., and T. Matthew Robson. 2018. "Blue Light Advances Bud Burst in Branches of Three Deciduous Tree Species under Short-Day Conditions." *Trees - Structure and Function* 32(4): 1157–64. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-018-1684-1>.
- Briggs, W. R., and M. Iino. 1983. "Blue-Light-Absorbing Photoreceptors in Plants." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 303(1116): 347–59. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.1983.0098>.
- Caffarra, Amelia, and Alison Donnelly. 2011. "The Ecological Significance of Phenology in Four Different Tree Species: Effects of Light and Temperature on Bud Burst." *International Journal of Biometeorology* 55(5): 711–21. <http://link.springer.com/10.1007/s00484-010-0386-1>.
- De Candolle, A. 1884. *Origin of Cultivated Plants*.

- Carruthers, Timothy et al. 2001. "Chapter 19 - Measurement of Light Penetration in Relation to Seagrass." In *Global Seagrass Research Methods*, , 369–92.
- Casal, J. J., R. A. Sanchez, and V. A. Deregibus. 1987. "The Effect of Light Quality on Shoot Extension Growth in Three Species of Grasses." *Annals of Botany* 59(1): 1–7.
- Choubane, Djillali et al. 2012. "Photocontrol of Bud Burst Involves Gibberellin Biosynthesis in Rosa Sp." *Journal of Plant Physiology* 169(13): 1271–80. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0176161712002258>.
- Corelli-Grappadelli, L. C. 2003. "Light Relations." In *Apples: Botany, Production and Uses*, eds. n D. C. Ferree and I. J. Warrington. , 195–216.
- Corré,WJ. 1983. "Growth and Morphogenesis of Sun and Shade Plants. I. The Influence of Light Intensity." *Acta Bot Neerl* 32: 49–62.
- Crane, J. 2008. The Encyclopedia of Fruit & Nuts (Janick, J., Paull, R.E.) *Mangifera Indica*.
- Crane, J, S.Salazar-García, T.-S. Lin, and S.-H de Queiroz Pinto, A.C., Shü. 2009. "Crop Production: Management." In *The Mango: Botany, Production and Uses*, , 432–483.
- DAAF. 2014. "DAAF La Réunion Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de La Forêt." *Agreste La Réunion* Numéro 92.
- Dambreville, Anaëlle et al. 2013a. "Deciphering Structural and Temporal Interplays during the Architectural Development of Mango Trees." *Journal of Experimental Botany* Volume 64(8): 2467–2480.
- Dambreville, Anaëlle, Frédéric Normand, and Pierre Éric Lauri. 2013b. "Plant Growth Coordination in Natura: A Unique Temperature-Controlled Law among Vegetative and Reproductive Organs in Mango." *Functional Plant Biology* 40(3): 280–91.
- Davenport, T.L. 2009. "Reproductive Physiology." In *The Mango: Botany, Production and Uses*, ed. (Wallingford: Litz RE) 2nd Edition. , 97–169.
- Demotes-Mainard, Sabine et al. 2016. "Plant Responses to Red and Far-Red Lights, Applications in Horticulture." *Environmental and Experimental Botany* 121: 4–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>.
- Djennane, S. et al. 2014. "Impacts of Light and Temperature on Shoot Branching Gradient and Expression of Strigolactone Synthesis and Signalling Genes in Rose." *Plant Cell Environ.* 37: 742–757.
- Douma, Jacob C. et al. 2019. "Ecological Significance of Light Quality in Optimizing Plant Defence." *Plant Cell and Environment* 42(3): 1065–77. <https://doi.org/10.1111/pce.13524>.
- Escobar-Gutiérrez, Abraham J. et al. 2009. "Functional Relationships to Estimate Morphogenetically Active Radiation (MAR) from PAR and Solar Broadband Irradiance Measurements: The Case of a Sorghum Crop." *Agricultural and Forest Meteorology* 149(8): 1244–53.
- Finlayson, S.A., S.R. Krishnareddy, T.H. Kebrom, and J.J Casal. 2010. "Phytochrome Regulation of Branching in Arabidopsis." *Plant Physiol* 152: 1914–1927.

- Gerbaud, P. 2015. "Dossier Mangue." *FruiTrop* 230: 26–70.
- Gerbaud, P. 2018. "Mangue : Principales Variétés." *FruiTrop Magazine* 255: 88–90.
- Girault, T. et al. 2008. "Light Controls Shoot Meristem Organogenic Activity and Leaf Primordia Growth during Bud Burst in Rosa Sp." . *Plant Cell Environ.* 31: 1534–1544.
- Givnish, T. J. 1988. "Adaptation to Sun and Shade: A Whole-Plant Perspective." *Australian Journal of Plant Physiology* 15: 63–92.
- Goguy, T. 1995. "Approche Architecturale Des Mécanismes de La Croissance Aérienne et de La Floraison Du Manguier." Université Montpellier II.
- Goguy, T. 1997. "Architectural Approach of the Mechanisms of Canopy Growth and Flowering of Mango Trees." *Acta Horti* 455: 124–131.
- Graul, T. et al. 2008. "Light Controls Shoot Meristem Organogenic Activity and Leaf Primordia Growth during Bud Burst in Rosa Sp." *Plant, Cell & Environment* 31(11): 1534–44. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3040.2008.01856.x>.
- Grechi, I. et al. 2007. "Effect of Light and Nitrogen Supply on Internal C:N Balance and Control of Root-to-Shoot Biomass Allocation in Grapevine." *Environmental and Experimental Botany* 59(2): 139–49. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847205001681>.
- Hallé, F., and R. Martin. 1968. "Étude de La Croissance Rythmique Chez l'hévéa (Hevea Brasiliensis Müll. -Arg., Euphorbiacées, Crotonoïdées)." *Adansonia* 8: 475–503.
- Hallé, F., R. A. Oldeman, and P. B. Tomlinson. 1978. "An Architectural Analysis." In *Tropical Trees and Forests*,
- Van der Horst, Michael A., and Klaas J. Hellingwerf. 2004. "Photoreceptor Proteins, 'Star Actors of Modern Times': A Review of the Functional Dynamics in the Structure of Representative Members of Six Different Photoreceptor Families." *Accounts of Chemical Research* 37(1): 13–20. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar020219d>.
- Yoder, J. M. G. Ryan, R. H. Waring, A. W. Schoettle, M. R. Kaufmann. 1994. "Evidence of Reduced Photosynthetic Rates in Old Trees." *Forest Science* Volume 40(Issue 3): 513–527.
- Kami, Chitose, Séverine Lorrain, Patricia Hornitschek, and Christian Fankhauser. 2010. "Light-Regulated Plant Growth and Development." In , 29–66. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0070215310910028>.
- Khayat, E., and N. Zieslin. 1982. "Environmental Factors Involved in the Regulation of Sprouting of Basal Buds in Rose Plants." *J. Exp. Bot.* 33: 1286–1292.
- Lebellec, F., and V. Renard. 1997. *Le Grand Livre Des Fruits Tropicaux*. editions O.
- Leduc, Nathalie et al. 2014. "Light Signaling in Bud Outgrowth and Branching in Plants." *Plants* 3(2): 223–50.
- Lemarié, M. 2008. *Caractérisation Des Pratiques Culturelles et Identification Des Profils de Fonctionnement Des Exploitations Agricoles Productrices de Mangues*. Mémoire ingénieur.

- Li, Mai-He, Norbert Kräuchi, and Matthias Dobbertin. 2006. "Biomass Distribution of Different-Aged Needles in Young and Old Pinus Cembra Trees at Highland and Lowland Sites." *Trees* 20(5): 611–18. <http://link.springer.com/10.1007/s00468-006-0076-0>.
- Linkosalo, T., and M. J. Lechowicz. 2006. "Twilight Far-Red Treatment Advances Leaf Bud Burst of Silver Birch (*Betula Pendula*)." *Tree Physiology* 26(10): 1249–56. <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/26.10.1249>.
- Magne, C. 2004. *Effet de La Charge En Fruits Sur La Croissance Végétative de Plusieurs Variétés de Manguier à l'île de La Réunion*. Stage ingénieur agronome CIRAD
- Marcelis, L.F.M. et al. 2006. "QUANTIFICATION OF THE GROWTH RESPONSE TO LIGHT QUANTITY OF GREENHOUSE GROWN CROPS." *Acta Horticulturae* (711): 97–104. https://www.actahort.org/books/711/711_9.htm.
- Maron, L. 2019. "Saving for the Future: Alfalfa Delays Flowering in the Shade." *Plant Journal* 99: 5–6.
- Matsubara, S. 2018. "Growing Plants in Fluctuating Environments: Why Bother?" *Journal of Experimental Botany* 69: 4651–4654.
- Maurel, K. et al. 2004. "Trophic Control of Bud Break in Peach (*Prunus Persica*) Trees: A Possible Role of Hexoses." *Tree Physiol.* 24: 579–588.
- Meng, Lijuan, Marie-Christine Van Labeke, and Monica Höfte. 2020. "Timing of Light Quality Affects Susceptibility to Botrytis Cinerea in Strawberry Leaves." *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 211: 111988. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1011134420304383>.
- Mukherjee, S.K., and Litz. 2009. "Introduction : Botany and Importance." In *The Mango, Botany, Production and Uses*, , 1–18.
- Muleo, R, S Morini, and S Casano. 2001. "Photoregulation of Growth and Branching of Plum Shoots: Physiological Action of Two Photosystems." *Vitro Cell Dev Biol Plant* 37: 609–617.
- Normand, Frédéric, Abdoul Kowir Pambo Bello, Catherine Trottier, and Pierre-Éric Lauri. 2009. "Is Axis Position within Tree Architecture a Determinant of Axis Morphology, Branching, Flowering and Fruiting? An Essay in Mango." *Annals of Botany* 103(8): 1325–36. <https://academic.oup.com/aob/article-lookup/doi/10.1093/aob/mcp079>.
- Normand, Frédéric, and Pierre-Éric Lauri. 2018. "Advances in Understanding Mango Tree Growth and Canopy Development." In *Achieving Sustainable Cultivation of Mangoes*, ed. L. Galán Saúco, V. and Ping.
- Ogawa, Teruo. 1981. "Blue Light Response of Stomata with Starch-Containing (*Vicia Faba*) and Starch-Deficient (*Allium Cepa*) Guard Cells under Background Illumination with Red Light." *Plant Science Letters* 22(2): 103–8. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304421181901310>.
- Persello, Séverine. 2018. Thèse "Réponse Du Manguier (*Mangifera Indica* L.) à La Taille: Caractérisation et Intégration Dans Un Modèle Structure-Fonction Des Effets de La Taille Sur La Croissance Végétative et La Reproduction." Faculté de Botanique. Université Montpellier.

- Pitchers, Benjamin et al. 2021. 108 “Apple Tree Adaptation to Shade in Agroforestry : An Architectural Approach.”
- Poorter, Hendrik et al. 2009. “Causes and Consequences of Variation in Leaf Mass per Area (LMA): A Meta-Analysis.” *The New phytologist* 182(3): 565–88. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19434804>.
- Ramírez, Fernando et al. 2014. “Mango Trees Have No Distinct Phenology: The Case of Mangoes in the Tropics.” *Scientia Horticulturae* 168: 258–66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.040>.
- Raunet, M. 1991. *Carte Morpho-Pédologique, Aptitudes à l'irrigation. Périmètres Du Bras de Cilaos et Du Bras de La Plaine*. CIRAD IRAT St Denis de la Réunion.
- Reed, A.J., D.T. Canvin, J.H. Sherrard, and R.H. Hageman. 1983. “Assimilation of [N]Nitrate and [N]Nitrite in Leaves of Five Plant Species under Light and Dark Conditions.” *Plant Physiol.* 71: 291–294.
- Reich, P. B., D. S. Ellsworth, and M. B. Walters. 1998. “Leaf Structure (Specific Leaf Area) Modulates Photosynthesis-Nitrogen Relations: Evidence from within and across Species and Functional Groups.” *Functional Ecology* 12(6): 948–58. <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2435.1998.00274.x>.
- Reich, P B, and M B Walters. 1994. “Photosynthesis-Nitrogen Relations in Amazonian Tree Species. II. Variation in Nitrogen Vis-a-Vis Specific Leaf Area Influences Mass- and Area-Based Expressions.” *Oecologia* 97(1): 73–81. <http://www.jstor.org/stable/4220589>.
- Renard, A. 2005. *Effet de La Charge En Fruits Sur La Croissance Végétative Au Cycle Suivant de Sept Variétés de Manguiers à La Réunion*.
- Schaffer, B., L. Urban, P. Lu, and A.W. Whaley. 2009. “Ecophysiology.” In *In The Mango: Botany, Production and Uses*, ed. R.E. CAB International, Wallingford: Litz. , 170–209.
- Schmitt, J, and RD Wulff. 1993. “Light Spectral Quality, Phytochrome and Plant Competition.” *Trends Ecol Evol* 8: 47–51.
- Sharkey, Thomas D., and Klaus Raschke. 1981. “Effect of Light Quality on Stomatal Opening in Leaves of *Xanthium Strumarium* L.” *Plant Physiology* 68(5): 1170–74. <https://academic.oup.com/plphys/article/68/5/1170-1174/6076686>.
- Skinner, R. H., and S. R. Simmons. 1993. “Modulation of Leaf Elongation, Tiller Appearance and Tiller Senescence in Spring Barley by Far-Red Light.” *Plant, Cell and Environment* 16(5): 555–62. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00903.x>.
- Slade, AJ, and HJ Hutchings. 1987. “The Effects of Light Intensity on Foraging in the Clonal Herb *Glechoma Hederacea*.” *J Ecol* 75: 639–50.
- Smith, H., and G. C. Whitelam. 1997. “The Shade Avoidance Syndrome: Multiple Responses Mediated by Multiple Phytochromes.” *Plant, Cell and Environment* 20: 840–844.
- Smith, H. 1982. “Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy.” *Ann Rev Plant Physiol* 33: 481–518.
- Stuefer, Josef F., and Heidrun Huber. 1998. “Differential Effects of Light Quantity and Spectral

- Light Quality on Growth, Morphology and Development of Two Stoloniferous *Potentilla* Species." *Oecologia* 117(1–2): 1–8.
- Urban, L. et al. 2003. "A Biochemical Model of Photosynthesis for Mango Leaves: Evidence for the Effect of Fruit on Photosynthetic Capacity of Nearby Leaves." *Tree Physiology* 23(5): 289–300. <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/23.5.289>.
- Valladares, F, and Ü Niinemets. 2008. "Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39: 237–257.
- Vincenot, Didier et al. 2009. "GUIDE DE PRODUCTION INTÉGRÉE DE MANGUES À LA RÉUNION." *Cirad,Chambre d'agriculture La Réunion*.
- Warming, E. 1909. "Oecology of Plants: An Introduction to the Study of Plant-Communities." In *Clarendon, Oxford*.
- Watson, L, and M. J. Dallwitz. 1992. *The Families of Flowering Plants: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval*. Version: 1. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>.
- Whiley, A. W., T. S. Rasmussen, J. B. Saranah, and B. N. Wolstenholme. 1989. "Effect of Temperature on Growth, Dry Matter Production and Starch Accumulation in Ten Mango (*Mangifera Indica* L.) Cultivars." *Journal of Horticultural Science* Vol. 64, N: 753–66.
- Williamson, Melinda M., Gail W.T. Wilson, and David C. Hartnett. 2012. "Controls on Bud Activation and Tiller Initiation in C 3 and C 4 Tallgrass Prairie Grasses: The Role of Light and Nitrogen." *Botany* 90(12): 1221–28. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/b2012-091>.
- Zeiger, E., C. Field, and H. A. Mooney. 1981. *Plants and the Daylight Spectrum*. International Symposium of the British Photobiology Society, 1st Leicester Jan 5-8, 1981 United Kingdom GB

LISTE DES ANNEXE

Annexe 1 : Analyse des effets bloc concernant la hauteur de l'arbre, le volume de la canopée, le nombre d'UCs terminales et le nombre maximale d'étage de croissance des arbres	64
Annexe 2 : modèle allométrique de détermination du coefficient de forme des feuilles	64
Annexe 3 : repartition des effectifs des UCs apicales et latérales ayant débouffé au dernier flush en fonction du diamètre des UCs ,Pour chaque variables,les classes qui la compose sont d'effectif quasi égaux.	65

ANNEXES

Annexe 1 : Analyse des effets bloc concernant la hauteur de l'arbre, le volume de la canopée, le nombre d'UCs terminales et le nombre maximale d'étage de croissance des arbres

Variable	Moyenne \pm écart-type				Statistique	P-value
	Rang A	Rang B	Rang C	Rang D		
Hauteur de l'arbre (cm)	97.2 \pm 9.2	84.2 \pm 6.2	91.8 \pm 5.2	95.0 \pm 15.4	F = 1.6625	Pr(>F) = 0.25
Volume de canopée (m³)	0.88 \pm 0.4	0.62 \pm 0.1	0.96 \pm 0.2	0.82 \pm 0.7	F=0.6609	Pr(>F) = 0.59
Nombre d'UCs terminales	3.8 \pm 0.8	3.0 \pm 0.7	3.4 \pm 0.5	4.0 \pm 1.2	$\chi^2=1.1804$	Pr(> χ^2) = 0.76
Nombre maximal d'étages de croissance	6.2 \pm 1.0	8.0 \pm 1.8	9.0 \pm 2.5	8.4 \pm 4.3	$\chi^2= 3.3089$	Pr(> χ^2) = 0.35

Annexe 2 : modèle allométrique de détermination du coefficient de forme des feuilles

```
lm(formula = Surface ~ Longueur x largeur - 1, data = DATA)
```

Residuals:

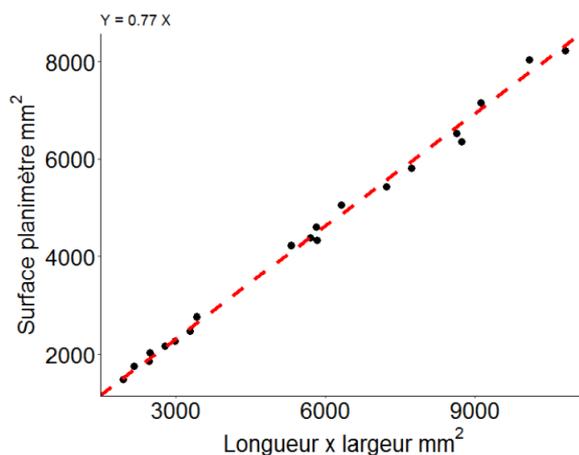
```
   Min       1Q   Median       3Q      Max
-366.63 -90.31  -6.41  137.48  281.91
```

Coefficients:

```
   Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
x  0.768722   0.005408   142.1  <2e-16 ***
```

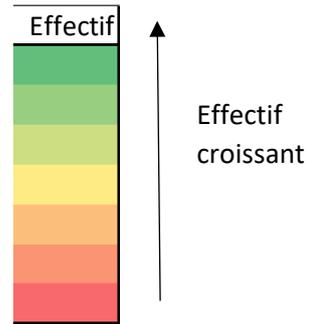
```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 152.3 on 19 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9991, Adjusted R-squared:  0.999
F-statistic: 2.02e+04 on 1 and 19 DF, p-value: < 2.2e-16
```



Annexe 3 : Répartition des effectifs des UCs apicales et latérales ayant débouillé au dernier flush en fonction du diamètre des UCs . Pour chaque variables, les classes qui la compose sont d'effectifs quasi égaux.

A		Diametre UC (cm)				
		[1.81,3.03]]3.03,3.84]]3.84,4.61]]4.61,5.37]]5.37,8.2]
Position UC	A	2	4	21	25	26
	L	25	22	5	1	0



Résumé

La lumière est un facteur environnemental majeur qui modifie le développement et la croissance des végétaux. Précédemment, les effets de la lumière ont été bien décrits tout comme l'adaptation des plantes à l'ombrage. On connaît aussi pour certaines espèces l'effet important de la lumière sur le débourrement des bourgeons végétatifs et reproducteurs. Ces études soulignent que selon l'espèce, les effets de la quantité et de la qualité de la lumière peuvent être ou non dissociés. L'environnement lumineux au sein de la canopée du manguiers est bien décrit, et les effets de cet environnement sur le débourrement, identifiés. En revanche, il n'y a à ce stade aucune dissociation entre les effets qui sont dus à la qualité de la lumière de ceux dus à la quantité. Dans ce stage, les effets de l'environnement lumineux sur le débourrement végétatif du manguiers ont d'abord été identifiés en conditions non contrôlées grâce à l'analyse des données issues d'un premier essai expérimental dans la canopée de manguiers adultes qui a permis de mettre en évidence la relation entre l'environnement lumineux des organes végétatifs et le débourrement. Afin de déterminer si les effets de la quantité et de la qualité de lumière sur le débourrement végétatif sont dissociés, un second dispositif expérimental a été mis en place au champ. Ce second essai a consisté à modifier entièrement l'environnement lumineux de jeunes manguiers à l'aide de filtres colorés spécifiques et à décrire le comportement de débourrement des arbres en réponse à la lumière.

MOTS CLES : *mangifera indica* - lumière – débourrement - développement végétatif - caractéristiques morphologiques