



# ETUDE DE L'EFFET DE PRATIQUES CULTURALES SUR L'ELABORATION DU RENDEMENT DU MANGUIER

**Agathe DEZILEAUX**

Mémoire d'Ingénieur  
96<sup>ème</sup> promotion

Avril 2017



## Résumé

La mangue est le huitième fruit le plus produit au monde. Mais les producteurs de mangues, que ce soit à la Réunion ou dans le monde, sont confrontés à deux problèmes agronomiques importants : l'alternance de production et les asynchronismes phénologiques. L'alternance de production se traduit par des années de forte production (années « on ») suivies d'années de faible production (années « off »). Les asynchronismes phénologiques sont la présence de différents cycles phénologiques au même moment au sein d'un verger ou d'un arbre. Ils provoquent une baisse de la qualité de la mangue et un étalement des stades sensibles aux ravageurs. Pour résoudre ces problèmes et proposer aux agriculteurs des itinéraires techniques correspondant aux critères de la production intégrée, les chercheurs du Cirad mènent des recherches sur l'architecture des manguiers, leurs relations structurelles et les pratiques culturales permettant d'améliorer le rendement et la qualité de la récolte en modifiant cette architecture et ces relations structurelles. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude sur l'effet des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier. L'étude de l'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison et l'étude de l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sont réalisées sur respectivement 16 et 6 manguiers, sur la station de Bassin Plat, à Saint Pierre. La taille stimule la croissance végétative mais la floraison qui suit est moins forte et plus hétérogène que celle des arbres non taillées. La qualité des fruits à la récolte dépend de l'arbre et des rapports feuilles-fruit des branches sur lesquelles ils sont situés.

Mots-clés : *Mangifera indica*, alternance de production, asynchronismes phénologiques, taille, éclaircissage, charge en fruits

## Abstract

Mango is the eighth most produced fruit in the world. However, mango producers, whether in Réunion Island or in the world, are facing two important agronomic problems: the alternation of production, and phenological asynchronisms. The alternation of production leads to years of high production (years "on") followed by years of low production ("off" years). Phenological asynchronisms are the presence of different phenological cycles at the same time within an orchard or a tree. These cause a decrease in the quality of the fruits and a spreading of the stages where mangos are sensitive to natural enemies. To solve these problems and to offer farmers technical paths corresponding to the criteria of integrated production, CIRAD researchers conduct research on the architecture of mango trees, their structural relationships and cultural practices to improve the yield and quality of mango by modifying this architecture and these structural relationships. It is in this context that the study on the effect of cultivation practices on mango yields takes place. The study on the effect of pruning on vegetative growth and flowering, and the study of the effect of thinning and distribution of the fruit load in the tree are carried out on respectively 16 and 6 mango trees, on the station of Bassin Plat, in Saint Pierre. The size stimulates the vegetative growth but the following flowering is less strong and more heterogeneous than that of the uncut trees. The quality of the fruits at harvest depends on the tree and the leaf-fruit relationships of the branches on which they are located.

Keywords : *Mangifera indica*, alternation of production, phenological asynchronisms, pruning, tipping, fruits load



## Remerciements

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du DPP COSAQ du programme de recherche agronomique du CIRAD - Activités 2016-2018 qui est co-financé par l'Union européenne (Programme Opérationnel FEDER), la Région Réunion et le CIRAD.

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, Madame Isabelle Grechi qui m'a accueilli au sein de son équipe du CIRAD. Merci pour sa confiance, la qualité de son encadrement et sa disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Madame Célia Seassau pour son aide et sa contribution à la rédaction de ce mémoire.

Merci à Monsieur Jean-Philippe Denux pour le temps qu'il m'a accordé pour m'aider à finaliser ce travail.

Je souhaite aussi dire un grand merci à Madame Aline Dumont : sa gentillesse, sa bienveillance et ses précieux conseils m'ont permis de mener à bien ce mémoire.

Merci à Séverine pour sa gentillesse, sa patience, et son aide. Les suivis dans les manguiers ont été bien plus sympathiques en sa compagnie !

Je souhaite aussi remercier Muriel, Doralice, Gilles, Marie, Sylvie, André et toute l'équipe de Bassin Plat, pour leur écoute, leur aide et leur gentillesse. Leurs conseils, sur le terrain comme au laboratoire, m'ont été précieux tout au long de mon stage.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué à rendre cette aventure Réunionnaise inoubliable, mes colocataires si dynamiques et ouverts, mais aussi tous les personnes rencontrées lors de ce séjour.

Merci à mes amis fidèles qui ont supporté avec patience mes moments de doute, avec une pensée particulière pour Caroline et Brian et leur disponibilité.

Enfin, un grand merci à mes parents et ma famille pour leur soutien et leur confiance sans faille !





# SOMMAIRE

Introduction générale

## PARTIE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE

1. Production et commercialisation de la mangue dans le monde et à la Réunion
2. L'arboriculture fruitière à la Réunion : le cas du manguier
3. La recherche agronomique sur le manguier au Cirad à la Réunion

Problématique

## PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

1. Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison
2. Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte
3. Analyses des données des essais 1 et 2

## PARTIE 3 : RESULTATS

1. Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison
2. Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte

## PARTIE 4 : DISCUSSION

1. Effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier
2. Limites de l'étude sur l'effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier
3. Propositions

Conclusion générale



## **Sigles**

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

COSAQ : CO-conception de Système Agro-alimentaires de Qualité

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

HortSys : fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles

IFT : Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires

LF : rapport feuilles-fruit (leaf-fruit)

MF : matière fraîche

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

PerSyst : performances des systèmes de production et de transformation tropicaux

PFI : production fruitière intégrée

UC : unité de croissance

UR : unité de recherche

UTH : unité de travail humain

## **Abréviations**

a : annelé

H : arbre à forte charge en fruits (high)

h : charpentière à forte charge en fruits (high)

L : arbre à faible charge en fruits (low)

l : charpentière à faible charge en fruits (low)

na : non annelé



## Introduction générale

Huitième fruit le plus produit au monde, la mangue est une culture mondiale importante et même essentielle dans les pays tels que l'Inde d'où provient un tiers de la production mondiale (INFOCOMM, 2016). A la Réunion, où la surface agricole totale était de 43 400 ha et celle dédiée aux productions fruitières de 386 ha en 2014, la mangue est la quatrième production fruitière avec près de 3 500 tonnes produites (AGRESTE, 2014). Dans le monde et à la Réunion, les producteurs de mangues, sont confrontés à plusieurs problèmes, notamment à des hétérogénéités de rendement et à de forts asynchronismes présents au sein d'un verger comme au sein d'un même arbre. L'alternance de production se caractérise par des années de forte production suivies par des années de faible production. Ces asynchronismes phénologiques induisent une hétérogénéité de la qualité et de la maturité des fruits à la récolte et prolongent les stades sensibles aux bio-agresseurs. Ces deux phénomènes génèrent des pertes de rendement et de qualité du fruit.

Depuis plusieurs années, le Cirad mène des travaux et des essais sur le manguier. Pour résoudre ces problèmes et proposer aux agriculteurs des itinéraires techniques correspondant aux critères de la production intégrée, les chercheurs du Cirad mènent des recherches sur l'architecture des manguiers, leurs relations structurelles et les pratiques culturales qui modifient cette architecture et ces relations structurelles. Les pratiques culturales permettant d'améliorer le rendement des manguiers et la qualité des mangues seront identifiées. L'objectif est de concevoir des modes de conduite des vergers de mangues moins dépendants des pesticides et offrant un compromis entre rendement et qualité, et ainsi de permettre aux producteurs de s'engager facilement dans une démarche de production fruitière intégrée (HERBET et DELLA MUSSIA, 2009). C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude de l'effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier, et plus précisément de la taille et de l'éclaircissage. Deux essais ont été réalisés : le premier sur l'effet de la taille sur la croissance végétative, la floraison et la fructification et le deuxième sur l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte.

Ce mémoire est composé de trois parties. La première permet d'appréhender au mieux le contexte de l'étude, en abordant tout d'abord le contexte économique de la production de mangues, puis les connaissances techniques à connaître pour la production de mangues, et enfin le Cirad et les recherches menées par ses équipes sur le manguier. La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisées lors des deux essais : le dispositif expérimental, les méthodes utilisés pour l'essai 1 et l'essai 2 ainsi que les différents facteurs mis en place et leurs modalités et enfin les méthodes d'analyse des données. Enfin, la dernière partie porte sur les résultats obtenus lors de cette étude, et la discussion de ces résultats.



## **PARTIE 1: Contexte de l'étude**



# 1 Production et commercialisation de la mangue dans le monde et à la Réunion

## 1.1 Production de mangues dans le monde

### 1.1.1 Bref historique : des premiers manguiers cultivés aux vergers d'aujourd'hui

La culture de la mangue trouve ses origines en région Indo-Birmane, il y a au moins 4 000 ans. Symbole culturel et religieux très fort, ce fruit est cité dans les notes de voyage de certains pèlerins bouddhistes et autres voyageurs. Au 15<sup>ème</sup> et 16<sup>ème</sup>, la mangue est introduite dans d'autres zones tropicales du monde, notamment au Brésil et au Mexique, avec les expéditions espagnoles et portugaises (MUKHERJEE et LITZ, 2009). Les premiers manguiers arrivent à la Réunion beaucoup plus tard, vers 1770 (VINCENOT *et al.*, 2009). Aujourd'hui, la mangue est le 8<sup>ème</sup> fruit le plus produit au monde, et elle est principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales (Figure 1) (INFOCOMM, 2016).

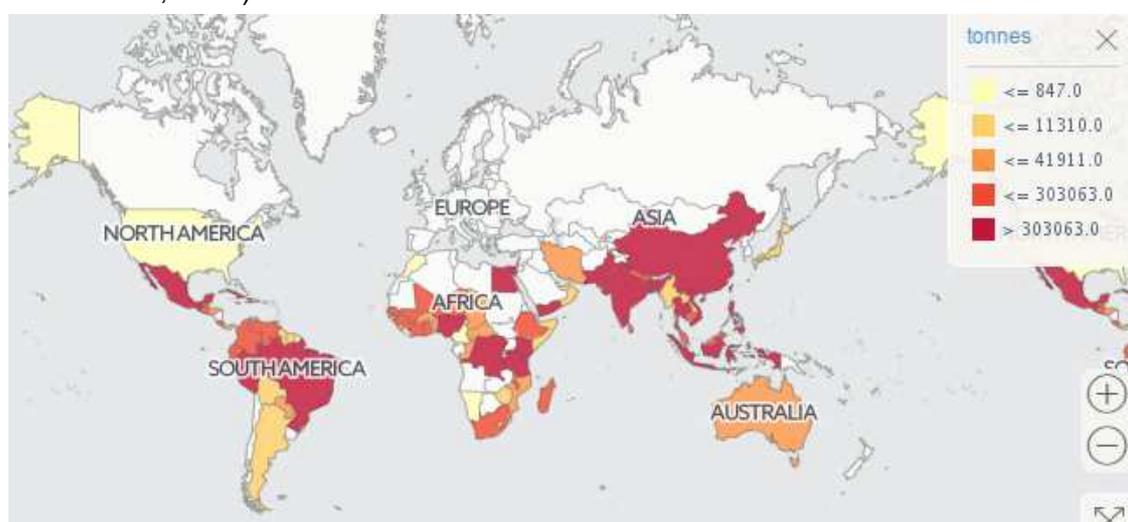


Figure 1 : Production (en tonnes) de mangues, mangoustans, et goyaves dans le monde en 2014 (FAOSTAT, 2014)

### 1.1.2 La production mondiale de mangues en quelques chiffres

La production mondiale de mangues a progressée d'environ 75% entre 2000 et 2013. En 2000, cette production était de 22,4 millions de tonne (COMITE DES PRODUITS, 2001). En 2013, ce sont plus de 42 millions de tonnes de mangues, de mangoustans et de goyaves qui ont été produits dans le monde. Les 5 plus gros producteurs sont l'Inde, avec plus de 16 millions de tonnes produites, la Chine avec près de 4,5 millions, la Thaïlande avec 3 millions, l'Indonésie avec un peu plus de 2 millions et le Mexique avec 1,7 millions en 2012 (Tableau 1). Plus de 70% de la production mondiale est donc assurée par l'Asie (INFOCOMM, 2016). La production réunionnaise représente moins de 0,01% de la production mondiale.

Tableau 1 : Les dix premiers pays producteurs de mangues dans le monde en 2012 (INFOCOMM, 2016)

Pays producteurs	Mangues produites (en tonnes)	Pays producteurs	Mangues produites (en tonnes)
Inde	16 196 000	Pakistan	1 680 388
Chine	4 400 000	Brésil	1 175 735
Thaïlande	2 985 530	Bangladesh	945 059
Indonésie	2 376 339	Nigeria	860 000
Mexique	1 760 588	Egypte	786 528

## 1.2 Les échanges internationaux de mangues

### 1.2.1 Les principaux consommateurs, exportateurs et importateurs de mangues

La mangue est un fruit fragile : sa peau mince et souple la rend sensible aux chocs, les fruits doivent donc être manipulés avec précaution. Ces caractéristiques l'ont d'abord limitée à une consommation locale. Ce n'est qu'avec le développement du transport aérien et du transport maritime réfrigéré, après la seconde guerre mondiale, que commence réellement l'exportation de mangues vers l'Amérique du Nord et l'Europe (INFOCOMM, 2016).

#### 1.2.1.1 L'offre : les pays exportateurs de mangues

C'est le Mexique qui exporte le plus de mangues avec 297 295 tonnes en 2012 (Tableau 2). Il est suivi par l'Inde avec 214 640 tonnes exportées en 2012, puis par la Thaïlande avec 196 441 tonnes exportées en 2012. Malgré le fait que 72% de la production mondiale de mangue provient de l'Asie, celle-ci ne représente que 46% des exportations mondiales. Les dix premiers exportateurs mondiaux sont responsables à eux seuls de 80% des exportations de mangues produites (INFOCOMM, 2016).

Tableau 2 : Les dix premiers pays exportateurs de mangues en 2012 (INFOCOMM, 2016)

Pays exportateurs	Mangues exportées (en tonnes)
Mexique	297 295
Inde	214 640
Thaïlande	196 441
Brésil	127 132
Pakistan	101 164
Pérou	99 790
Equateur	60 139
Yémen	43 467
Philippines	24 076
Egypte	19 564

#### 1.2.1.2 La demande : les pays consommateurs et importateurs de mangues

Parmi les consommateurs de mangues, certains pays et certaines régions du monde sont purement consommateurs, avec une production de mangues quasi inexistante (Amérique du Nord, Union Européenne), et d'autres sont fortement producteurs et consommateurs (Inde) (INFOCOMM, 2016). En 2010, 1,2 millions de tonnes de mangues sont importées. Les trois premiers importateurs de mangues sont les Etats-Unis, la Chine, puis l'Union Européenne avec respectivement 25%, 27% et 18% du total de mangues importées (Figure 2) (MNS, 2011).

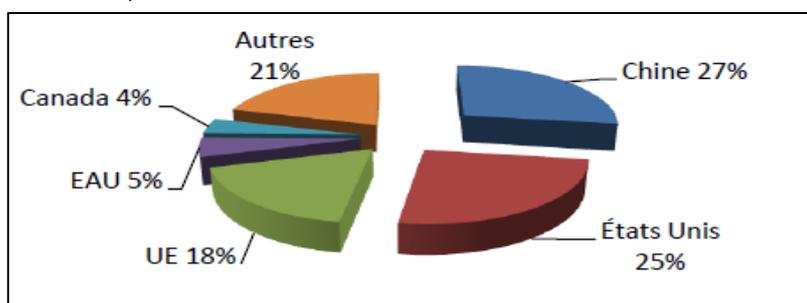


Figure 2 : les principaux importateurs de mangues en 2010 (MNS, 2011)

En 2012, les Etats-Unis, avec 385 861 tonnes importées, ont devancé la Chine qui importe 190 182 tonnes (Tableau 3). Les Pays-Bas arrivent en 3<sup>ème</sup> position avec 101 826 tonnes (INFOCOMM, 2016). Ces derniers exportent par la suite environ 70% des mangues vers d'autres pays de l'Union Européenne, comme l'Allemagne (CBI MARKET INFORMATION DATABASE, 2015).

Tableau 3 : Les dix premiers pays importateurs de mangue en 2012 (INFOCOMM, 2016)

<b>Pays importateurs</b>	<b>Mangues importées (en tonnes)</b>
Etats-Unis	385 861
Chine	190 182
Pays-Bas	101 826
Emirats Arabes Unis	99 728
Canada	57 991
Arabie Saoudite	57 858
Malaisie	55 000
Espagne	35 498
Singapour	21 234
Allemagne	15 369

### **1.2.2 Les produits à base de mangues commercialisés dans le monde**

Peu ou pas de données chiffrées sont disponibles sur le marché de la mangue transformée. Toutefois, parmi les produits à base de mangues, c'est la pulpe qui est le plus important en termes de volume et de valeur. La pulpe de mangue est principalement utilisée dans les boissons telles que les jus et nectars de fruits, ou dans les confitures. En 2010, près de 700 000 tonnes sont produites par an, dont la moitié en Inde. Les exportations représentent environ 320 000 tonnes dont 200 000 proviennent de l'Inde (MNS, 2011). Le second produit le plus transformé est la mangue séchée, dont la production mondiale est évaluée à 3400 tonnes par an. L'Union Européenne en consomme 2500 à 3000 tonnes par an (INFOCOMM, 2016).

### **1.2.3 Les cours du marché de la mangue**

Plusieurs facteurs entrent en compte lors du calcul du prix de la mangue sur les marchés nationaux et internationaux, à savoir la provenance, la variété, la saisonnalité, la qualité, le mode de transport ... Ce prix dépend aussi du coût de revient du produit sur le lieu de vente, et du pouvoir d'achat des pays consommateurs. Ainsi, en 2014, la tonne de mangues s'élève à 2465 USD en Allemagne (valeur la plus élevée), à 390 USD en Malaisie (valeur la plus basse). Malgré des petites variations, le prix de la mangue n'a cessé de progresser au cours des années. Au niveau mondial, la valeur unitaire à l'importation de 865 USD la tonne en 2003 a augmenté et a atteint la valeur de 1248 USD la tonne en 2008, puis la valeur de 1395 USD la tonne en 2014. Plus généralement, le prix de la mangue a une augmentation plus soutenue dans les pays développés ou émergents que dans les pays en voie de développement, en concordance avec l'évolution du pouvoir d'achat (INFOCOMM, 2016).

## **1.3 Production et commercialisation de mangues à la Réunion**

### **1.3.1 Répartition géographique des vergers de mangues**

En 2010, il y avait 386 ha de manguiers à la Réunion (AGRESTE, 2014). Les vergers, répartis dans environ 80 exploitations, se situent majoritairement sur la côte Ouest de l'île, dans 3 zones principales représentées sur la Figure 3. Les conditions pédoclimatiques y sont plus favorables. Le Nord-Ouest est la principale zone de production : elle comprend 48% des exploitations productrices de mangues et 67% des vergers (VINCENOT *et al.*, 2009).



Figure 3 : les trois principales zones productrices de mangues à la Réunion (VINCENOT *et al.*, 2009)

### 1.3.2 Les variétés cultivées à la Réunion

Il existe plus de 1 000 variétés de manguiers dans le monde. A la Réunion, une cinquantaine de variétés différentes sont cultivées, mais deux le sont majoritairement. Il s'agit des variétés Cogshall et José. La variété José est cultivée sur plus de la moitié des surfaces productrices de mangues. Principalement destinée au marché local, c'est la mangue favorite de la population locale (HERBET et DELLA MUSSIA, 2009). La mangue Cogshall, cultivée sur un tiers des surfaces productrices de mangues, est une variété américaine, développée en Floride. Elle est arrivée à la Réunion dans les années 1980. C'est la principale variété de l'île destinée à l'exportation, car elle répond aux critères d'export fixés par des institutions internationales telles que Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, l'OCDE, la FAO... Pour pouvoir être exportée, une mangue doit respecter des normes de qualité (mangue entière, saine, d'aspect frais, pratiquement exempte de parasites ...) et doit avoir un calibre de 150 g minimum (MNS, 2011 ; OECD, 2011). Le rendement moyen de ces deux variétés, José et Cogshall, calculé à partir des rendements de 2000 à 2009, est de 9 tonnes par hectare (VINCENOT *et al.*, 2009).

### 1.3.3 Commercialisation de mangues à la Réunion

Avec environ 3500 tonnes de mangues produites par an, la mangue est la quatrième production fruitière de l'île, et avec environ 110 t exportées par an, le troisième fruit le plus exporté après l'ananas Victoria (1372 t/an) et le letchi (337 t/an). La majorité de la production s'étale de décembre à février, toutefois on trouve des variétés précoces dès octobre. Ces dernières sont plus avantageuses pour les agriculteurs, notamment parce que leur prix de vente est plus élevé : les prix vont de 1 €/kg en pleine saison à 10 €/kg pour les mangues des récoltes précoces et tardives (VINCENOT *et al.*, 2009 ; NORMAND *et al.*, 2011). La production est majoritairement destinée à la consommation locale. Il n'y a pas de concurrence, car l'importation de mangues est interdite à la Réunion pour des raisons sanitaires. L'exportation de mangues, quant à elle, constitue un marché de niche haut de gamme, en raison des coûts de transport aérien. En effet, le principal marché de niche de la mangue réunionnaise est celui des mangues fraîches par avion, et représente 8 à 10 % des volumes exportés. Ces mangues sont cueillies plus tardivement que les mangues qui partent par bateau, leurs qualités organoleptiques sont meilleures. Les mangues de la Réunion sont principalement exportées vers la métropole (NORMAND *et al.*, 2011 ; INFOCOMM, 2016).

A la Réunion, la production de mangue assure le revenu économique le plus important parmi les autres cultures fruitières pérennes de l'île, telles que les letchis et les agrumes (VINCENOT *et al.*, 2009). Le rendement moyen d'un hectare de manguiers est de 9 tonnes, ce qui est supérieur au rendement moyen des letchis (8 t/ha) mais inférieur au rendement moyen des agrumes (15 t/ha) produits sur l'île (Tableau 4). Toutefois, si les letchis et les mangues ont un cours moyen de 1,50 €/kg, celui des agrumes est nettement inférieur (0,70 €/kg). Le produit brut le plus élevé est donc celui de la mangue, avec 13500 € par hectare et par an. Les charges sont aussi moins élevées que celles des cultures de letchis et d'agrumes, la marge brute est ainsi plus importante pour la mangue (9000 €/ha/an). Ainsi, le revenu brut mensuel pour un hectare de manguiers est de 750 €, bien plus important que pour un hectare de letchis (572 €) et un hectare d'agrumes (415 €). Il ne faut toutefois pas oublier que pendant les 6 premières années de sa vie, le manguiers ne produit pas ou très peu, et que pendant les 3 premières années de production qui suivent, les rendements sont très instables. De plus, pour maîtriser sa culture et obtenir un tel revenu, il faut connaître et mettre en œuvre les connaissances techniques relatives à l'arboriculture et plus particulièrement au manguiers.

Tableau 4 : Comparaison des rendements (t/ha), cours moyens (€/kg), produits bruts (€/ha/an), marges brutes (€/ha/an), revenus bruts mensuels (€/ha) et surfaces équivalentes au SMIC en vigueur en juillet 2008 (ha) des trois principales espèces fruitières pérennes à la Réunion (VINCENOT *et al.*, 2009)

Espèce	Rendement moyen (t/ha)	Cours moyen (€/kg)	Produit brut (€/ha/an)	Marge brute (€/ha/an)	Revenu brut mensuel (€/ha)	Surface équivalente SMIC (ha)
Agrumes	15	0,7	10500	4977	415	3,2
Letchi	8	1,5	12000	6860	572	2,3
Mangue	9	1,5	13500	9000	750	1,8

## 2 L'arboriculture fruitière à la Réunion : le cas du manguiers

### 2.1 Le manguiers : caractéristiques botaniques, agronomiques et physiologiques

#### 2.1.1 Caractéristiques botaniques du manguiers

Le manguiers appartient à la famille des *Anacardiaceae*, qui comporte plus de 600 espèces, réparties en 73 genres. Ce sont principalement des arbres et des arbustes des régions tropicales et subtropicales, même si certains spécimens sont présents dans les régions tempérées. Le genre *Mangifera* est composé de 69 espèces, toutes produisant des mangues. Néanmoins, seul le manguiers, *Mangifera indica*, est cultivé. Il peut vivre plus de 100 ans et atteindre 30 à 50m de hauteur. Le tronc peut mesurer jusqu'à 1 m de diamètre. La forme générale de l'arbre en l'absence de taille est variable selon les variétés (Figure 4). Certains manguiers ont des ports érigés et peu étalés, et d'autres des ports globulaires (MUKHERJEE et LITZ, 2009). Le manguiers peut s'enraciner profondément grâce à un système racinaire composé de pivots qui s'orientent verticalement et de grosses racines à orientation horizontale partant du collet de l'arbre. Ces dernières sont ramifiées en racines moyennes et fines qui forment un tissu racinaire dans les 30 premiers centimètres de profondeur et ont pour but l'absorption de l'eau et des éléments minéraux contenus dans le sol (VINCENOT *et al.*, 2009).



Figure 4 : Port naturel d'un manguier isolé (VINCENOT *et al.*, 2009)

Le feuillage est persistant, et les feuilles vivent généralement 3 à 4 ans sur l'arbre avant de tomber. Ce sont d'abord les feuilles basales de grande taille qui tombent, puis les feuilles de taille moyenne du rameau. Les feuilles de petite dimension restent en place. Ces dernières sont les plus actives physiologiquement et se trouvent au voisinage d'un bourgeon apical (SCARRONE, 1979). Les feuilles sont simples, et leur forme est oblongue ovale à lancéolée. Leur couleur varie entre le rouge brun, pour les jeunes feuilles, au vert foncé pour les feuilles matures. La cuticule est épaisse et cireuse, la surface de la feuille apparaît donc brillante. Les feuilles mesurent entre 12 et 38 cm de long, et entre 2 et 13 cm de large et la longueur du pétiole est comprise entre 1 et 12.5 cm. La phyllotaxie du manguier, c'est-à-dire l'ordre d'implantation de ses feuilles sur un axe, est spiralée. Elle est de type 2/5 : il faut 5 feuilles pour faire 2 tours de l'axe (VINCENOT *et al.*, 2009). En position terminale de ces axes se trouvent les fleurs. Celles-ci sont groupées en inflorescences de forme pyramidale (Figure 5).



Figure 5 : Inflorescence d'un manguier Cogshall

Leur nombre au sein d'une inflorescence varie entre plusieurs centaines et plusieurs milliers. Elles ont un diamètre compris entre 5 à 10 mm, et sont composées de 4 à 5 sépales pubescents et de 4 à 5 pétales colorés. Les inflorescences peuvent mesurer jusqu'à 60 cm de longueur. On retrouve deux types de fleurs : les mâles, dont le pistil est avorté, et les fleurs hermaphrodites, appelées aussi fleurs parfaites. Ce sont uniquement les fleurs parfaites qui peuvent former un fruit. La pollinisation des fleurs est essentiellement entomophile et croisée, même s'il existe quelques cas d'autofécondation, notamment à la Réunion où les espèces cultivées semblent auto-compatibles. Ces inflorescences donnent ensuite des drupes, c'est-à-dire des fruits charnus à noyau. La mangue peut être allongée ou au contraire globulaire, unicolore ou multicolore, allant du

vert au violet, en passant par le jaune, et elle peut peser de 200 jusqu'à parfois plus de 1000 g. En effet, la forme, la couleur et le poids d'une mangue dépendent principalement de sa variété. D'autres éléments varient aussi avec la variété : goût, arômes, épaisseur de la pulpe, présence de fibres... Il s'agit d'un fruit climactérique : sa maturation est dépendante de l'éthylène et est associée à une augmentation de la respiration cellulaire des tissus (VINCENOT *et al.*, 2009 ; INFOCOMM, 2016).

### 2.1.2 Exigences écologiques et habitat du manguiier

Le manguiier est principalement présent dans les régions subtropicales, où les conditions pédoclimatiques sont les plus favorables à sa croissance et son développement. Il est plus adapté aux zones tropicales non gélives qui présentent une alternance entre saison sèche et saison humide. Cette saison sèche est nécessaire pour le repos végétatif, lors duquel les branches acquièrent la maturité nécessaire pour fleurir. De plus, une pluie lors de la floraison peut entraîner des problèmes de fécondité. Pour une croissance végétative optimale, les températures doivent se situer entre 23 et 27°C (INFOCOMM, 2016). Le manguiier peut supporter des fortes chaleurs, sans conséquences néfastes jusqu'à 48°C. Néanmoins, il craint les températures froides et gélives. Des températures inférieures à 15°C pendant la phase de floraison entraînent des problèmes de fécondation et des températures inférieures à 5°C peuvent même provoquer la mort de l'arbre. Ainsi, au-delà de 700 m d'altitude, sa fructification est moindre, et il n'y a pas ou peu de manguiiers au-delà de 1300 m d'altitude, où les températures sont trop froides. Les manguiiers peuvent vivre sur des profils de sols très variés. Néanmoins, les sols profonds, sont idéals pour la culture de la mangue. En effet, ces sols favorisent un bon enracinement et donc une meilleure résistance aux vents (PIP, 2011). Pour permettre le développement de l'arbre et obtenir de bons rendements, les sols avec un pH trop élevé (le pH optimal se situant entre 5,5 et 7), peu profonds et compacts, ou avec une faible réserve en eau sont à éviter (COTTON, 2009).

### 2.1.3 Physiologie du manguiier

La particularité du manguiier est que son cycle phénologique dure 1 an et demi, et qu'il existe une superposition des cycles au sein d'un verger mais aussi au sein d'un même arbre. Ce cycle se décompose en quatre stades phénologiques : la croissance végétative, suivie d'une période de repos végétatif, la floraison et enfin la fructification (Figure 6).



Figure 6 : cycle phénologique du manguiier à la Réunion (VINCENOT *et al.*, 2009)

#### 2.1.3.1 La croissance végétative du manguiier

La croissance végétative du manguiier est rythmique, c'est-à-dire que l'allongement rapide de ses axes est entrecoupé de phases de repos. Cette croissance se manifeste par

vagues successives, ou « flushes » (SCARRONE, 1979). On définit l'unité de croissance (UC) par la portion de tige nouvellement apparue lors de cette période ininterrompue d'allongement. L'unité de croissance est facilement identifiable sur le manguiier : elle est délimitée par une cicatrice. La croissance et le développement d'une UC prend entre 3 et 6 semaines, du débourrement à la maturation (BOMPARD, 2009).

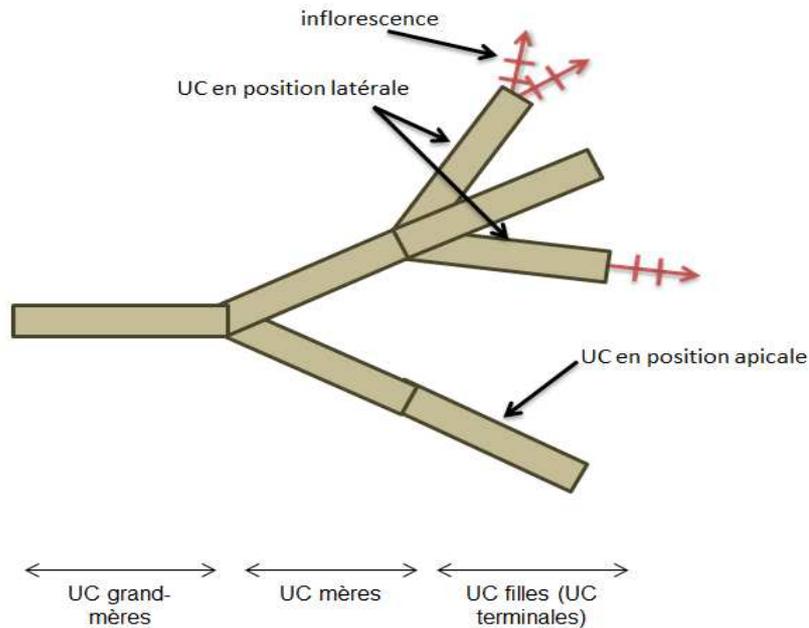


Figure 7 : schéma de différents types d'unités de croissance (UC)

Entre les différentes UC, il y a des liens de filiation (Figure 7). Ainsi, on appelle UC mère une UC sur laquelle s'est développée une autre UC, et UC fille cette UC portée par l'UC mère. Concernant la position des UC, on dit qu'elles sont apicales lorsqu'elles sont issues du bourgeon terminal et dans la continuité de l'UC mère, et latérales lorsqu'elles sont issues des bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles. Il en est de même pour les bourgeons. Cette position, apicale ou latérale, est toujours relative à l'UC qui précède celle étudiée. Elle joue un rôle important sur la morphologie de cette UC et sur ses probabilités de croissance végétative, de floraison ou de fructification. Lorsque les UC sont positionnées à l'extrémité d'un axe, elles sont terminales. Les UC qui se sont développées sur des UC en position terminale sont issues de croissance séquentielle. Toutefois il arrive plus rarement que des UC débourrent à partir de bourgeons situés sur des UC non terminales, issues d'un flush de croissance végétative plus ancien. Il s'agit alors de réitérations (Figure 8).

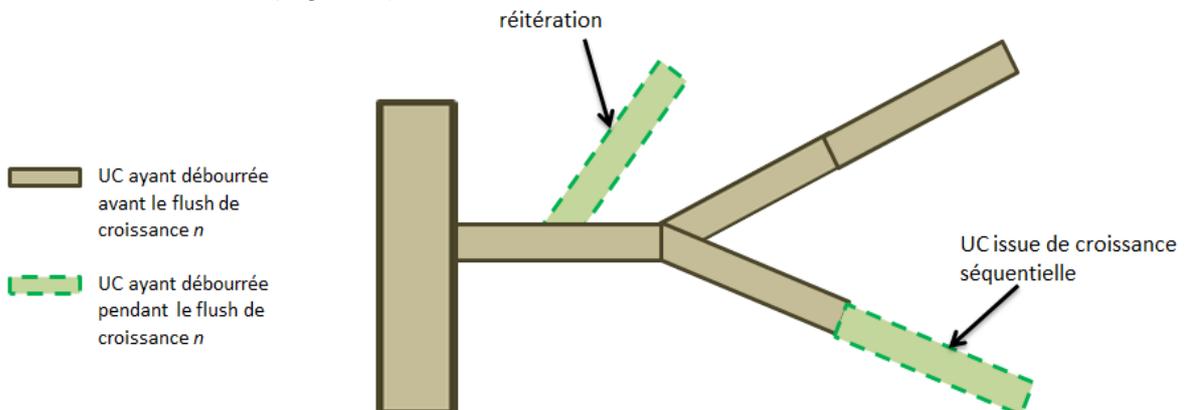


Figure 8 : Schéma d'unités de croissance (UC) issues de croissance séquentielle et de réitérations

Les UC peuvent être de différentes natures. Une UC végétative porte d'autres UC, et une UC reproductive porte au moins une inflorescence. L'UC reproductive est fructifère si elle a produit au moins un fruit, et florifère si ses inflorescences n'ont pas donné de fruits. Chaque UC est porteuse de bourgeons dont la nature reste indéterminée avant que leur croissance soit initiée : ces bourgeons peuvent donner soit des UC végétatives, soit des inflorescences. Leur nature dépend des facteurs exogènes comme la température et la pluviométrie et des facteurs endogènes comme le diamètre de l'UC, sa position, sa date de débourrement ... (PERSELLO, 2015). Le développement des UC végétatives se déroule en sept stades. Ces stades végétatifs sont présentés dans l'Annexe 2.

#### 2.1.3.2 Le repos végétatif du manguier

La baisse des températures et de la pluviométrie, vers avril-mai, conditionnent l'arrêt de la croissance végétative. Débute alors la phase de repos végétatif. Lors de cette étape, essentielle pour la floraison qui suit, rien d'apparent ne se passe sur l'arbre. Néanmoins, les UC acquièrent la maturité nécessaire pour fleurir et l'arbre accumule les sucres de réserve, utilisés par la suite lors de la floraison et de la fructification, grâce à la photosynthèse. Les facteurs climatiques tels qu'une hausse de température ou une pluie tardive sont susceptibles de casser cette phase de repos, de relancer la croissance végétative et donc d'avoir des conséquences néfastes sur la future floraison. Pour les mêmes raisons, la fertilisation azotée, une irrigation importante, ou encore la taille, et toutes les autres opérations culturales favorables à la croissance végétative, ne doivent pas être pratiquées durant cette étape (VINCENOT *et al.*, 2009).

#### 2.1.3.3 La floraison du manguier

La floraison se déroule pendant l'hiver austral, entre juin et octobre selon les variétés de manguier et les conditions climatiques. Lors de cette période, il peut y avoir deux voire trois flushes de floraisons distincts. Les températures fraîches à cette période de l'année (25°C le jour et 15°C la nuit) déclenchent la floraison. Néanmoins, des températures inférieures à 15°C peuvent empêcher la floraison : en effet, le pollen perd ses facultés germinatives et il n'y a pas ou peu de fécondation (VINCENOT *et al.*, 2009). La floraison est également contrôlée par des facteurs multiples, notamment par les hormones, telles que l'auxine dont la concentration est plus importante dans les UC florifères. L'âge de l'UC a aussi un rôle dans l'induction de la floraison : en effet, il faut qu'une UC soit âgée de 7 semaines au minimum, et ait donc assimilé assez de réserves, pour donner une inflorescence. De plus, les UC plus âgées ont une probabilité plus importante de fleurir, et leur nombre d'inflorescences est généralement plus important (PERSELLO, 2015). De même que les UC végétatives, le développement des inflorescences se décompose en sept étapes présentées dans l'Annexe 3. Les inflorescences qui ne donnent pas de fruits se dessèchent et disparaissent à la fin de la période de floraison, et celles qui ont donné des fruits disparaissent après la récolte. Le manguier fait partie des espèces fruitières présentant l'un des plus faibles rendements en fruits rapporté à son potentiel florifère (BOMPARD, 2009).

#### 2.1.3.4 La fructification du manguier

La croissance du fruit dure entre 4 et 5 mois (100 à 150 jours après la floraison). Cette croissance est assurée par les glucides (hydrates de carbone) produits lors de la photosynthèse. A maturité, la pulpe de la mangue est composée de 80% d'eau, ainsi que de sucres solubles (9 à 16 g/100g de pulpe fraîche dont 75% de saccharose) et d'acides organiques (0,6 à 1g/100g de pulpe fraîche), composants essentiels à sa qualité gustative (LECHAUDEL *et al.*, 2005 ; BRETCH et YAHIA, 2009). A la récolte, il y a souvent une différence de taille et de qualité entre les mangues. Cette différence résulte de plusieurs facteurs tels que la lumière, la température, ou la disponibilité en carbone et en eau. La taille du fruit à la récolte est aussi liée au nombre de cellules du fruit à la fin de la phase de division cellulaire. Ainsi, à la récolte, la taille d'un petit fruit est due à un petit nombre de cellules dans celui-ci, et ce petit nombre de cellules est souvent dû à une

limitation des ressources lors des premières étapes du développement (LECHAUDEL *et al.*, 2005). Mais de nombreux fruits tombent tôt dans la saison avant leur maturité. Les causes de ce phénomène sont multiples : fruits développés à partir d'un ovule non fécondé, fruits attaqués par des ravageurs, inflorescence qui ne peut supporter un trop grand nombre de fruits... (PERSELLO, 2015).

## 2.2 Conduite d'un verger de mangues à la Réunion

### 2.2.1 Pratiques culturales pour la conduite d'un verger de mangues à la Réunion

Les interventions culturales sur le manguiers et les périodes de l'année durant lesquelles il faut réaliser ces interventions sont indiquées dans le Tableau 5. Selon les espèces (précoces, tardives ...), la récolte commence en novembre et se termine en mars. Elle se déroule 120 à 130 jours après la floraison. A la Réunion, elle est réalisée essentiellement manuellement (BRAZ, 2004 ; INFOCOMM, 2016). En fin de récolte, des travaux de taille et de broyage sont réalisés, ainsi que d'entretien du sol (fauche et désherbage). Cet entretien du sol autour des arbres doit être fait durant les deux premières années après la plantation pour s'assurer que l'eau profite aux jeunes arbres. Par la suite, il est généralement conseillé de maintenir une couverture végétale sur l'ensemble du verger afin de protéger le sol de l'érosion et de constituer une réserve de faune auxiliaire. S'ajoute à ces pratiques, une surveillance phytosanitaire ainsi que des traitements phytosanitaires lors de la floraison. Dans le cas d'une production fruitière intégrée, les traitements phytosanitaires demandent peu de temps, et sont directement liés à la présence de bio-agresseurs dans les manguiers, mais une surveillance régulière tout au long de l'année et plus particulièrement pendant les stades sensibles, tels que la floraison, est indispensable. Lors de la floraison et la croissance des fruits, une fertilisation peut être nécessaire, même si, bien souvent, les manguiers de plus de 10 ans à la Réunion sont non fertilisés et ne souffrent d'aucune carence (VINCENOT *et al.*, 2009). L'irrigation n'est pas toujours nécessaire, notamment dans les sols contenant des nappes profondes. Néanmoins, pendant la période de forte activité physiologique, la photosynthèse est susceptible de diminuer fortement en cas de déficit hydrique. Ainsi, pour permettre une bonne reprise des jeunes plants et assurer une production en quantité et en qualité, il est souvent indispensable d'installer des systèmes d'irrigation tels que le goutte à goutte, les microjets, les mini-asperseurs... Les systèmes disposés sous la frondaison, en évitant de mouiller celle-ci, sont efficaces pour éviter les maladies (PIP, 2011).

Tableau 5 : Interventions culturales en verger de manguiers (VINCENOT *et al.*, 2009)

Mois	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05
Stades phénologiques	Floraison		Croissance des fruits			Maturité production			croissance végétative		Repos	
												
Récolte												
Taille et broyage												
Surveillance phytosanitaire												
Traitements phytosanitaires												
Fertilisation (si nécessaire)												
Fauche												
Désherbage (facultatif)												

L'entretien et la récolte d'un hectare de manguiers sur un cycle de production demandent en moyenne 72 jours de travail avec une Unité de Travail Humain (UTH). Parmi ces différentes pratiques culturales, la taille et la récolte sont les plus chronophages (Figure 9). La taille nécessite près de 20 jours de travail pour un hectare de manguiers avec une UTH, et la récolte plus de 40 jours (VINCENOT *et al.*, 2009).

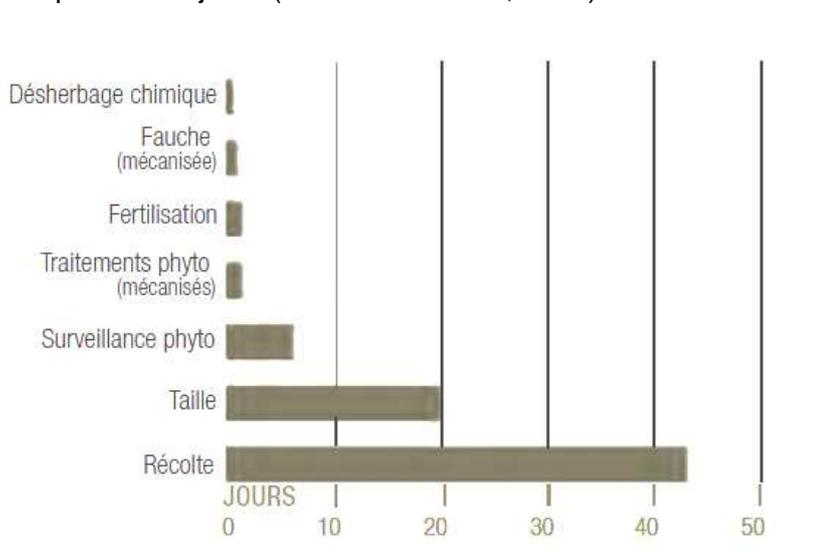


Figure 9 : Répartition des temps de travaux pour 1 Unité de Travail Humain (UTH) et 1 ha de manguiers (VINCENOT *et al.*, 2009)

## 2.2.2 Focus sur la taille et l'éclaircissage du manguiier

### 2.2.2.1 La taille du manguiier

Selon l'âge du manguiier, on distingue trois types de taille : la taille de formation, la taille d'entretien, et la taille de régénération. La première sert à donner au manguiier la forme voulue pour sa culture, avec quatre charpentières principales. Cette taille peut se pratiquer en pépinière. Il est aussi possible de pratiquer un « tip pruning », c'est-à-dire de tailler les extrémités des rameaux pour stimuler des flushes fréquents, donc une plus importante ramification des jeunes arbres pour les emmener vers une production commerciale plus tôt que s'ils n'avaient pas été taillés (DAVENPORT, 2006).

La taille d'entretien permet d'éliminer des branches mortes ou malades, mais aussi de contrôler la taille de l'arbre, ou encore d'aérer l'arbre en enlevant les branches en excès (Figure 10). En effet, dans les régions tropicales et subtropicales, où les phases de croissance végétative sont fréquentes et intenses, il est essentiel de maintenir les vergers sous contrôle, que ce soit pour la taille de la canopée du manguiier ou la productivité du verger. Cette taille est une intervention qui, quoiqu'essentielle, reste très légère sur le manguiier. Elle est réalisée une fois par an, après la récolte. Son premier rôle est d'éviter d'avoir des arbres trop larges ou trop grands (hors de portée des agriculteurs) au sein d'un verger. Ensuite, elle réduit le potentiel de production de l'arbre et donc le rendement, mais a un effet bénéfique sur l'alternance de production, en la limitant, et la synchronisation de la floraison. Tailler les branches trop basses permet un travail du sol plus facile, car plus accessible autour du tronc, mais aussi d'éviter que de futurs fruits ne traînent à terre. Enfin, cette taille permet aussi une meilleure aération de la canopée, et donc une meilleure pénétration et efficacité des produits phytosanitaires (YESHITELA *et al.*, 2005 ; DAVENPORT, 2006).



Figure 10 : Représentation schématique de la taille annuelle du mangoulier (VINCENOT *et al.*, 2009)

Enfin, la taille de régénération est réalisée sur des arbres plus âgés et peu ou pas productifs. Le but est de favoriser l'apparition de jeunes pousses (NADIE *et al.*, 2009). Ce type de taille est pratiqué dans les vergers où les arbres sont plus âgés. Les rendements peuvent diminuer chez les mangouliers âgés de 14 – 15 ans, à cause du surdéveloppement des frondaisons. Cette taille permet donc d'éviter le surdéveloppement de ces frondaisons et de stimuler des flushes de croissance végétative pour faire apparaître de nouvelles pousses (ASREY *et al.*, 2013). Enfin, d'après l'étude menée par Asrey *et al.* (2013), les fruits des arbres taillés ont une masse supérieure à ceux des arbres non taillés. Ils sont aussi plus fermes et contiennent deux fois plus de caroténoïdes et d'antioxydants que les fruits des arbres non taillés. De plus, les arbres taillés sont moins sujets à certaines maladies, telles que l'antracnose et la pourriture de la tige.

#### 2.2.2.2 L'éclaircissage du mangoulier et les relations source-puit

En arboriculture fruitière, l'éclaircissage est une pratique culturale qui permet la régulation de la charge en fruits. En éliminant certains fruits, le plus souvent les fruits petits ou abimés, la taille des autres fruits augmente et leur qualité est améliorée. Cette pratique n'est pourtant peu ou pas pratiquée dans la culture du mangoulier, mais certaines études ont été menées pour étudier ses effets. L'éclaircissage fait entrer en jeu les phénomènes relatifs au rapport organes source-puit. Ces relations source-puit sont impliquées dans la croissance des fruits. La disponibilité en carbone dépend de ces relations source-puit, c'est-à-dire du rapport entre les organes « sources », producteurs d'assimilats, (feuilles) et les organes « puits », consommateurs d'assimilats (fruits). Lors de l'étude menée par LECHAUDEL *et al.* (2005), l'augmentation du ratio feuilles-fruit (source-puit) de 50 à 100 feuilles par fruit a augmenté la croissance des fruits et s'explique par une augmentation de la disponibilité en carbone pour les fruits. Or, il n'y a pas eu de croissance du fruit aussi importante que l'augmentation de la production de glucides. Ainsi, les rapports source-puit jouent aussi un rôle dans la croissance du fruit, mais sont limités par le nombre de cellules, et les glucides restants sont stockés dans les feuilles dans le cas du ratio feuilles-fruit égal à 100. D'après une étude menée par SASAKI et UTSUNOMIYA (2002), l'éclaircissage n'agit pas sur la durée de maturation de la mangue. Par contre, il a été constaté que les arbres éclaircis portaient des fruits plus gros que ceux qui n'avaient pas subi d'éclaircissage.

#### 2.2.3 Les problèmes agronomiques affectant la production de mangues

Deux problèmes majeurs sont rencontrés dans la conduite d'un verger de mangues, que ce soit à la Réunion ou dans une autre région du monde. La production de mangues est marquée par son hétérogénéité de production au sein d'un verger, ou au sein d'un même arbre. Deux phénomènes sont responsables de cette hétérogénéité : l'alternance de production et les asynchronismes phénologiques. Ces asynchronismes entraînent un étalement dans le temps des stades sensibles aux bio agresseurs, principalement la

floraison, comme l'anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), la bactériose (*Xanthomonas campestris*), les cécidomyies des feuilles et des fleurs (*Procontarinia matteiana*, *Erosomyia mangiferae* ...), les cochenilles (*Coccus mangiferae*, *Icerya seychellarum* ...), les mouches des fruits (*Bactrocera invadens* : *Ceratitis cosyra* ...) les thrips (*Scirtothrips aurantii*) (PIP, 2011). Le verger nécessite donc une protection, notamment chimique, prolongée dans le temps, surtout lors de la floraison. En 2011, les IFT sur mangues allaient de 14 à 26. Les insecticides représentaient 53% des traitements, et les fongicides 34% (DEGUINE *et al.*, 2017). Ces asynchronismes prolongent aussi la phase de récolte, obligeant l'agriculteur à réaliser de nombreux passages dans ses vergers. Les fruits sont hétérogènes, autant sur la maturité que sur la qualité.

L'alternance de production est caractérisée par le fait que, chez le manguier, une année de forte production (année « on ») soit suivie d'une, parfois de deux, années de production plus faibles voire nulles (année « off »). Les facteurs responsables de cette alternance de production sont multiples et ne sont pas toujours bien expliqués ou connus. Ils sont supposés être d'ordre génétique, mais semblent aussi liés aux ressources carbonées de l'arbre, aux hormones, et à l'architecture de l'arbre et de ses axes. Le deuxième problème rencontré en verger de mangues concerne les asynchronismes phénologiques. La croissance végétative, ainsi que la floraison, n'ont pas lieu en même temps au sein d'un verger ou au sein d'un même arbre, ces stades ne sont pas synchrones. Ces asynchronismes étant présent au sein d'une même parcelle et au sein d'un même arbre, ils sont sûrement liés à des déterminants endogènes à l'arbre (DAMBREVILLE *et al.*, 2013). Ce phénomène peut aussi s'expliquer par le fait que les conditions climatiques des régions tropicales sont favorables à la croissance tout au long de l'année. Au contraire, dans les régions dont le climat est tempéré, les conditions climatiques induisent un repos hivernal et synchronisent ainsi le repos végétatif puis la levée de dormance et la floraison sur les espèces végétales présentes.

### **3 La recherche agronomique sur le manguier au Cirad à la Réunion**

#### **3.1 Le Cirad, un organisme de recherche engagé dans la production fruitière intégrée**

##### **3.1.1 Le Cirad : mission, stratégies et fonctionnement**

Dans un contexte actuel où les enjeux mondiaux sont de plus en plus nombreux et préoccupants (nourrir la population mondiale, préserver les ressources non renouvelables, gérer la biodiversité...), le Cirad, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, a pour mission d'aider au développement agricole durable des pays des régions tropicales et méditerranéennes du monde. Pour accompagner le développement de ces pays, le Cirad produit et transmet de nouvelles connaissances agronomiques et agricoles grâce à ses travaux de recherche réalisés au sein des différentes stations. Il existe 13 directions régionales du Cirad, présentes en France métropolitaine, dans l'outre-mer français ou à l'étranger, permettant de mener des activités de coopération avec plus de 100 pays. Ce sont plus de 1600 agents dont 800 chercheurs qui travaillent dans les trois départements scientifiques du Cirad : systèmes biologiques (Bios), performance des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) et environnement et sociétés (ES). Ces trois départements regroupent 33 unités de recherche. A la Réunion, où plus de 40% de l'île inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco rend la gestion de la biodiversité primordiale, on compte deux sites principaux à Saint-Denis et à Saint Pierre. Ce sont 35 ha de terrains d'expérimentations répartis sur quatre stations où travaillent 170 agents dont 50 chercheurs et 120 techniciens.

### **3.1.2 L'acquisition de connaissances des processus biologiques des cultures fruitières pérennes pour répondre aux objectifs de la production fruitière intégrée**

Au sein du département scientifique Persyst, l'unité de recherche Hortsys (fonctionnement agroécologique et performance des systèmes de culture horticoles) vise à proposer des systèmes agricoles innovant basés sur l'agroécologie et la production intégrée. Dans le cadre du dispositif de programmation COSAQ, qui regroupe 5 unités de recherche (dont Hortsys), les chercheurs ont pour objectif d'acquérir les connaissances nécessaires pour la conception de systèmes agro-alimentaires de qualité. Ce projet est composé de trois parties. La première consiste à identifier et modéliser les déterminants du rendement et de la qualité des produits agricoles et alimentaires. La deuxième est de mettre au point des techniques culturales et des procédés de conservation et de transformation des produits agricoles et alimentaires. Et enfin, la troisième partie consiste à évaluer le potentiel de méthodes non-destructives pour caractériser la qualité des produits agricoles et alimentaires. Parmi les différents travaux de l'unité de recherche Hortsys, il y a notamment le projet Ecoverger. Son objectif est d'élaborer une méthode pour concevoir des itinéraires techniques en vergers évalués sur leur capacité à limiter le développement et les dommages des bioagresseurs et à satisfaire aux obligations d'efficacité agronomique, de viabilité économique et de durabilité. La conception d'itinéraires techniques passe par la connaissance des processus biologiques impliqués dans l'élaboration du rendement du manguier, et donc de l'effet de pratiques culturales sur ces processus (GRECHI, 2015).

### **3.2 Les études menées par le Cirad sur l'effet de l'architecture et des relations structurelles sur le comportement du manguier**

Les chercheurs de la station de Bassin Plat, à Saint-Pierre, étudient plus particulièrement l'architecture et les relations structurelles du manguier pour mieux comprendre les phénomènes d'alternance de production et d'asynchronismes phénologiques. L'architecture de l'arbre est déterminante pour la croissance végétative, la floraison et la fructification. En effet, d'après une étude menée par NORMAND *et al.* (2009), les UC apicales sont plus longues et possèdent plus de feuilles et ont tendance à avoir une croissance végétative, une floraison et une fructification plus importante que les UC latérales. De plus, une UC ancêtre de nature reproductive aura des UC filles dont la croissance végétative est amoindrie et retardée dans le temps, et dont la floraison peut aussi être retardée. La nature des UC mères est donc un facteur possible des asynchronismes phénologiques à l'intérieur de l'arbre et les UC ont des effets structuraux et temporels sur leurs UC filles (DAMBREVILLE *et al.*, 2013). La taille modifie l'architecture de l'arbre et est donc susceptible de modifier le comportement du manguier en réponse à ces nouvelles relations structurelles. L'éclaircissage est une pratique qui modifie les relations source-puits, ici feuilles-fruits. Ces relations feuilles-fruits sont responsables de la disponibilité en carbone des fruits et de leur croissance (LECHAUDEL *et al.*, 2005).

L'étude de l'effet de la taille et de l'éclaircissage sur l'élaboration du rendement du manguier vient compléter ces études menées sur le comportement du manguier en y intégrant des pratiques culturales qui modifient l'architecture et les relations structurelles de l'arbre.



## Problématique

La mangue est la 4ème production fruitière de l'île de la Réunion et représente la culture fruitière pérenne la plus rentable pour les agriculteurs. Pourtant, les producteurs de mangues sont confrontés à de fortes contraintes agronomiques au sein de leurs vergers. En effet, l'alternance de production entraîne une variation économique importante d'une année sur l'autre et les asynchronismes phénologiques, en prolongeant les phases sensibles aux bio-agresseurs, génèrent des hétérogénéités de rendement au sein du verger et des hétérogénéités de qualité des fruits à la récolte. Le Cirad travaille depuis plusieurs années sur ces problèmes et sur l'effet de l'architecture et des relations structurelles sur le comportement de l'arbre et l'élaboration de son rendement. En effet ces facteurs influent sur la croissance végétative, la floraison et la fructification du manguier, et donc sur le rendement et la qualité des mangues à la récolte.

La problématique de cette étude a été de déterminer si la taille et l'éclaircissage peuvent palier aux problèmes agronomiques d'alternance de production, d'asynchronismes phénologiques et d'hétérogénéité de rendement et de qualité rencontrés par les agriculteurs au sein de leurs vergers de manguiers.

En effet, ces deux pratiques culturales sont susceptibles de modifier l'architecture de l'arbre, les relations puit-source, mais aussi les interactions structurelles, et ainsi, d'influencer sur l'élaboration du rendement du manguier. Deux hypothèses sont émises. La première hypothèse est que des pratiques de taille adaptées pourraient réduire les asynchronismes phénologiques et permettre ainsi de réduire l'hétérogénéité de la qualité des fruits ainsi que la période de sensibilité des arbres aux ravageurs. La deuxième hypothèse est que l'éclaircissage, en permettant une meilleure maîtrise de la charge en fruits sur l'arbre, pourrait limiter la compétition entre les fruits (à la fois localement à l'échelle de branches et/ou globalement à l'échelle de l'arbre) et ainsi réduire l'hétérogénéité de la production. L'étude de l'effet de la taille et de l'éclaircissage a aussi pour but de compléter les connaissances sur les processus physiologiques du manguier en réponse à ces pratiques culturales. Pour valider ou invalider ces deux hypothèses, deux essais ont été mis en place sur les vergers de la station d'expérimentation du Cirad, à St Pierre, à la Réunion.



## **PARTIE 2 : Matériel et méthodes**



Deux essais ont été menés pour étudier l'effet des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiier. Le premier porte sur l'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison, et le deuxième sur l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre et sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte (Figure 11).

Le premier essai, sur l'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison, est mis en place à travers des modalités d'intensité et de sévérité de taille. Le deuxième essai porte sur l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte. Ce dernier prend en compte trois facteurs : la charge en fruits globale de l'arbre et des charpentières qui le composent, le rapport feuille/fruit et l'annelation ou non de l'axe. Les résultats obtenus permettent d'identifier les pratiques susceptibles d'améliorer la production de mangues, en augmentant le rendement et/ou la qualité de la récolte.

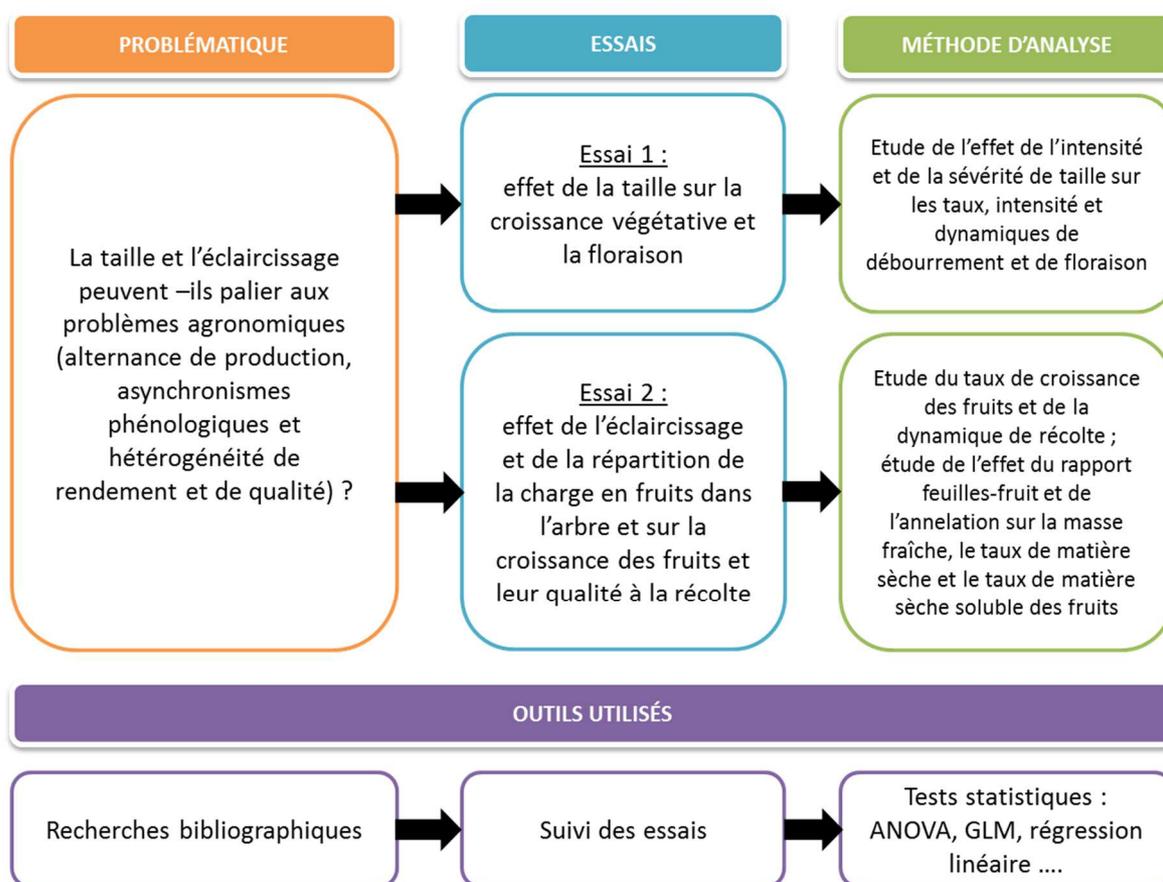


Figure 11 : Représentation schématique de la méthodologie utilisée

## 1 Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison

L'hypothèse est que des pratiques de taille adaptées pourraient réduire les asynchronismes phénologiques et permettre ainsi de réduire l'hétérogénéité de la qualité des fruits ainsi que la période de sensibilité des arbres aux ravageurs. Pour étudier l'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison, plusieurs modalités de tailles ont été définies, à l'image de l'étude menée par DAVENPORT en 2006.

### 1.1 Dispositif expérimental de l'essai 1

L'essai a été réalisé sur un verger situé à la station de Bassin Plat, à Saint Pierre. Le verger comprend 153 manguiers âgés d'une vingtaine d'années de la variété Cogshall. Ce verger est composé de 9 rangées, de « A » à « I ». Chaque rangée comprend 17

arbres (Annexe 1). Parmi ces manguiers, 16 ont été sélectionnés pour réaliser l'essai : il s'agit d'A11, A13, A14, C9, C12, D11, D13, F12, F13, F14, F15, G5, G6, G12, G15 et G16. Ces arbres ont été sélectionnés parce qu'ils n'avaient pas encore commencé leur croissance végétative au début de l'essai. La taille de ces arbres a eu lieu après la récolte, en janvier 2016.

## 1.2 Méthode de l'essai 1

La taille est étudiée à travers deux facteurs : l'intensité de taille, aussi appelée facteur F1, et la sévérité de taille, facteur F2.

### 1.2.1 Le facteur F1 : l'intensité de taille

L'intensité de taille se traduit par la quantité de biomasse retirée par volume de canopée, en kg/m<sup>3</sup>. Quatre modalités d'intensité de taille sont définies à l'échelle de l'arbre. T0 correspond à une taille nulle c'est-à-dire à 0 points de coupe par arbre, T1 à une taille faible c'est-à-dire à 60 points de coupe par arbre, T2 à une taille moyenne (120 points de coupe/arbre) et T3 à une taille forte (180 points de coupe/arbre). Les 16 manguiers ont été répartis aléatoirement entre les 4 modalités du facteur F1, et il y a 4 arbres par modalité. Les arbres T0 sont : A13, A14, F14 et G6 ; les arbres T1 : A11, C9, C12 et G5 ; les arbres T2 : D13, F13, F15 et G12 ; les arbres T3 : D11, F12, G15 et G16. Pour chaque arbre, sa hauteur (m), sa largeur sur le rang (m), sa largeur sur l'inter-rang (m) et sa hauteur de jupe (m) ont été mesurées (Figure 12). Le volume de canopée (m<sup>3</sup>), associé à un pavé, peut ainsi être calculé :

$V = (H_A - H_J) * L_R * L_I$  avec  $H_A$  la hauteur de l'arbre,  $H_J$  la hauteur de jupe,  $L_R$  la largeur sur le rang et  $L_I$  la largeur sur l'inter-rang

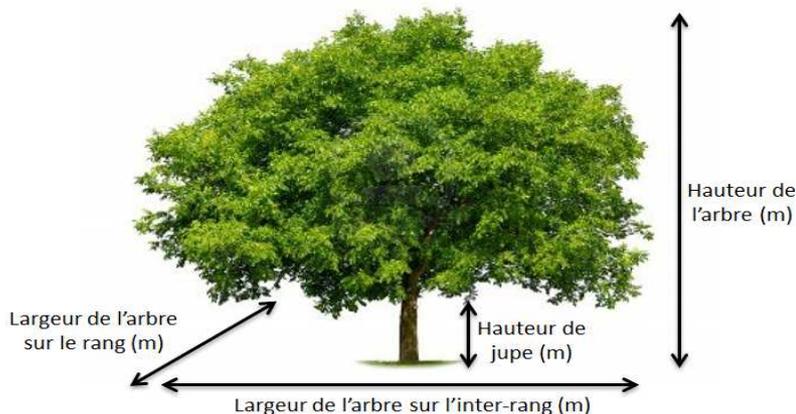


Figure 12 : Schéma des mesures de la hauteur de l'arbre (m), de sa largeur sur le rang et sur l'inter-rang (m), et de la hauteur de sa jupe (m) sur mangouier

La biomasse retirée par arbre (kg MF/arbre), et par axe taillé (g MF/axe) a aussi été mesurée : les branches coupées ont été ramassées à l'aide d'une bâche posée sous l'arbre, puis ont été pesées. Ces deux variables ont permis d'obtenir une biomasse retirée par volume de canopée (kg MF/m<sup>3</sup>). Pour créer un gradient de taille entre les arbres et éviter un chevauchement entre des arbres de modalités différentes, une 2<sup>ème</sup> taille a été réalisée en se basant sur la quantité de biomasse retirée par volume de canopée (Figure 13). Les arbres F13 et F14 (T2) ont été réajustés à 144 points de coupe par arbre, les arbres D11 et F12 (T3) ont été réajustés à 240 points de coupe par arbre, et les arbres G15 et G16 (T3) ont été réajustés à respectivement 228 et 252 points de coupe par arbre (Tableau 6).

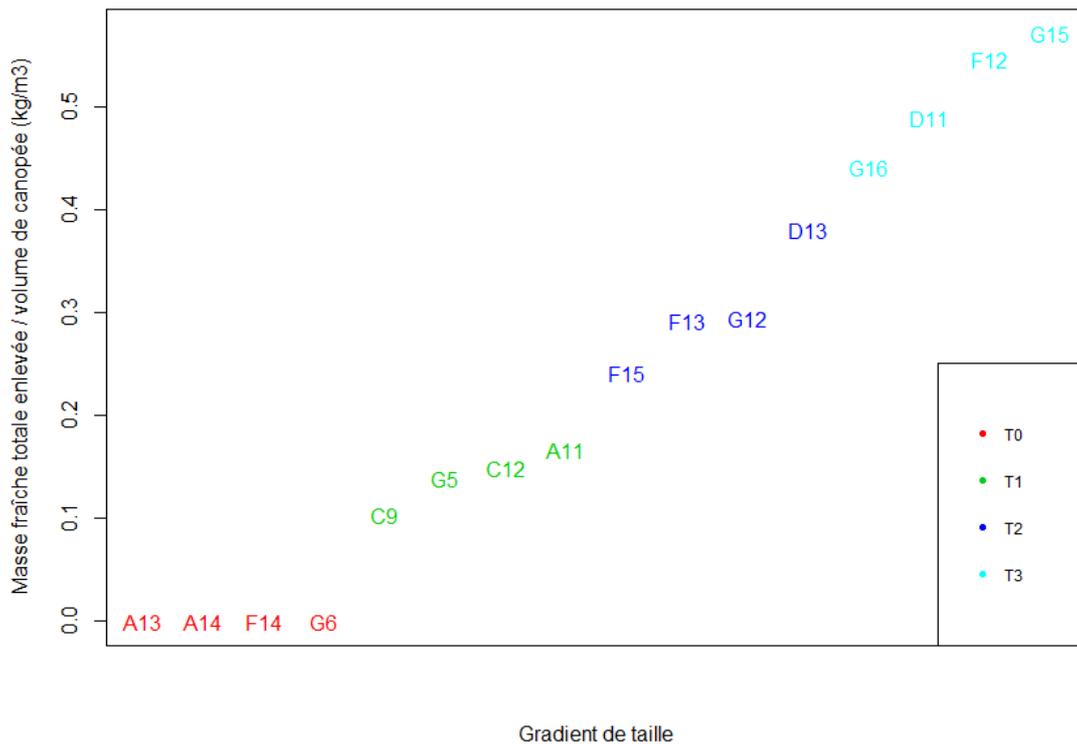


Figure 13 : Masse fraîche totale enlevée par volume de canopée ( $\text{kg/m}^3$ ) en fonction du gradient de taille après réajustement lors de la 2<sup>ème</sup> taille

### 1.2.2 Le facteur F2 : la sévérité de taille

La sévérité de taille, ou profondeur de taille, correspond à l'étage auquel l'axe est coupé. Trois modalités sont définies à l'échelle d'un axe. Ainsi, pour la modalité n1, l'UC terminale et ses sœurs éventuelles sont enlevées ; pour n2, l'UC mère et ses sœurs éventuelles sont enlevées ; et pour n3, l'UC grand-mère et ses sœurs éventuelles sont enlevées. Ces différentes modalités sont représentées sur la Figure 14. Le point de coupe est situé sur l'UC mère de l'UC à enlever, juste avant la cicatrice délimitant l'UC mère de l'UC à couper : c'est l'exemple de n1 et n3 sur la Figure 14. Dans un cas plus complexe où l'UC à enlever a des sœurs, le point de coupe est situé sur l'UC mère de l'UC à enlever de manière à enlever aussi les UC sœurs de celle-ci : c'est le cas n2 sur la Figure 14.

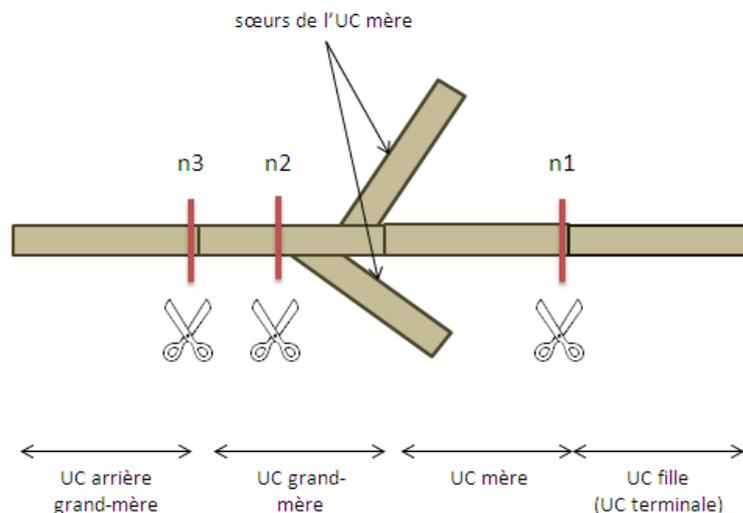


Figure 14 : exemple de taille selon les modalités n1, n2 et n3 du facteur F2 (sévérité de taille)

Pour chaque arbre, un tiers des points de coupe sont de type n1, un autre tiers de type n2 et le dernier tiers de type n3 (Tableau 6). Les arbres T0 n'étant pas taillés, leur nombre d'axes de types n1, n2 et n3 est égal à 0. Les arbres T1 ont tous 20 axes taillés de type n1, 20 de type n2 et 20 de type n3. Pour les arbres T2 et T3, tout dépend de leur nombre total de points de coupe, définis lors de la 2<sup>ème</sup> taille, mais le nombre de points de coupe pour chacune des trois modalités du facteur F2 varie entre 40 et 48 pour les arbres T2, et entre 76 et 84 pour les arbres T3.

Tableau 6 : Nombre de points de coupe par arbre selon les modalités des facteurs F1 et F2

	Facteur F2	n1	n2	n3	Total
Facteur F1	Arbres				
<b>T0</b>	A13	0	0	0	0
	A14	0	0	0	0
	F14	0	0	0	0
	G6	0	0	0	0
<b>T1</b>	A11	20	20	20	60
	C9	20	20	20	60
	C12	20	20	20	60
	G5	20	20	20	60
<b>T2</b>	D13	40	40	40	120
	F13	48	48	48	144
	F15	48	48	48	144
	G12	40	40	40	120
<b>T3</b>	D11	80	80	80	240
	F12	80	80	80	240
	G15	76	76	76	228
	G16	84	84	84	252

### 1.3 Echantillonnage et suivi des UC pour l'essai 1

#### 1.3.1 Echantillonnage d'UC pour suivre la croissance végétative

Pour suivre l'effet de la taille sur la croissance végétative à l'échelle locale et à l'échelle de l'arbre, plusieurs types d'UC ont été échantillonnés : des UC taillées, et des UC terminales non taillées. La nature attendue des UC qui débourent est de type réitération dans le cas des UC taillées, et de type croissance séquentielle dans le cas des UC terminales non taillées.

##### 1.3.1.1 Echantillonnage des UC terminales non taillées

Deux types d'UC terminales non taillées ont été échantillonnés : des UC en position apicale et des UC en position latérale. Ainsi, sur chacun des 16 arbres de l'essai 1, 15 UC latérales et 15 UC apicales positionnées à hauteur d'homme ou accessibles à partir d'un escabeau ont été échantillonnées par arbre, soit 480 UC au total. Une distinction a été réalisée entre vieilles UC terminales non taillées et jeunes UC terminales non taillées : les vieilles UC sont des UC qui ont débourenté avant ou pendant le flush de croissance végétative de novembre 2015, et les jeunes UC sont des UC qui ont débourenté après ce flush de croissance végétative de novembre 2015.

##### 1.3.1.2 Echantillonnage des UC taillées

Selon les modalités du facteur sévérité de taille (facteur F2), on définit trois types d'UC taillées : n1, n2, et n3. Pour chaque arbre, 10 UC de type n1, 10 UC de type n2 et 10 UC de type n3 sont échantillonnés. 5 UC de chaque type sont échantillonnées en bas de l'arbre (accessible à hauteur d'homme) et 5 autres en haut de l'arbre (accessible avec un escabeau). Les arbres T0 n'ont pas été taillés (arbres témoins), des points de coupe

théoriques des UC de types n1, n2 et n3 sont toutefois échantillonnés. Il y a au total 360 UC taillées suivies, plus 120 points de coupe potentiels suivis sur les arbres T0.

### **1.3.2 Echantillonnage d'UC pour suivre la floraison**

Les UC taillées et les UC terminales non taillées échantillonnées pour suivre la croissance végétative et leurs UC filles éventuelles, ont été aussi suivies lors de la floraison. Pour permettre un suivi global de la floraison à l'échelle de l'arbre, un nouvel échantillon de 60 UC terminales par arbre a été constitué, soit 960 UC au total. Ces UC ont été prises au hasard tout autour de l'arbre, de façon à être accessibles à hauteur d'homme ou à partir d'un escabeau. Ces UC peuvent être issues de croissance séquentielle ou de répétitions.

### **1.3.3 Suivi de la croissance végétative et de la floraison**

Pour chaque UC taillée et chaque UC terminale non taillée échantillonnées pour suivre la croissance végétative, deux mesures de diamètre ont été réalisées, au point de coupe pour les UC taillées, et à la base de l'UC pour les UC terminales non taillées. La moyenne de ces deux diamètres a permis de donner un diamètre moyen pour chaque UC.

Lors de la période de croissance végétative, un suivi par semaine est réalisé sur l'ensemble des UC échantillonnées. Pour chaque UC suivie, la date de débourrement de chacune de ses filles, et leur position par rapport à l'UC mère suivie (position apicale ou latérale) ont été notées. Pour harmoniser les résultats, il a été décidé au préalable que la date de débourrement d'une UC végétative correspond au stade C du débourrement de l'UC. En effet, ce stade est le seul à durer un seul jour. De plus, il est facilement reconnaissable : le bourgeon est ouvert et les jeunes feuilles sont écartées (Annexe 2). Dans le cas où le bourgeon avait déjà dépassé ce stade au moment du suivi, ce stade a été estimé.

Pour la floraison, le suivi est aussi réalisé une fois par semaine. Pour chaque UC suivie, la date de floraison de chacune de ses inflorescences et leur position par rapport à l'UC mère suivie sont relevés. De même que pour la croissance végétative, le stade C (bourgeon ouvert, écailles écartées et bractées de l'inflorescence visibles) est choisi pour déterminer la date de floraison. Ce stade dure une seule journée, et est estimé dans le cas où le bourgeon a déjà dépassé ce stade au moment du suivi (Annexe 3).

## **2 Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte**

Pour cet essai, l'hypothèse est que l'éclaircissage, en permettant une meilleure maîtrise de la charge en fruits sur l'arbre, pourrait limiter la compétition entre les fruits (à la fois localement à l'échelle de branches et/ou globalement à l'échelle de l'arbre) et ainsi réduire l'hétérogénéité de la production

### **2.1 Dispositif expérimental de l'essai 2**

L'essai a été réalisé sur le même verger que l'essai 1, à la station de Bassin Plat, à Saint Pierre. Le verger comprend 153 manguiers âgés d'une vingtaine d'année de la variété Cogshall répartis en 9 rangées (« A » à « I ») de 17 arbres (Annexe 1). Parmi ces manguiers, 6 ont été sélectionnés selon leur charge en fruits pour réaliser l'essai : il s'agit des arbres C7, D17, E8, E9, G3 et G4. Ils sont situés à différents endroits dans le verger.

Les suivis de croissance des fruits doivent commencer avant la fin de la phase de division cellulaire, soit 1 à 1 mois et demi après la floraison (50 à 52 jours après la pleine floraison), pour avoir une mesure de la masse fraîche des fruits avant et après cette étape. En considérant que la floraison a eu lieu en août, l'essai a donc été mis en place mis octobre.

## 2.2 Méthode de l'essai 2

L'éclaircissage et la charge en fruits sont étudiés à travers trois facteurs : la charge en fruits globale de l'arbre et de ses charpentières, le rapport feuilles-fruit, et l'annelation ou non de l'axe.

### 2.2.1 Le facteur E1 : le rapport feuilles-fruit de la branche

Le rapport feuilles-fruit (ou LF : leaf-fruit) correspond à un rapport source-puit et est égal à l'équation suivante :

$R = F/F_r$  avec R le rapport feuilles-fruit, F le nombre de feuilles et  $F_r$  le nombre de fruits.

Il permet d'étudier l'effet de la taille de la source sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte à l'échelle d'un axe. Deux modalités sont définies : LF10 qui correspond à un ratio de 10 feuilles pour 1 fruit sur une branche et LF100 qui correspond à un ratio de 100 feuilles pour 1 fruit sur une branche. Ces ratios ont été basés sur ceux mis en place par LEHCAUDEL *et al.* (2005). Pour les branches dont la modalité est LF10, 4 fruits et 40 feuilles sont laissés sur la branche. Néanmoins, un taux de chute très important durant les trois premières semaines de l'essai a nécessité un réajustement. Certains fruits tombés ont été remplacés par un fruit voisin situé sur la même branche et pour certaines branches ne portant plus que 3, 2 ou 1 fruits, le nombre de feuilles a été réduit à respectivement 30, 20 ou 10 pour respecter le ratio LF10. Pour les branches LF100, un fruit et une centaine de feuilles sont laissés par branche. Les feuilles à la base de la branche sont enlevées, et celles laissées sont réparties sur l'ensemble des UC de l'axe.

### 2.2.2 Le facteur E2 : la charge en fruits globale de l'arbre

La charge en fruits globale de l'arbre est définie en trois modalités. La modalité H (high) correspond à un arbre avec une charge en fruits globale forte (supérieure à 450 fruits par arbre). La modalité L (low) correspond à un arbre avec une charge en fruits globale faible (inférieure à 250 fruits par arbre). Les arbres avec la modalité HL sont des arbres mixtes, pour lesquels un sous-facteur à deux modalités (h et l) a été défini : ces arbres ont deux charpentières avec une charge forte (modalité h) et deux charpentières avec une charge faible (modalité l). Les arbres H sont E8 et E9, les arbres L sont C7 et D17 et les arbres HL sont G3 et G4.

Les charges en fruits initiales étant très hétérogènes entre les six arbres, la mise en place des traitements a été perturbée. La modalité H a été appliquée aux deux arbres les plus chargés (E8 et E9) dont tous les fruits ont été laissés, sauf ceux enlevés pour appliquer les traitements LF10 et LF00. La modalité L a été appliquée aux deux arbres les moins chargés (C7 et D17). Ils ont été éclaircis de façon à ce que leur charge finale en fruits soit environ égale à 30 – 35 % de celle des arbres H. Enfin, la modalité HL a été appliquée aux deux arbres ayant des charges intermédiaires (G3 et G4). Tous les fruits des deux charpentières de la modalité HL-h ont été laissés sur les arbres, sauf ceux enlevés pour appliquer les traitements LF10 et LF100, tandis que les deux charpentières de la modalité HL-l ont été éclaircies de manière à ce que leur charge finale en fruits soit environ égale à 30 – 35 % de la charge des charpentières HL-h.

### 2.2.3 Le facteur E3 : l'annelation ou non de la branche suivie

Les branches suivies sont annelées (a) ou non annelées (na) comme dans l'étude menée par NORDEY en 2014. L'annelation consiste à retirer l'écorce d'un rameau de manière à enlever les vaisseaux du phloème : il n'y a ainsi pas d'échange de sève élaborée entre la branche annelée et l'arbre, et les échanges de carbone se font uniquement entre la tige, les feuilles et les fruits de cette branche (Figure 15). Ce traitement permet de tester dans quelle mesure les échanges de carbone entre une branche et le reste de l'arbre contribuent à la croissance des fruits sur cette branche selon la charge en fruits de l'arbre ou de la charpentières sur laquelle se situe la branche. Les branches annelées servent de branches témoins.



Figure 15 : Rameau annelé (NORDEY, 2014)

## 2.2.4 Echantillonnage des branches et application des traitements des facteurs E1, E2 et E3

Les branches échantillonnées pour appliquer les traitements de rapport feuilles-fruit et d'annelation sont des branches relativement homogènes dont l'UC de base ne porte plus de feuilles et a un diamètre d'environ 15 mm. Elles sont composées de 3 à 6 étages d'UC. Les traitements LF10 et LF100 sont appliqués à 24 branches pour chacun des arbres E8, E9, C7 et D17, soit 12 branches par arbre pour chaque traitement. Pour les arbres G3 et G4, les traitements LF10 et LF100 sont appliqués à 36 branches par arbre, soit 18 branches par arbre pour chaque traitement (Tableau 7). Pour les arbres HL, les traitements LF10 et LF100 ont été répartis entre les charpentières HL-h et HL-l. Le traitement LF10 est appliqué à 9 branches sur les charpentières HL-h et à 9 branches sur les charpentières HL-l, et le traitement LF100 à 9 branches sur les charpentières HL-h et à 9 branches sur les charpentières HL-l. Parmi les 12 branches LF10 et les 12 branches LF100 de chaque arbre L et H (C7, D17, E8 et E9), la moitié est annelée et l'autre moitié non. Pour les 9 branches LF10 et les 9 branches LF100 des arbres HL (G3 et G4), ce sont à chaque fois 3 branches qui sont annelées et 6 branches qui ne le sont pas. Seulement 12 branches sont annelées pour les arbres HL car, les branches étant isolées du reste de l'arbre du fait de leur annelation, il n'est pas nécessaire d'associer le facteur annelation au facteur charge en fruits. Certaines charpentières de l'arbre G4 ne portaient pas assez de branches correspondant aux exigences de l'expérience. Les branches annelées à échantillonner ont donc été décalées sur des charpentières voisines. Ces branches, du fait de leur annelation, étant isolées du reste de l'arbre, la charge en fruits de la charpentière où elles se trouvent n'influe pas sur l'expérience.

Tableau 7 : récapitulatif des facteurs E2 (H : forte charge en fruits de l'arbre, L : faible charge en fruits de l'arbre, HL-l : charge en fruits de l'arbre moyenne et de la charpentière faible, HL-h : charge en fruits de l'arbre moyenne et de la charpentière forte), E1 (LF10 : ratio de 10 feuilles pour 1 fruit, LF100 : ratio de 100 feuilles pour 1 fruit) et E3 (a : branche annelée, na : branche non annelée) et de l'application de leurs modalités sur les arbres pour l'essai 2

Arbre	C7				D17				E8				E9			
Facteur E2 (HL)	L				L				H				H			
Facteur E1 (LF10, LF100)	12 LF10		12 LF100													
Facteur E3 (a/na)	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na	6 a	6 na
Arbre	G3								G4							
Facteur E2 (HL)	HL-l				HL-h				HL-l				HL-h			
Facteur E1 (LF10, LF100)	9 LF10		9 LF100		9 LF10		9 LF100		8 LF10		8 LF100		10 LF10		10 LF100	
Facteur E3 (a/na)	3 a	6 na	3 a	6 na	3 a	6 na	3 a	6 na	2 a	6 na	2 a	6 na	4 a	6 na	4 a	6 na

## 2.3 Suivi de la croissance des fruits et analyse de leur qualité à la récolte

### 2.3.1 Echantillonnage des fruits pour le suivi de la croissance des fruits et de leur qualité à la récolte

La hauteur (m), la largeur sur le rang (m), la largeur sur l'inter-rang (m) et la hauteur de jupe (m) de chaque arbre ont été mesurées (Figure 12). Le volume de canopée (m<sup>3</sup>), associé à un pavé, peut ainsi être calculé :

$V = (HA - HJ) * LR * LI$  avec HA la hauteur de l'arbre, HJ la hauteur de jupe, LR la largeur sur le rang et LI la largeur sur l'inter-rang

Sur chacune des 24 ou 36 branches suivies par arbre, un fruit a été identifié le 19 octobre 2016 : c'est le fruit dont la croissance est suivie. Pour les axes LF100, il n'y a qu'un seul fruit. C'est donc lui qui sera suivi. Pour les axes LF10, où il y a de 1 à 4 fruits, c'est le fruit qui se rapproche le plus des 5 cm lors de la mise en place de l'essai qui est échantillonné. Ces fruits sont repérés à l'aide d'une étiquette. De nombreux fruits sont tombés lors des premières semaines de l'essai (Tableau 8). Les fruits tombés ont été remplacés par des fruits de taille similaire situés sur la même branche dans le cas des fruits des branches LF10, et par des fruits situés sur de nouvelles branches auxquelles ont été appliqués les modalités des facteurs E1 et E3 pour les fruits des branches LF100.

Tableau 8 : Taux de chute des fruits échantillonnés en fonction de l'arbre et des facteurs E1 et E3

Arbre	C7				D17				E8				E9				G3				G4			
Facteur E1 (LF10/LF100)	LF10		LF100																					
Facteur E3 (a/na)	a	na	a	na																				
Taux de chute (%)	83	17	0	0	100	0	17	17	50	0	14	0	50	0	14	0	67	25	17	17	33	8	0	0

### 2.3.2 Suivi de la croissance des fruits

La croissance des fruits échantillonnés est suivie du 3 novembre 2016 au 22 décembre 2016 (début de la récolte), à raison d'un suivi par semaine. La longueur, la largeur et l'épaisseur des fruits sont mesurées grâce à un pied à coulisse. Ces mesures permettent de calculer la masse fraîche du fruit grâce à la formule :

$M = 0,4213 * (L * L * E) / 1000^{1,0248}$  avec M la masse fraîche du fruit, L la longueur du fruit, L, la largeur du fruit et E l'épaisseur du fruit.

### 2.3.3 Récolte et analyse de la qualité des fruits échantillonnés à la récolte

La récolte a commencé début décembre 2016 et s'est fini fin février 2017. Tous les fruits des 6 manguiers suivis sont récoltés à partir du stade point jaune (couleur jaune marquée au niveau de l'apex et étendue sur 25% ou moins de la mangue) et pesés individuellement à la récolte pour obtenir leur masse fraîche (Annexe 4). La date de leur récolte est notée. Les fruits échantillonnés sont aussi pesés à la récolte, et le taux de matière sèche de leur pulpe et leur taux de sucre sont mesurés. Le taux de matière sèche est obtenu après un séchage de morceaux de mangues à l'étuve à 70°C pendant 72h. Le sucre contenu dans le jus de la mangue récoltée est évalué à l'aide d'un réfractomètre à main (ATC-1C d'Atago). Celui mesure le pourcentage de matière sèche soluble (degré Brix), soit la fraction de saccharose contenue dans le liquide (le jus extrait de la mangue récoltée).

## 3 Analyses des données des essais 1 et 2

L'analyse des données est réalisée avec le logiciel R (R Core Team 2014).

### 3.1 Analyse des données de l'essai 1

#### 3.1.1 Caractérisation de l'échantillon étudié

Les variables quantité de biomasse retirée par volume de canopée (kg MF/m<sup>3</sup>), quantité de biomasse retirée par branche (g MF/branche), position des UC (apicale ou latérale),

âge de l'UC (jeune ou vieille), diamètre de l'UC (mm), nature de l'UC (croissance séquentielle ou réitération) ont été étudiées.

Les potentielles différences significatives entre les proportions des variables position, âge, et nature des différentes UC dans l'échantillon, puis en fonction des modalités des facteurs F1 (intensité de taille) et F2 (sévérité de taille) et des arbres ont été identifiées avec un test binomial exact et un test de comparaison des proportions. La normalité de ces variables a ensuite été testée (test de Shapiro-Wilk). Les variables qui ne suivent pas de loi normale ont été log-transformées : quantité de biomasse retirée par branche et diamètre des UC.

Une ANOVA à un facteur, puis un test de Tukey, ont été utilisés pour identifier des potentielles différences significatives entre les quantités de biomasse retirée par volume de canopée, les diamètres des UC en fonction des modalités des facteurs F1 et F2 et de la position des UC.

### **3.1.2 Calcul des variables à expliquer : taux, intensités et dynamiques de débourrement et de floraison**

A partir des données observées dans le verger, plusieurs variables ont été calculées. Le taux de débourrement est le nombre d'UC qui ont débourré sur le nombre total d'UC suivies, l'intensité de débourrement est le nombre d'UC filles ayant débourré par UC mère suivie et la dynamique de débourrement est le taux de débourrement dans le temps. De même, le taux de floraison est le nombre d'UC florifères sur le nombre total d'UC suivies, l'intensité de floraison est le nombre d'inflorescences par UC suivie, et la dynamique de floraison est le taux de floraison dans le temps.

#### **3.1.3 Etude de l'effet des facteurs F1 (intensité de taille) et F2 (sévérité de taille) sur les variables à expliquer**

Des modèles linéaires généralisés (GLM) avec loi binomiale ont permis d'identifier les potentielles différences significatives entre les taux de débourrement et les taux de floraison des différentes UC en fonction des modalités des facteurs F1 (intensité de taille) et F2 (sévérité de taille) et de la position des UC. Des modèles linéaires généralisés avec loi de Poisson ont aussi été utilisés pour identifier les potentielles différences significatives entre les intensités de débourrement et les intensités de floraison des différentes UC en fonction des modalités des facteurs F1 et F2 et la position des UC.

## **3.2 Analyse des données de l'essai 2**

### **3.2.1 Etude du taux de croissance des fruits et de la dynamique de récolte**

Le taux de croissance des fruits est le rapport entre la masse fraîche d'une mangue à un instant t et la masse fraîche finale du fruit. La masse fraîche d'une mangue à un instant t a été calculé grâce aux données récoltées lors des suivis par la formule suivante :

$MF_t = 0,4213 * (l_t * L_t * E_t / 1000) ^{1,0248}$  avec l la longueur, L la largeur et E l'épaisseur à un instant t.

La dynamique de récolte, autrement dit le taux de récolte dans le temps, est le rapport entre le nombre de fruits récoltés à un instant t sur le nombre total de fruits récoltés. Elle a été calculée par arbre.

### **3.2.2 Etude de la charge en fruits des arbres**

La charge en fruits par volume de canopée (nombre de fruits/m<sup>3</sup>) a été étudiée. Une régression linéaire a été utilisée pour évaluer la relation entre la masse fraîche moyenne des fruits récoltés et la charge en fruits de l'arbre.

### **3.2.3 Etude de l'effet des facteurs E1 (rapport feuilles-fruit) et E3 (annelation ou non) sur les variables à expliquer**

Pour l'essai 2, ce sont les variables à expliquer masse fraîche des fruits à la récolte (g), taux de matière sèche des fruits à la récolte (%) et taux de matière sèche soluble des fruits à la récolte (degré Brix) qui ont été étudiées.

Une ANOVA à deux facteurs, puis un test de Tukey, ont été utilisés pour identifier des potentielles différences significatives entre les masses fraîches des mangues à la récolte et le taux de matière sèche soluble des mangues à la récolte en fonction des modalités des facteurs E1 (rapport feuilles-fruit) et E3 (annelation ou non de la branche).

Le taux de matière des fruits à la récolte et sa log-transformation ne suivant pas une loi normale, les relations entre cette variable et les facteurs E1 (rapport feuilles-fruit) et E3 (annelation ou non de la branche) ont été testées grâce à un test non paramétrique (test de Kruskal-Wallis).

## **PARTIE 3 : Résultats**



L'essai 1 porte sur l'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison. L'intensité, le taux et la dynamique de débourrement et de floraison des UC ont été observés à travers les différentes modalités d'intensité et de sévérité de taille. L'essai 2 est sur l'effet de l'éclaircissage sur et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte. Le nombre de fruits récoltés et la dynamique de récolte, la masse fraîche des fruits, leur taux de matière sèche, leur taux de matière sèche soluble, et leur croissance ont été étudiés en fonction de la charge en fruits de l'arbre, du rapport feuilles-fruit des branches, et de l'annulation ou non de celles-ci.

## 1 Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison

### 1.1 Caractérisation de l'échantillon étudié

Les quatre modalités du facteur F1 (intensité de taille) ont une quantité de biomasse retirée par volume de canopée (kg MF/m<sup>3</sup>) significativement différente (P<0,001). Les arbres T0 n'ont pas été taillés, il n'y a donc pas eu de biomasse retirée. La quantité de biomasse moyenne retirée par volume de canopée est d'environ 0,14 kg MF/m<sup>3</sup> de canopée pour les arbres T1, de 0,30 kg MF/m<sup>3</sup> pour les arbres T2 et 0,51 kg MF/m<sup>3</sup> pour les arbres T3 (Figure 16).

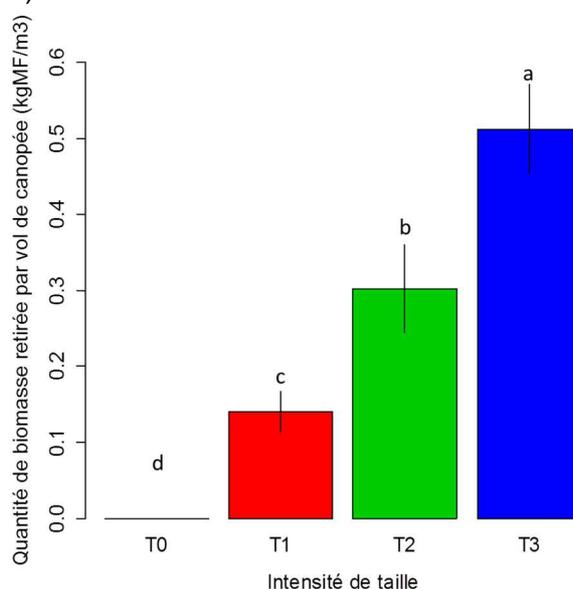


Figure 16 : Quantité de biomasse fraîche retirée par volume de canopée (kg MF/m<sup>3</sup>) en fonction du facteur F1 (intensité de taille)

Les modalités du facteur F1 (intensité de taille) mises en place ont donc bien été respectées : la quantité de biomasse fraîche retirée par volume de canopée croît avec l'intensité de taille.

#### 1.1.1 Caractérisation des UC taillées

Les trois modalités du facteur F2 (sévérité de taille) ont une quantité de biomasse retirée par branche (g MF/branche) significativement différente (P<0,001). La quantité de biomasse moyenne retirée par branche est significativement plus faible pour les branches n1 (40 g MF) que pour les branches n2 (112 g MF) et que pour les branches n3 (270 g MF) (Figure 17). Ainsi, plus la taille est sévère, plus la biomasse fraîche retirée est importante.

L'intensité de taille est la quantité de biomasse retirée par volume de canopée (kg MF/m<sup>3</sup>). L'augmentation de l'intensité de taille signifie qu'il y a plus de biomasse retirée par volume de canopée. L'augmentation de la sévérité de taille (Figure 14) se traduit également par une augmentation de la biomasse retirée par branche (g MF/branche).

L'effet de la taille sur la croissance végétative et sur la floraison est donc l'effet de cette intensité et de cette sévérité de taille sur le taux, l'intensité et la dynamique de débourrement et de floraison des UC.

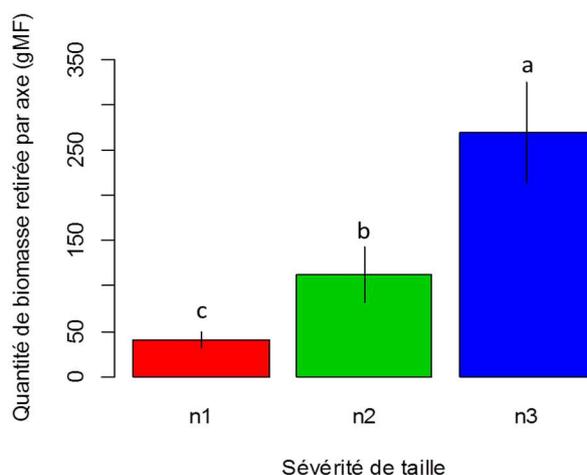


Figure 17 : Quantité de biomasse fraîche retirée par branche (g MF/branche) en fonction du facteur F2 (sévérité de taille)

Les proportions d'UC apicales et latérales ont été calculées selon les différentes modalités des facteurs F1 (T0, T1, T2 et T3) et F2 (n1, n2 et n3) (Tableau 9). L'échantillon est composé à 48.7% d'UC apicales et 51.3% d'UC latérales. Ces proportions ne sont pas significativement différentes ( $P=0,615$ ). L'échantillon est donc homogène concernant la position (apicale ou latérale) des UC échantillonnés. De même, les proportions d'UC apicales et latérales dans l'échantillon ne sont pas significativement différentes ( $P=0,087$ ) entre les modalités du facteur F1. L'échantillonnage est donc homogène pour la position (apicale ou latérale) des UC selon les modalités du facteur F1. Par contre, les proportions d'UC apicales et latérales sont significativement différentes ( $P<0,001$ ) entre les modalités du facteur F2. Les modalités n1 et n2 ont des proportions d'UC apicales et latérales significativement différentes de la modalité n3.

Tableau 9 : Proportions (%) d'UC apicales et latérales selon les modalités du facteur F1 (intensité de taille ; groupe a) et du facteur F2 (sévérité de taille ; groupes A et B)

	Global	Facteur F1 (intensité de taille)				Facteur F2 (sévérité de taille)		
		T0	T1	T2	T3	n1	n2	n3
UC apicales	48,7	57,5 (a)	41,7 (a)	50,0 (a)	45,8 (a)	40,6 (B)	40,6 (B)	65,0 (A)
UC latérales	51,3	42,5 (a)	58,3 (a)	50,0 (a)	54,2 (a)	59,4 (B)	59,4 (B)	35,0 (A)

Les fréquences d'UC apicales et latérales ont ensuite été calculées selon les arbres (Tableau 10). Au moins un arbre a une proportion d'UC apicales significativement différente ( $P<0,05$ ) d'un autre arbre.

Tableau 10 : Fréquences d'UC apicales et latérales par arbre

Arbres	A11	A13	A14	C12	C9	D11	D13	F12	F13	F14	F15	G12	G15	G16	G5	G6
UC apicales	0,37	0,47	0,53	0,33	0,57	0,37	0,57	0,57	0,53	0,6	0,43	0,47	0,63	0,27	0,4	0,7
UC latérales	0,63	0,53	0,47	0,67	0,43	0,63	0,43	0,43	0,47	0,4	0,57	0,53	0,37	0,73	0,6	0,3

Le diamètre moyen au point de coupe est significativement différent ( $P<0,001$ ) selon les modalités n1, n2 et n3 du facteur F2. Il est de 7,0 mm pour les UC n1, de 9,8 mm pour les UC n2 et de 13,4 mm pour les UC n3 (Figure 18).

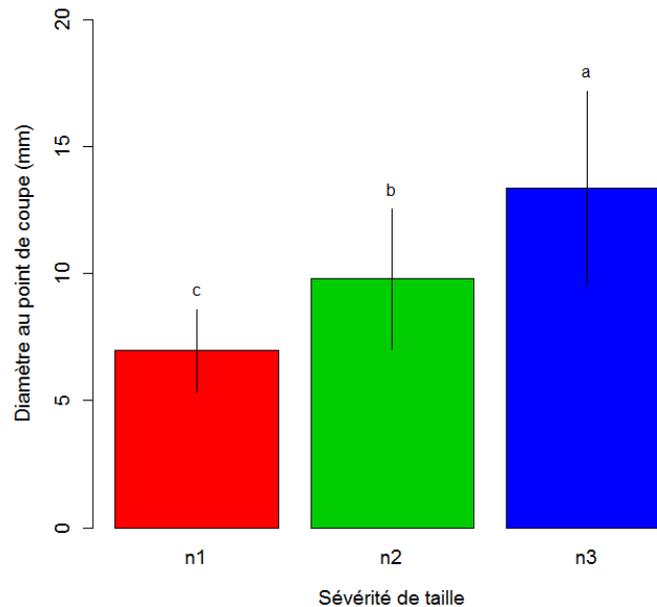


Figure 18 : Diamètre au point de coupe (mm) en fonction du facteur F2 (sévérité de taille)

### 1.1.2 Caractérisation des UC terminales non taillées

Les UC terminales non taillées en position apicale ont un diamètre (mm) significativement plus important ( $P < 0,001$ ) que les UC terminales non taillées en position latérale. Le diamètre moyen des UC terminales non taillées en position apicale est de 5,2 mm et celui des UC terminales non taillées en position latérale de 4,2 mm (Figure 19).

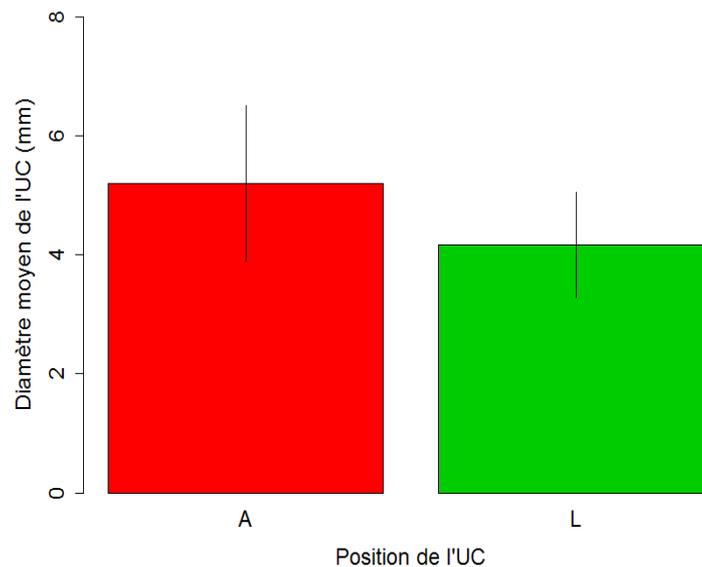


Figure 19 : diamètre moyen des UC non taillées (terminales) en fonction de leur position

Les proportions de jeunes et de vieilles UC sont significativement différentes ( $P < 0,001$ ) : il y a 67% de jeunes UC et 23% de vieilles UC. Les proportions de jeunes et de vieilles UC ne varient pas significativement ( $P = 0,770$ ) avec la position (latérale ou apicale) de l'UC qui de 66,3% pour les jeunes UC et de 33,7% pour les vieilles UC pour la position apicale. Ces proportions sont respectivement de 67,9% et 32,1% pour la position latérale.

### 1.1.3 Caractérisation des UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison

Les proportions d'UC apicales et latérales de l'échantillon ne sont pas significativement différentes ( $P = 0,922$ ) : il y a 49,8% d'UC apicales et 50,2% d'UC latérales (Tableau 11).

Tableau 11 : Proportions d'UC apicales et latérales (groupes a, b et c), et proportions de réitérations et d'UC issues de croissance séquentielle (groupes A et B) en fonction du facteur F1 (intensité de taille)

		Global	Facteur F1 (intensité de taille)			
			T0	T1	T2	T3
Position de l'UC	apicale	49,8	36,7 (c)	54,6 (ab)	45,0 (bc)	62,9 (a)
	latérale	50,2	63,3 (c)	45,4 (ab)	55,0 (bc)	37,1 (a)
Nature de l'UC	réitération	8,7	0,0 (B)	2,1 (B)	10,8 (A)	22,1 (A)
	séquentielle	91,3	100,0 (B)	97,9 (B)	89,2 (A)	77,9 (A)

Il y a une différence significative ( $P < 0,001$ ) entre la position des UC échantillonnées selon les modalités du facteur F1. Trois groupes sont significativement différents : T0 et T2 ; T1 et T2 ; T1 et T3 (Tableau 11).

Concernant la nature des UC échantillonnées, la proportion d'UC issues de réitérations (8,7%) est significativement différente ( $P < 0,001$ ) de la proportion d'UC issues de croissance séquentielle (91,3%) (Tableau 10). L'échantillon n'est donc pas homogène concernant la nature des UC. La nature des UC est aussi significativement différente ( $P < 0,001$ ) selon l'intensité de taille : les arbres des modalités T1 et T2 ont des proportions de réitérations significativement plus faibles que celles des arbres des modalités T2 et T3.

## 1.2 Effet de la taille sur la croissance végétative

### 1.2.1 Effet de la taille sur le taux de débourrement

Le taux de débourrement correspond au rapport entre le nombre d'UC échantillonnées qui ont débourré et le nombre total d'UC échantillonnées, qui est ici de 30 pour les UC taillées (10 UC n1, 10 UC n2 et 10 UC n3) et pour les UC terminales non taillées (15 UC apicales et 15 UC latérales).

#### 1.2.1.1 Effet de la taille sur le taux de débourrement des UC taillées

Le taux de débourrement en fonction de l'arbre est représenté sur la Figure 20 pour les UC taillées. Les arbres sont regroupés par les différentes modalités du facteur F1 (intensité de taille). Seule la modalité T0 n'est pas représentée, puisque n'étant pas taillé, il n'y a pas eu de débourrement de réitérations. A première vue, le taux de débourrement est plutôt hétérogène entre les arbres de la modalité T1 et de la modalité T2 (Figure 20-A et B), allant respectivement de 43 à 90% et de 50 à 100%. A l'inverse, les taux de débourrement des arbres de la modalité T3 sont plus homogènes, avec des valeurs comprises entre 90 et 100% (Figure 20-C).

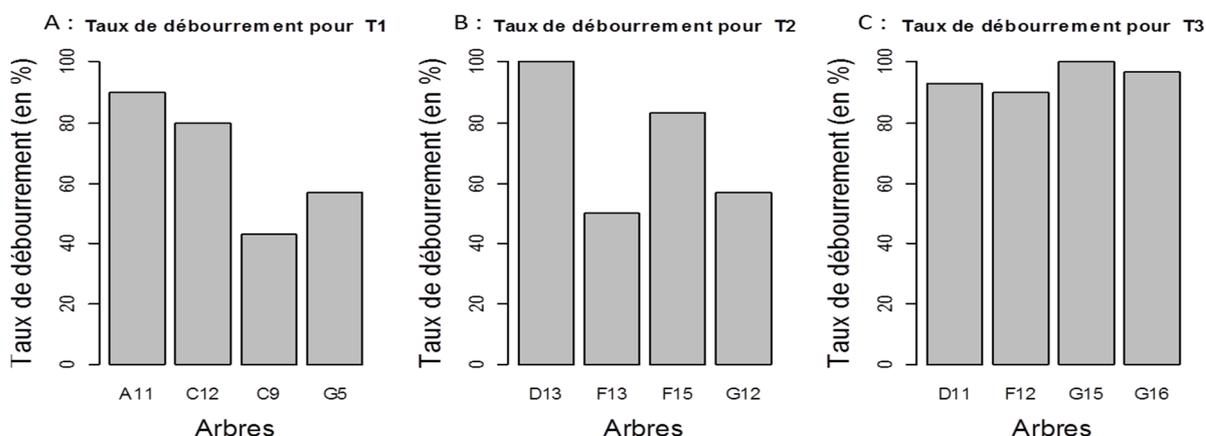


Figure 20 : Taux de débourrement (%) en fonction de l'arbre pour les modalités T1, T2 et T3 du facteur intensité de taille pour les UC taillées

Le taux de débourrement moyen des arbres pour la modalité T1 est de 67,5%, de 72,5% pour la modalité F2 et de 95,0% pour la modalité F3 (Figure 21-A). Le taux de débourrement moyen des UC taillées augmente significativement ( $P < 0,001$ ) avec le facteur F1.

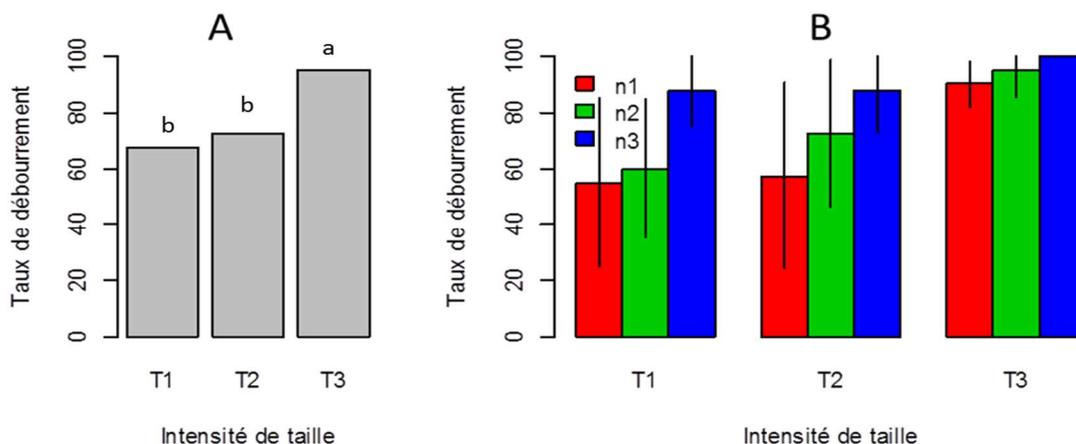


Figure 21 : Taux de débourrement moyen en fonction du facteur F1 (A) et taux de débourrement en fonction du facteur F1 pour chaque modalité du facteur F2 (B) chez les UC taillées

Le taux de débourrement moyen est de 67,5% pour la modalité n1, de 75,8% pour la modalité n2 et de 91,7% pour la modalité n3 (Figure 22-A). Le taux de débourrement augmente aussi significativement ( $P < 0,001$ ) avec la sévérité de taille. Le taux de débourrement est plus homogène entre n1, n2 et n3 pour la modalité T3 du facteur F1 que pour les modalités T1 et T2. Le taux de débourrement est aussi plus homogène entre T1, T2 et T3 pour la modalité n3 du facteur F2 que pour les modalités n1 et n2. Toutefois, l'interaction entre les facteurs F1 et F2 n'est pas significative ( $P = 0,679$ ) (Figure 21-B et Figure 22-B).

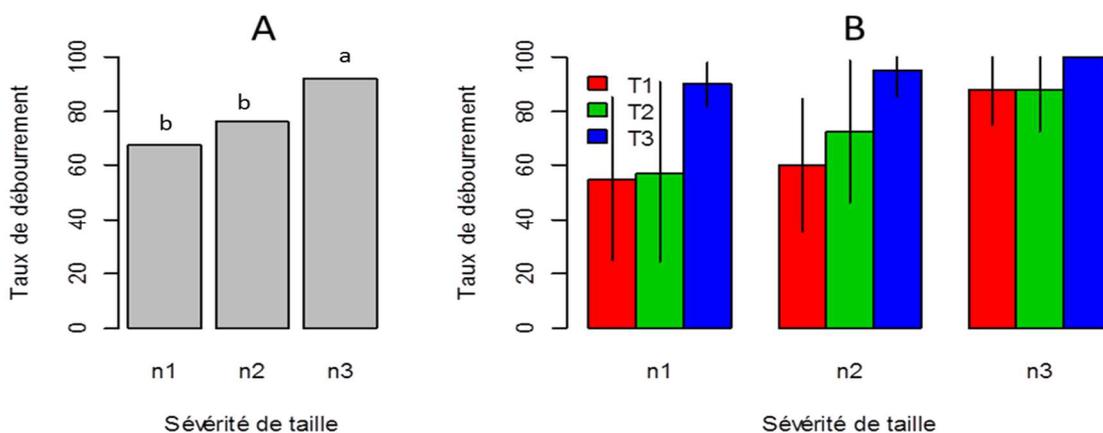


Figure 22 : Taux de débourrement moyen en fonction du facteur F2 (A) et taux de débourrement en fonction du facteur F2 pour chaque modalité du facteur F1 (B) chez les UC taillées

Ces résultats montrent que l'intensité et la sévérité de taille ont une influence sur le taux de débourrement : le taux de débourrement augmente significativement avec l'intensité de taille ( $P < 0,001$ ) et avec la sévérité de taille ( $P < 0,001$ ) (Figures 21-A et 22-A). En effet, les arbres les plus intensément taillés, et les branches les plus sévèrement taillées ont eu un taux de débourrement plus important.

#### 1.2.1.2 Effet de la taille sur le taux de débourrement des UC non taillées

Les résultats montrent un taux de débourrement très faible pour la modalité T0, de 0 à 3% (Figure 23-A). Le taux de débourrement pour les arbres de la modalité T1 est compris entre 0 et 80%, soit une très grande variabilité en fonction de l'arbre (Figure 23-B). Pour les arbres T2, il est compris entre 7 et 63% (Figure 23-C). Enfin, les arbres de la modalité

T3 ont une moins grande variabilité puisque leur taux de débourrement est compris entre 57 et 83% (Figure 23-D).

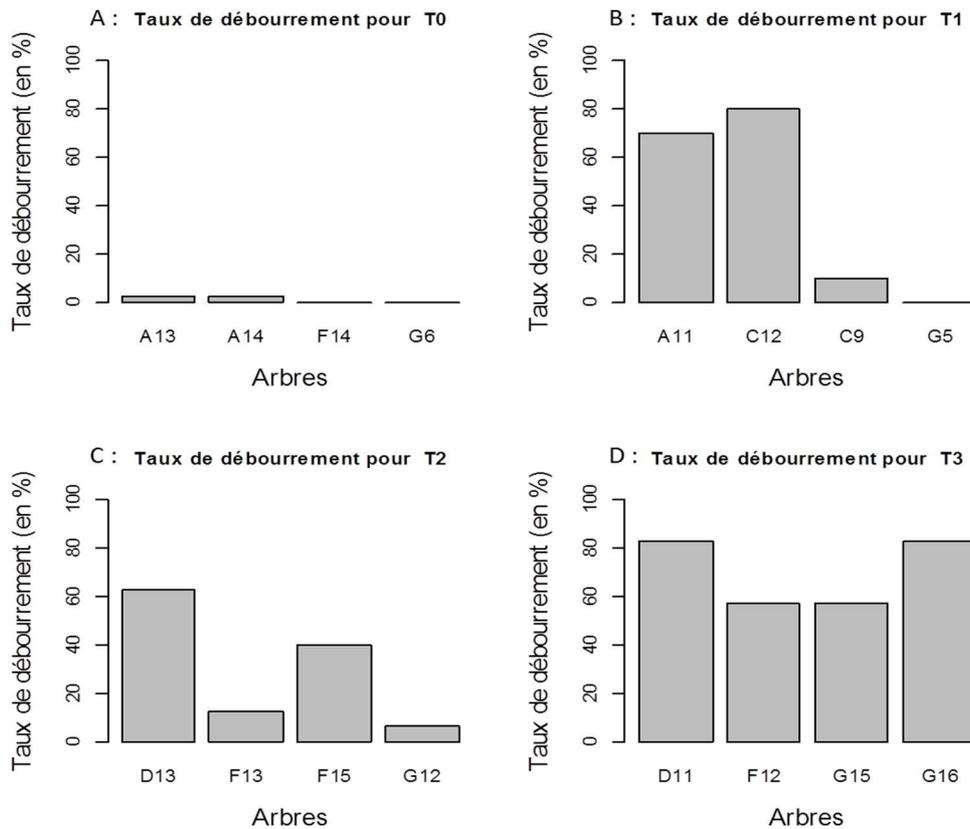


Figure 23 : Taux de débourrement (%) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 pour les UC terminales non taillées

Le taux de débourrement moyen est de 40,0% pour les arbres T1, de 30,8% pour les arbres T2 et de 70,0% pour les arbres T3 (Figure 24-A). Le taux de débourrement des UC terminales non taillées est significativement différent ( $P < 0,001$ ) selon les modalités du facteur F1 : il n'est pas significativement différent ( $P = 0,299$ ) entre T1 et T2, mais celui de T3 est significativement différent ( $P < 0,001$ ) des modalités T1 et T2.

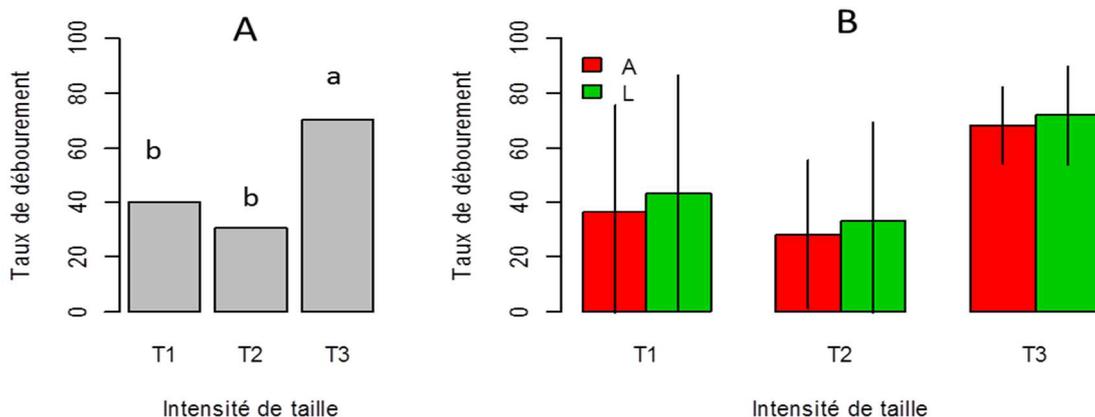


Figure 24 : Taux de débourrement moyen (%) en fonction du facteur F1 (A) et taux de débourrement (%) en fonction du facteur F1 pour les positions de l'UC (B) chez les UC terminales non taillées

Le taux de débourrement moyen, de 44,4% pour les UC terminales non taillées en position apicale, et de 49,4% pour les UC terminales non taillées en position latérale, n'est pas significativement différent ( $P = 0,313$ ) en fonction de la position de l'UC (Figure 25-A).

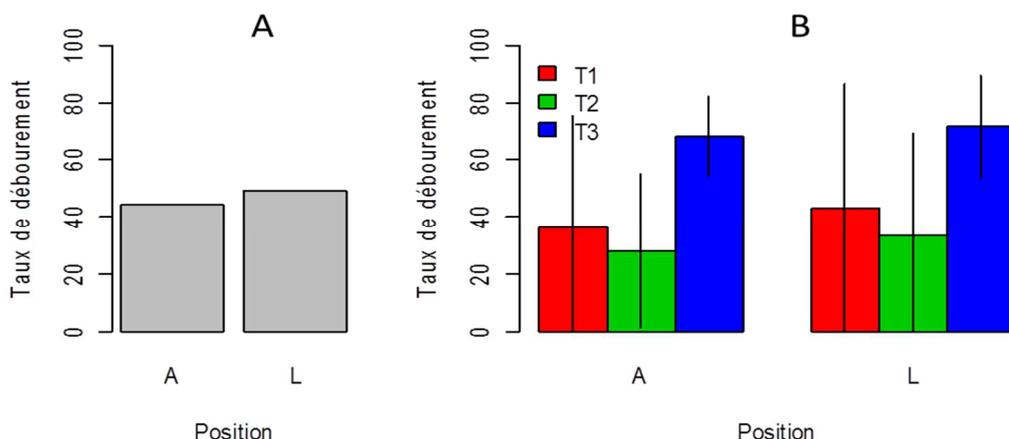


Figure 25 : Taux de débourrement moyen (%) en fonction de la position de l'UC mère (A) et taux de débourrement (%) en fonction de la position de l'UC pour chaque modalité du facteur F1 (B) chez les UC terminales non taillées

L'interaction entre la position de l'UC mère et le facteur F1 sur le taux de débourrement des UC taillées n'est pas significative ( $P=0,976$ ) (Figure 24-B et Figure 25-B).

Les résultats de l'essai 1 ont bien révélé un effet de la taille sur le taux de débourrement : plus l'intensité de taille est élevée, plus les UC, qu'elles soient taillées ou non, ont débourré. Les UC taillées, dont la sévérité de taille est la plus élevée (branche n3), sont les UC qui ont le plus débourré. L'intensité et la sévérité de taille favorisent donc le débourrement des UC végétatives.

## 1.2.2 Effet de la taille sur l'intensité de débourrement

### 1.2.2.1 Effet de la taille sur l'intensité de débourrement des UC taillées

L'intensité de débourrement, correspondant au nombre d'UC filles par UC mère ayant débourrée, n'est pas significativement différente ( $P=0,296$ ) selon le facteur F1. L'intensité de débourrement moyenne est de 3,4 UC filles par UC mère pour la modalité T1, de 3,1 UC filles par UC mère pour la modalité T2 et de 3,4 UC filles par UC mère pour la modalité T3 (Figure 26-A).

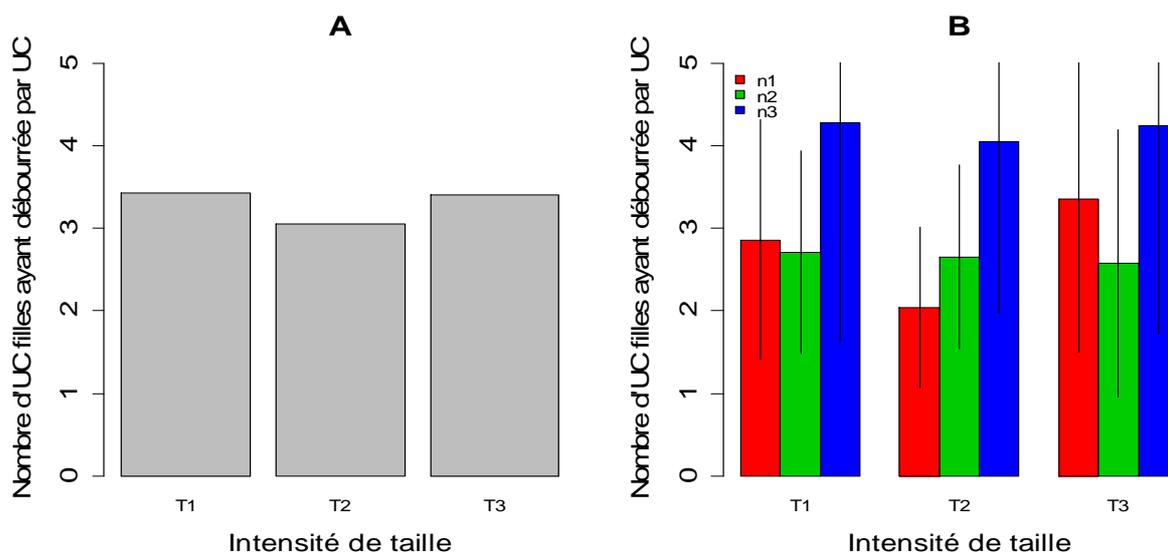


Figure 26 : Intensité de débourrement moyenne (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F1 (A) et intensité de débourrement (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F1 pour les modalités du facteur F2 (B) pour les UC taillées

L'intensité de débourrement est significativement différente ( $P<0,001$ ) selon les modalités n1, n2 et n3 du facteur F2 : l'intensité de débourrement n'est pas significativement

différente ( $P=0,700$ ) entre les modalités n1 et n2, mais est significativement différente ( $P<0,001$ ) entre la modalité n3 et les deux autres modalités du facteur F2. L'intensité de débourement moyenne est de 2,9 UC filles par UC mère pour la modalité n1, de 2,6 UC filles par UC mère pour la modalité n2 et de 4,2 UC filles par UC mère pour la modalité n3 (Figure 27-A). Toutefois l'interaction entre le facteur F1 et le facteur F2 n'est pas significative ( $P=0,168$ ) (Figure 26-B et Figure 27-B).

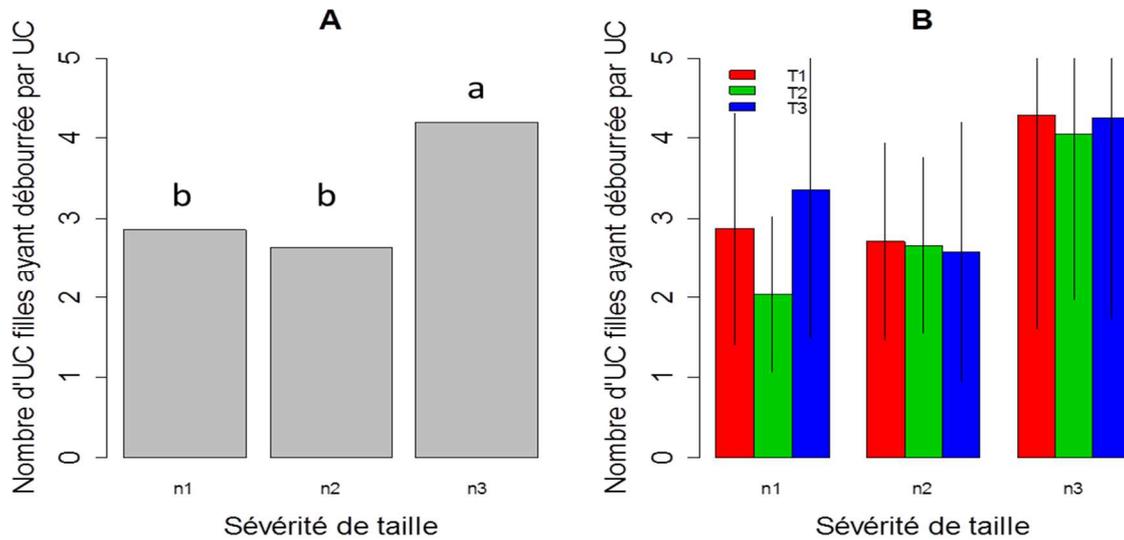


Figure 27 : Intensité de débourement moyenne (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F2 (A) et intensité de débourement (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F2 pour les modalités du facteur F1 (B) pour les UC taillées

#### 1.2.2.2 Effet de la taille sur l'intensité de débourement des UC terminales non taillées

L'intensité de débourement moyenne la plus élevée est celle des UC terminales non taillées en position apicale pour les arbres T1 : elle est de presque 2 UC filles par UC mère (Figure 28). Les intensités de débourement moyenne des autres UC terminales non taillées, en position apicale ou latérale, de modalité T0, T2 ou T3, sont inférieures à 1,5 UC filles par UC mère. L'intensité de débourement n'est pas significativement différente ( $P=0,719$ ) selon les modalités du facteur F1 et elle n'est pas significativement différente ( $P=0,124$ ) selon la position, apicale ou latérale, de l'UC mère.

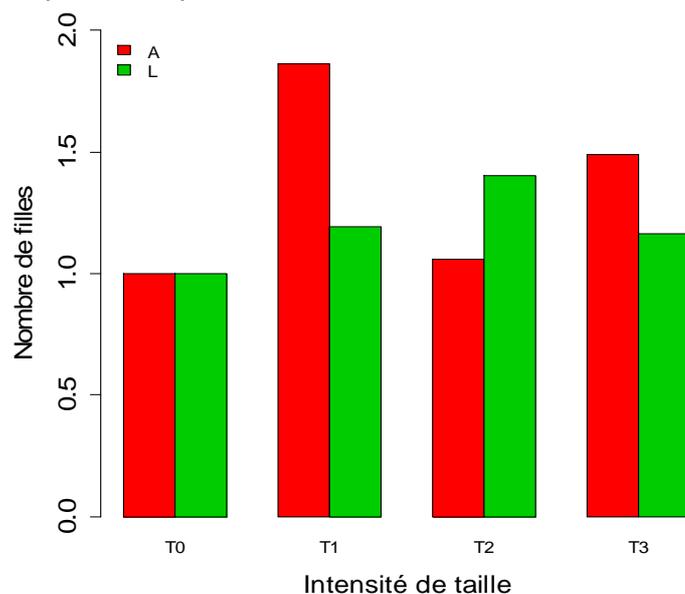


Figure 28 : Intensité de débourement (nombre d'UC filles par UC mère) en fonction du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC terminales non taillées

Les résultats de l'étude ont montré que l'intensité de taille n'a pas eu d'effet sur l'intensité de débourrement (Figures 26-A et 28). La position des UC terminales n'a pas non plus eu d'effet sur l'intensité de débourrement des UC (Figure 28). Par contre, la sévérité de taille joue un rôle dans l'intensité de débourrement des UC : en effet, les UC taillées ont une intensité de débourrement toujours supérieure à 2 UC filles par UC mère, alors que les UC terminales non taillées ont une intensité de débourrement toujours inférieure à 2 UC filles par UC mère. De plus, les branches taillées plus sévèrement (branches n3) ont donné plus d'UC filles par UC mère que les branches taillées moins sévèrement (branches n1 et n2), soit plus de 4 UC filles par UC mère pour n3 et entre 2 et 3 UC filles par UC mère pour n1 et n2 (Figure 27-A). La sévérité de taille augmente donc l'intensité de débourrement.

### 1.2.3 Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC

#### 1.2.3.1 Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC taillées

La dynamique de débourrement, c'est-à-dire la fréquence de débourrement des UC végétatives en fonction de la date (en jour julien), est présentée dans la Figure 29 pour les UC taillées. Les arbres T3 ont un seul flush de croissance végétative et finissent cette croissance végétative plus tôt que les arbres T1 et T3 (Figure 29-A). Les arbres T1 et T2 ont deux flushs de floraison. Concernant le facteur F2, toutes les modalités subissent deux flushs de croissance végétative, et leur fréquence de débourrement est plutôt homogène les unes par rapport aux autres (Figure 29-B).

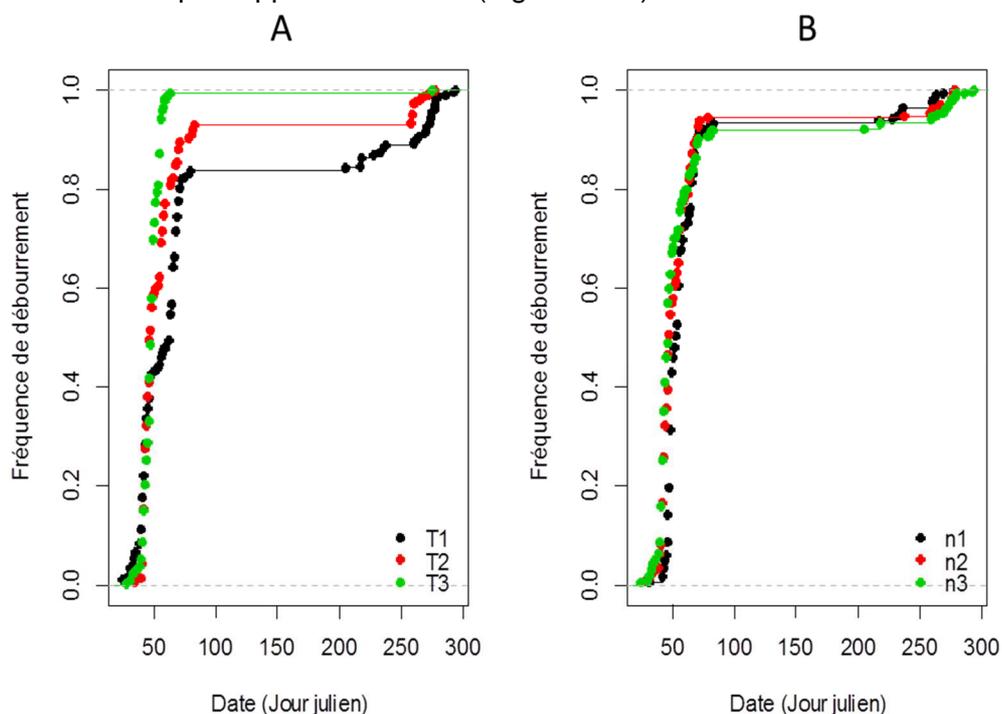


Figure 29 : Fréquence de débourrement des UC taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F1 (A) et fréquence de débourrement des UC taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F2 (B)

#### 1.2.3.2 Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC terminales non taillées

Les arbres T2 et T3 ont un seul flush de croissance végétative, et le débourrement des UC végétatives dure entre 25 et 30 jours (Figure 30-A). Les arbres T1 ont un deuxième flush de croissance végétative, bien après le premier, environ au 290<sup>ème</sup> jour. Il ne semble pas y avoir de différence entre le débourrement des UC issues d'UC mères en position apicale ou latérale (Figure 30-B).

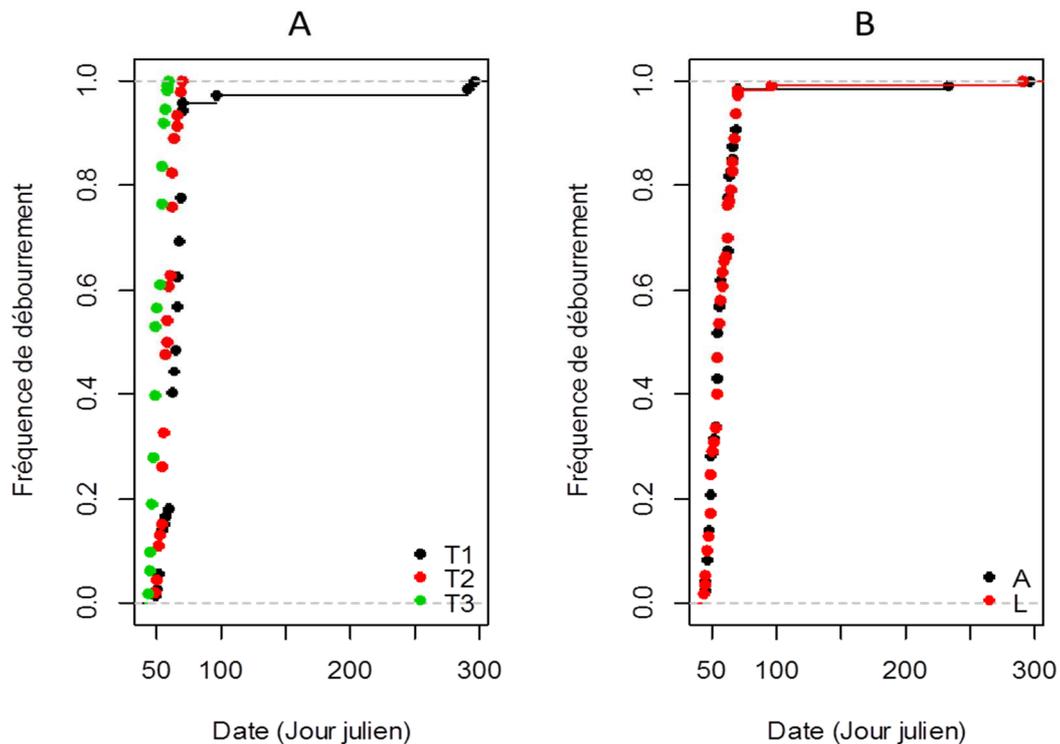


Figure 30 : Fréquence de débournement des UC terminales non taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F1 (A) et fréquence de débournement des UC terminales non taillées en fonction de la date (jour julien) pour les positions (A : apicale et L : latérale) des UC mères (B)

L'intensité de taille semble donc avoir un effet sur la dynamique de débournement des UC végétatives.

### 1.3 Effet de la taille sur la floraison

#### 1.3.1 Effet de la taille sur le taux de floraison

##### 1.3.1.1 Effet de la taille sur le taux de floraison global des arbres

Le taux de floraison correspond au nombre d'UC florifères sur le nombre total d'UC. La Figure 31 présente le taux de floraison en fonction de l'arbre et pour chaque modalité du facteur intensité de taille. Le taux de floraison est significativement différent ( $P < 0,001$ ) selon le facteur F1. Le taux de floraison pour les arbres T0 est significativement différent des taux de floraison des arbres T1 ( $P < 0,01$ ), T2 ( $P < 0,05$ ) et T3 ( $P < 0,001$ ). Les taux de floraison des arbres T1, T2 et T3 ne sont pas significativement différents entre eux ( $P_{T1-T2} = 0,961$  ;  $P_{T1-T3} = 0,426$  et  $P_{T2-T3} = 0,186$ ). Trois des arbres de la modalité T0 (A13, F14 et G6) ont un taux de floraison supérieur à 80%, ainsi qu'un arbre de la modalité T1 (G5) (Figure 31-A et B). Les arbres des modalités T2 et T3 ont tous un taux de floraison inférieur à 80% (Figure 31-C et D). Le taux de floraison moyen pour la modalité T0 est supérieur aux taux de floraison moyen pour les modalités T1, T2 et T3.

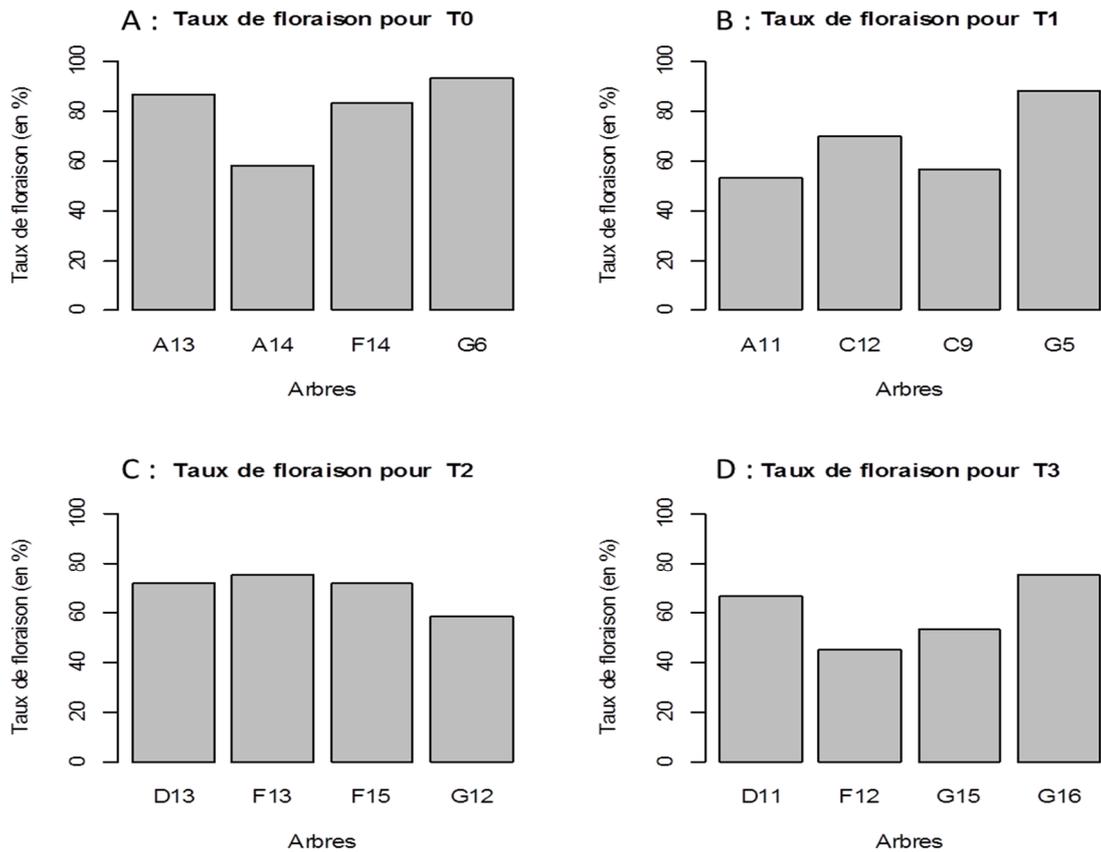


Figure 31 : Taux de floraison (%) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B) ; la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison

### 1.3.1.2 Effet de la taille sur le taux de floraison des UC filles des UC taillées

Le taux de floraison est significativement différent ( $P < 0,001$ ) selon les modalités du facteur F1. Les modalités T1 et T3 ont des taux de floraison significativement différents ( $P < 0,01$ ). Le taux de floraison de la modalité T2 n'est pas significativement différent des modalités T1 ( $P = 0,471$ ) et T3 ( $P = 0,140$ ). Le taux de floraison des UC filles des UC taillées est inférieur à 20% pour les arbres de la modalité T1 (Figure 32-A). Il varie de 3% à 26% pour les arbres de la modalité T2, et de 17% à 54% pour les arbres de la modalité T3 (Figure 32-B et C).

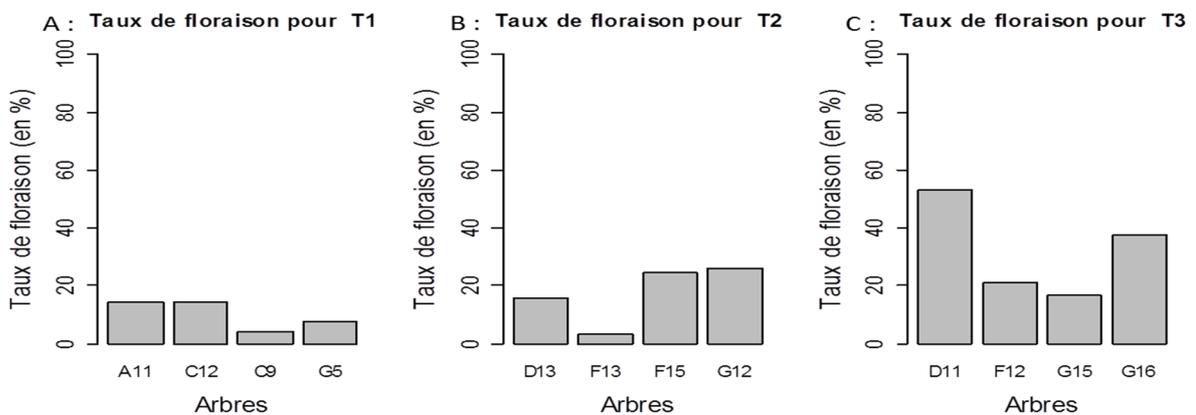


Figure 32 : Taux de floraison (%) en fonction des arbres pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité T3 (C) du facteur F1 pour les UC filles des UC taillées

Le taux de floraison des UC filles des UC taillées est significativement différent ( $P < 0,001$ ) selon les modalités du facteur F2. Les modalités n1 et n2, dont le taux de floraison varie

respectivement de 18 à 29% (Figure 33-A) et de 13 à 29% (Figure 33-B), n'ont pas des taux de floraison significativement différent ( $P=0,478$ ), mais le taux de floraison de la modalité n3, qui varie de 1 à 16% (Figure 33-C), est significativement différent de celui de la modalité n1 ( $P<0,001$ ) et de la modalité n2 ( $P<0,001$ ).

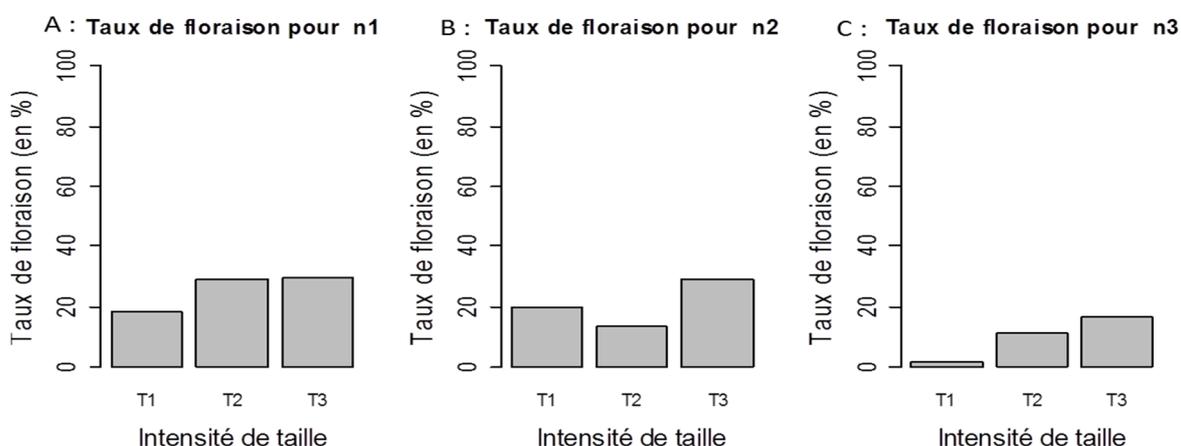


Figure 33 : Taux de floraison (%) en fonction du facteur F1 pour la modalité n1 (A), la modalité n2 (B) et la modalité n3 (C) du facteur F2 pour les UC filles des UC taillées

### 1.3.1.3 Effet de la taille sur le taux de floraison des UC filles des UC terminales non taillées

Le taux de floraison n'est pas significativement différent ( $P=0,412$ ) selon les modalités du facteur F1. Le taux de floraison des UC filles des UC terminales non taillées arbres T1 C9 et G5 est de 0%, alors que celui des autres arbres T1 A11 et C12 avoisine les 40% (Figure 34-A). Le taux de floraison des UC filles des UC terminales non taillées est compris entre 40 et 50% pour les arbres T2 (Figure 34-B) et entre 30 et 40% pour les arbres T3 (Figure 34-C).

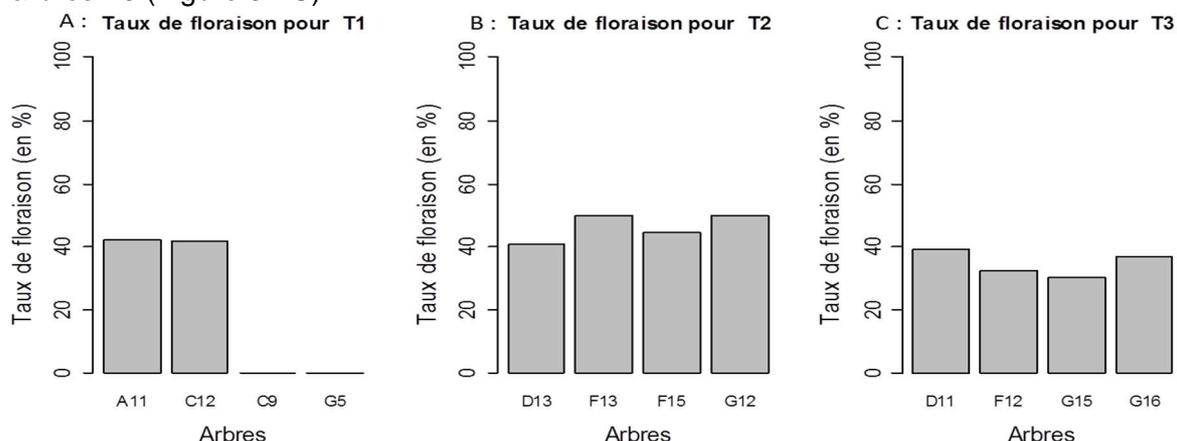


Figure 34 : Taux de floraison (%) en fonction des arbres pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité T3 (C) du facteur F1 pour les UC filles des UC terminales non taillées

D'une manière globale, les arbres non taillés (T0) ont le plus fleuri et il n'y a pas eu de distinction entre les autres arbres (T1, T2 et T3). L'intensité de taille a diminué le taux de floraison. L'intensité de taille favorise le taux de débourrement des UC végétatives.

## 1.3.2 Effet de la taille sur l'intensité de floraison

### 1.3.2.1 Effet de la taille sur l'intensité de floraison globale des arbres

Il y a un effet significatif du facteur F1 sur l'intensité de floraison ( $P<0,001$ ) : tous les arbres T1, T2 et T3 ont une intensité de floraison environ égale à 1 inflorescence par UC (Figure 35-B, C et D) alors que trois arbres (A13, A14 et F14) de la modalité T0 ont une

intensité moyenne de floraison légèrement supérieure à 1 inflorescence par UC, et qu'un arbre T0 (G6) a une intensité moyenne proche de 2,5 inflorescences par UC (Figure 35-A).

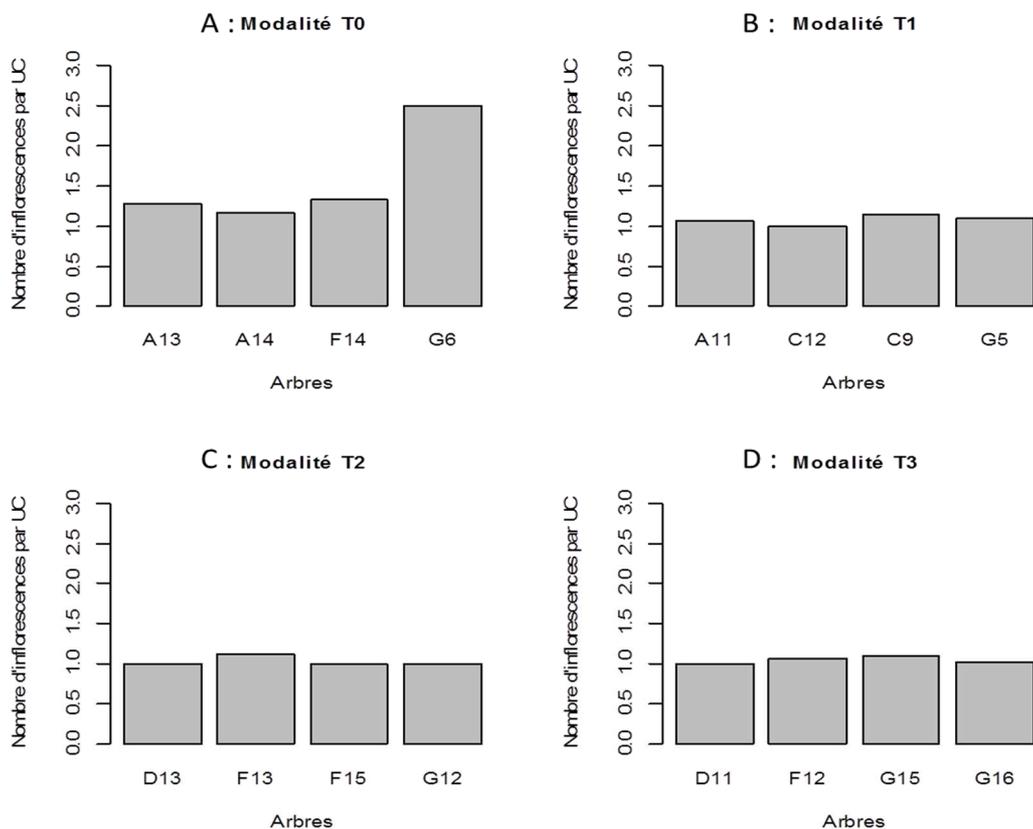


Figure 35 : Intensité de floraison (nombre d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison

L'intensité de floraison pour les arbres T0 est significativement différente des intensités de floraison des arbres T1 ( $P < 0,001$ ), T2 ( $P < 0,001$ ) et T3 ( $P < 0,001$ ). Les intensités de floraison des arbres T1, T2 et T3 ne sont pas significativement différentes entre elles ( $P_{T1-T2} = 0,978$  ;  $P_{T1-T3} = 0,992$  et  $P_{T2-T3} = 1,000$ ).

### 1.3.2.2 Effet de la taille sur l'intensité de floraison des UC taillées et de leurs UC filles

L'intensité de floraison n'est pas significative différente ( $P = 0,130$ ) entre les modalités du facteur F1 pour les UC taillées et leurs UC filles : les arbres des modalités T1 et T2 ont un nombre moyen d'inflorescences par UC qui varie de 1 inflorescence par UC à plus de 2,5 inflorescences par UC (Figure 36-A et B), et seuls les arbres de la modalité T3 ont un nombre moyen d'inflorescences par UC égal à 1 (Figure 36-C).

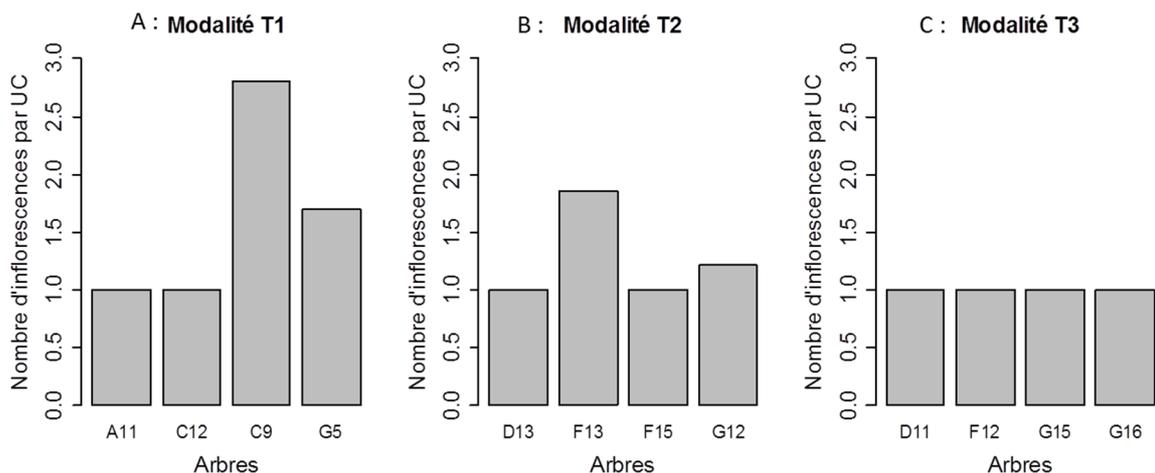


Figure 36 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité (C) du facteur F1 pour les UC taillées et leurs UC filles

L'intensité de floraison n'est pas significativement différente entre les modalités du facteur F2 ( $P=0,603$ ). Elle varie, pour les UC taillées et leurs UC filles, de plus d'1,5 inflorescence par UC à 1 inflorescence par UC pour la modalité n1 (Figure 37-A). Pour la modalité n2, elle est environ égale à 1 inflorescence par UC, peu importe les modalités d'intensité de taille (Figure 37-B). L'intensité de floraison pour les UC taillées et leurs UC filles varie de plus d'1 inflorescence par UC à 1 inflorescence par UC pour la modalité n3 (Figure 37-C).

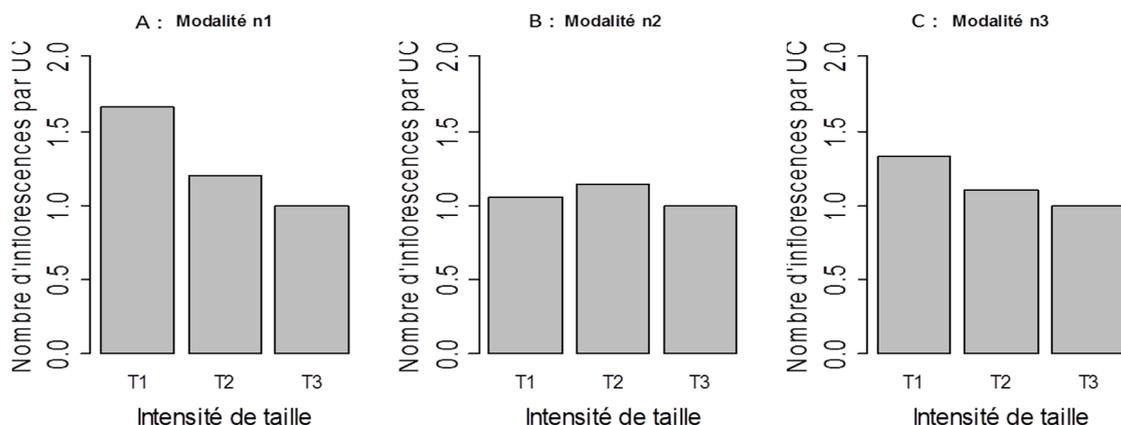


Figure 37 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction du facteur F1 pour la modalité n1 (A), la modalité n2 (B) et la modalité n3 (C) du facteur F2 pour les UC taillées et leurs UC filles

### 1.3.2.3 Effet de la taille sur l'intensité de floraison des UC terminales non taillées et de leurs UC filles

L'intensité de floraison est significativement différente entre les modalités du facteur F1 ( $P<0,01$ ). Concernant les UC terminales non taillées, le nombre moyen d'inflorescences par UC est plus élevé chez les arbres de la modalité T0 où il est toujours supérieur à 1, et va jusqu'à plus de 2 inflorescences par UC pour l'arbre G6 (Figure 38-D). L'intensité de floraison moyenne est environ égale à 1 chez les arbres T1, T2 et T3 (Figure 38-A, B et C).

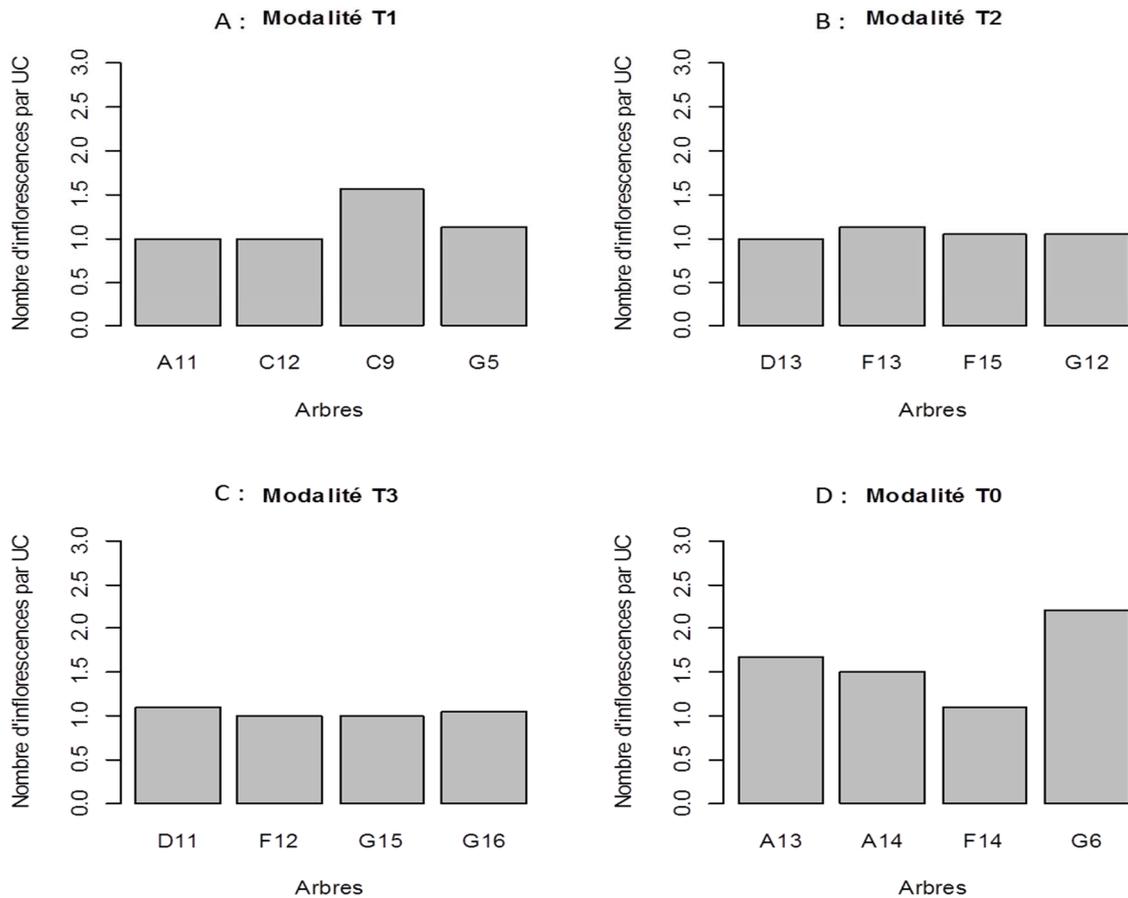


Figure 38 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour les modalités du facteur F1 pour les UC terminales non taillées et leurs UC filles

L'intensité de floraison des arbres de la modalité T0 est significativement différente de l'intensité de floraison des arbres de la modalité T1 ( $P < 0,05$ ), des arbres de la modalité T2 ( $P < 0,01$ ) et des arbres de la modalité T3 ( $P < 0,01$ ). Les intensités de floraison des arbres T1, T2 et T3 ne sont pas significativement différentes entre elles ( $P_{T1-T2} = 0,964$  ;  $P_{T1-T3} = 0,910$  et  $P_{T2-T3} = 0,996$ ). L'intensité de floraison n'est pas significativement différente selon la position de l'UC florifère ( $P = 0,114$ ).

Les arbres T0, ont une intensité de floraison plus élevée au niveau global que les arbres T1, T2 et T3. L'intensité de taille a donc aussi un effet annihilateur sur l'intensité de floraison. Il n'y a pas d'effet de l'intensité et de la sévérité de taille sur l'intensité de floraison des UC taillées et de leurs filles et les variations d'intensité de taille sur ces UC sont dues à des facteurs intrinsèques à l'arbre.

### 1.3.3 Effet de la taille sur la dynamique de floraison

La dynamique de floraison des UC échantillonnées pour le suivi global est représentée dans la Figure 39. Pour la modalité T0, la floraison est composée d'un seul flush, et s'étale du 1er juillet au 31 août (Figure 39-A). Les floraisons des modalités T1, T2 et T3 sont plus étalées dans le temps. Deux arbres de la modalité T1, C9 et C12, ont un seul flush de floraison et celle-ci commence en juillet et se termine vers mi-août tandis que les A11 et G5 ont deux flushs de floraison, qui s'étalent du 1er juillet au 5 octobre (Figure 39-B). Le deuxième flush de floraison est toutefois moins important que le premier, puisque 60 à 80% de la floraison a lieu lors du premier flush. Concernant la modalité T2, tous ses arbres ont eu deux flushs de floraison, et celle-ci a commencé le 25 juillet et s'est finit le 28 septembre (Figure 39-C). Seul G16, de la modalité T3, a eu un seul flush de floraison. Les autres arbres de la modalité T3 (D11, F12 et G15) ont eu deux flushs de floraison. La floraison des arbres T3 a commencé le 2 juillet et s'est fini le 4 octobre (Figure 39-D). La

taille semble donc avoir un effet sur la dynamique de floraison des arbres : la floraison des arbres taillés est plus à même de se dérouler en deux flushs, et elle est plus étalée dans le temps.

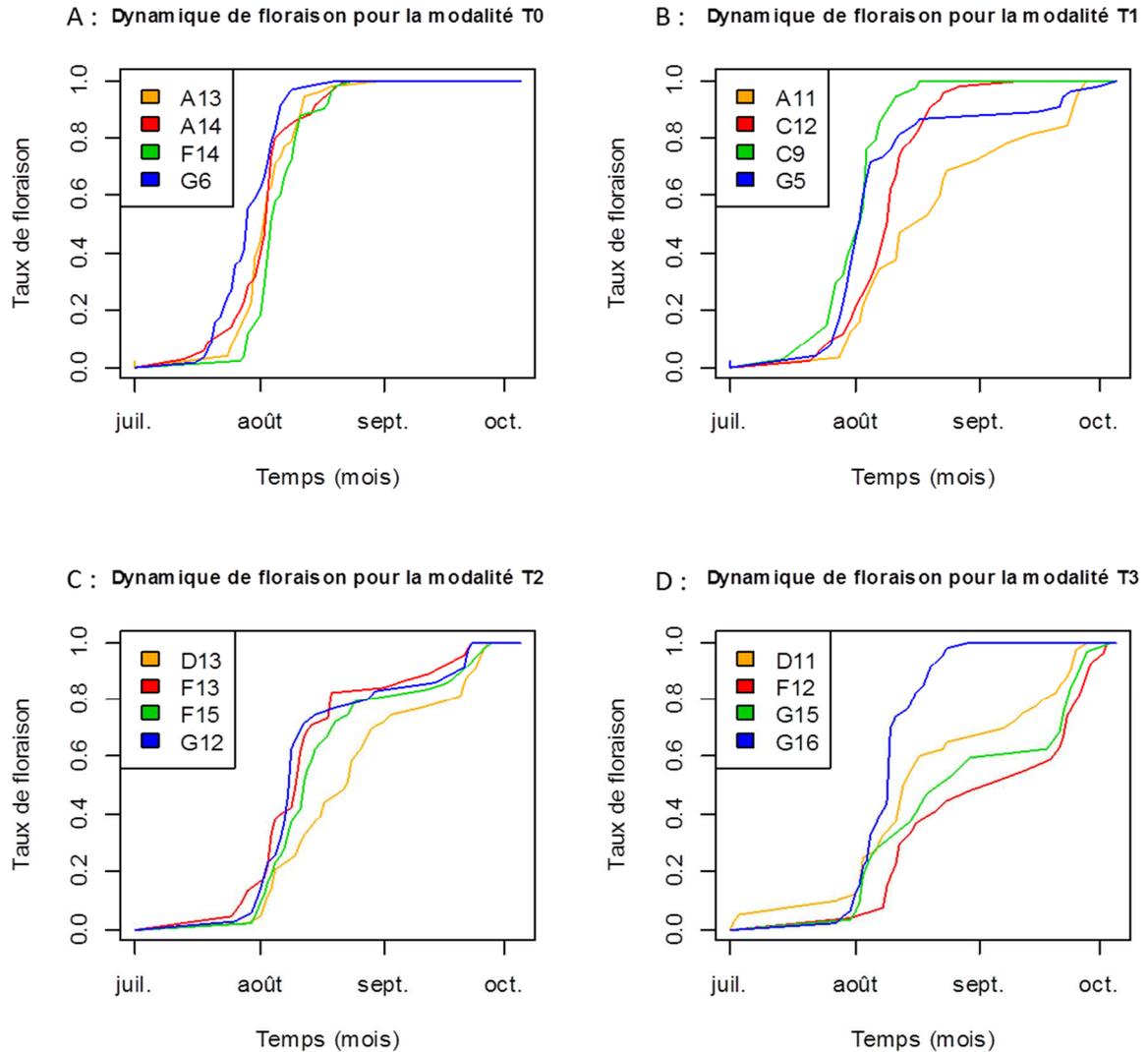


Figure 39 : Dynamique de floraison pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison

## 2 Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte

### 2.1 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des mangues des 6 arbres suivis

Le taux de croissance est le rapport entre la masse fraîche d'une mangue à un instant t et la masse fraîche finale du fruit (ici, à la date du 22 décembre 2016). Ce taux de croissance est homogène entre les 6 arbres suivis (Figure 40).

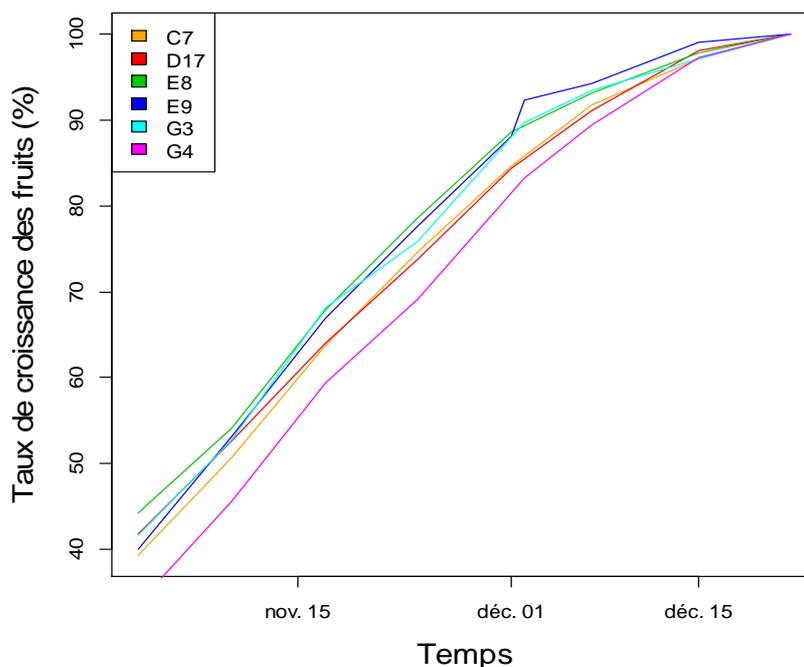


Figure 40 : Taux de croissance moyen des mangues (%) des 6 arbres suivis en fonction du temps

### 2.2 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur les caractéristiques des arbres échantillonnés à la récolte

#### 2.2.1 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le nombre de fruits récoltés et leur masse fraîche

Les fruits des 6 arbres ont été récoltés et comptabilisés (Tableau 12). Parmi les 6 arbres suivis, les arbres E8 et E9 (H : charge en fruits élevée) ont donné le plus de fruits, soit respectivement 519 et 460 fruits. L'arbre D17 (L : charge en fruits faible) a donné le moins de fruits (84 fruits). Par contre, l'arbre C7 (L : charge en fruits faible) a donné plus de fruits que l'arbre G4 (HL : charge en fruits mixte). Les charpentières à faible charge en fruits des arbres G3 et G4 ont respectivement donné 117 et 62 fruits et les charpentières à forte charge en fruits 173 et 98 fruits. Il y a eu 7, pour G3, et 2, pour G4, fruits qui sont tombés, ont été ramassés par terre et sont donc comptabilisés dans le nombre total de fruits récoltés par arbre, mais pas dans le nombre total de fruits récoltés par charpentière.

Tableau 12 : Nombre de fruits récoltés par arbre pour les arbres de l'essai pour la saison 2017

Arbre	C7	D17	E8	E9	G3	G4
Traitement HL	L	L	H	H	HL	HL
Nombre de fruits récoltés	230	84	519	460	297	162

La charge en fruits est le nombre de fruits par volume de canopée ( $m^3$ ). Dans la figure 41, la charge en fruits a été calculée en fonction du nombre de fruits récoltés. Les fruits tombés avant le 5 décembre 2016 (avant d'être au stade point jaune) n'ont pas été comptabilisés.

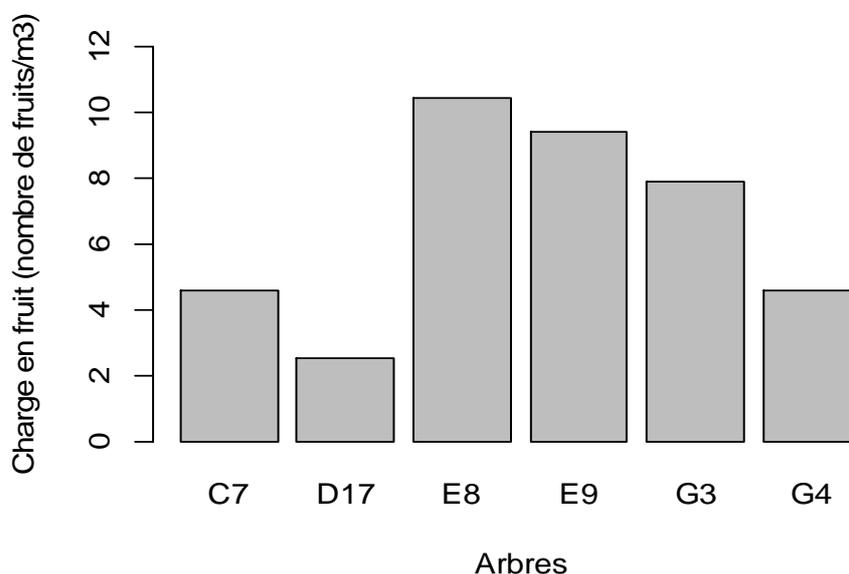


Figure 41 : Charge en fruits (nombre de fruits/ $m^3$  de canopée) en fonction de l'arbre

La masse fraîche moyenne des mangues récoltées sur les 6 arbres suivis est de 403,6 g. La masse fraîche moyenne des mangues récoltées de l'arbre C7 est de 476,2 g, la plus élevée parmi ces 6 arbres (Figure 42). La masse fraîche moyenne des fruits de l'arbre G4 est la 2<sup>ème</sup> plus élevée, avec 437,9 g. Les masses fraîches moyennes les plus basses sont celles des mangues des arbres E8 et E9 et sont respectivement de 348,4 g et de 373,7 g. Les arbres G3 et D17 ont des masses fraîches moyennes plutôt proches, respectivement de 395,8 g et de 390,0 g.

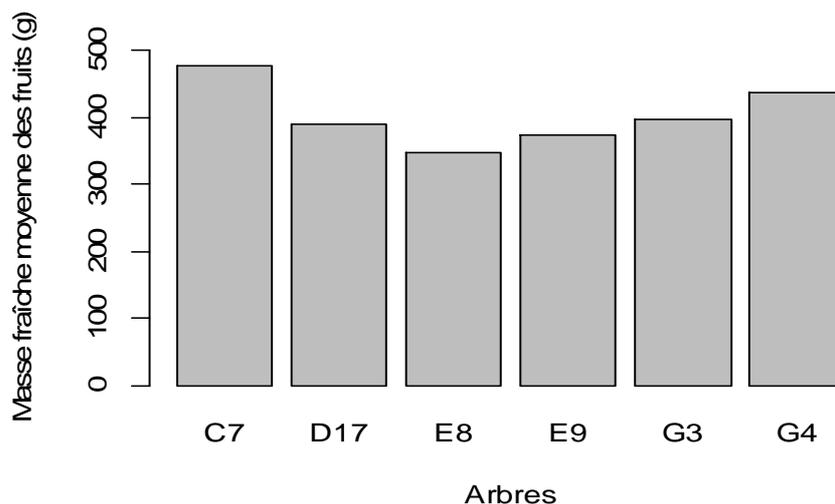


Figure 42 : Masse fraîche moyenne des mangues à la récolte (g) en fonction de l'arbre

La masse fraîche moyenne des mangues à la récolte (g) en fonction de la charge en fruits de l'arbre (nombre de fruits/ $m^3$ ) est présentée dans la Figure 43. La relation entre la masse fraîche moyenne des fruits et la charge en fruit de l'arbre n'est pas significative ( $P=0,169$ ).

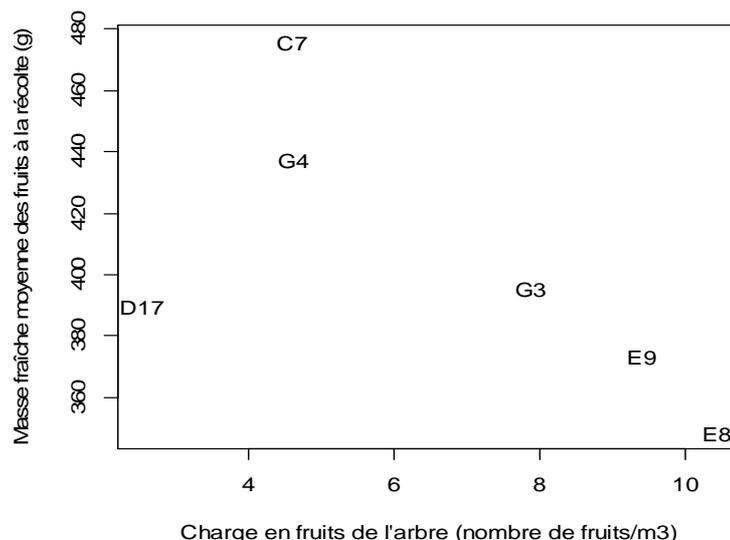


Figure 43 : Masse fraîche moyenne des mangues à la récolte (g) en fonction de la charge en fruits de l'arbre (nombre de fruits/m<sup>3</sup>)

Les arbres dont la charge en fruits initiale était la plus élevée (arbres H) ont donné le plus de fruits à la récolte (Figure 41). L'arbre qui a donné le moins de fruits est un arbre dont la charge en fruits initiale était la plus faible (arbre L). Mais il n'y a pas d'effet significatif entre la charge en fruit de l'arbre et la masse fraîche moyenne des mangues de cet arbre à la récolte (Figure 43). Toutefois, l'échantillon est composé de seulement 6 arbres, il est donc difficile de tirer des conclusions significatives.

### 2.2.2 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la dynamique de récolte

Il est possible de suivre, pour chaque arbre, la dynamique de récolte, c'est-à-dire le taux de récolte dans le temps (Figure 44). Le taux de récolte est le rapport entre le nombre de fruits récoltés à un instant  $t$  sur le nombre total de fruits récoltés. Les arbres ont eu une dynamique de récolte homogène, à l'exception de l'arbre D17. Celui-ci a eu des fruits au stade jaune plus précocement que les autres arbres, et sa récolte a commencé plus tôt (le 5 décembre 2016) et s'est fini plus tôt dans la saison (le 17 janvier 2017).

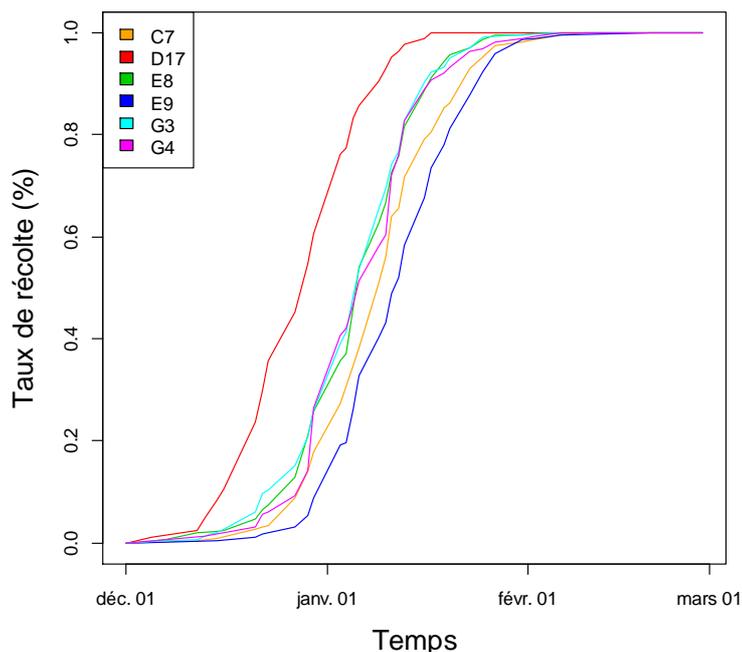


Figure 44 : Dynamique de récolte des mangues pour les 6 arbres suivis lors de l'essai 2

## 2.3 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la qualité des mangues échantillonnées à la récolte

### 2.3.1 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées à la récolte

Le facteur E3 a un effet significatif sur la masse fraîche des mangues à la récolte ( $P < 0,001$ ). La masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées à la récolte est plus faible pour la modalité branche annelée (272,7 g) (Figure 45-A) que pour la modalité branche non annelée (422,4 g) (Figure 45-B), et ce, quel que soit l'arbre. La masse fraîche moyenne la plus haute pour la modalité branche annelée est de 308,3 g (arbre C7), et la masse fraîche moyenne la plus faible pour la modalité branche non annelée est de 345,5 g (arbre D17).

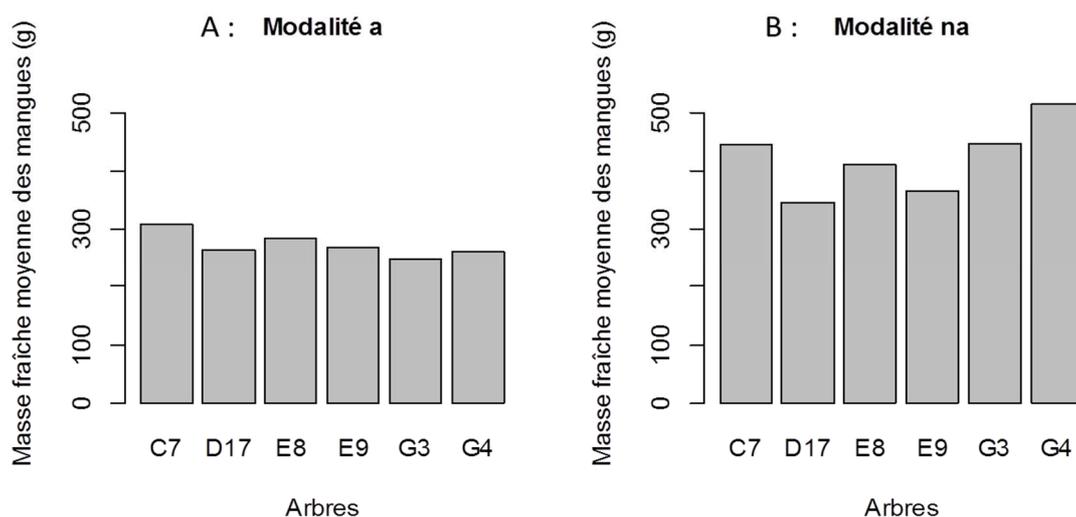


Figure 45 : Masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées récoltées (g) en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : branche annelée, na : branche non annelée)

Le facteur E1 a un effet significatif ( $P < 0,001$ ) sur la masse fraîche des mangues à la récolte. La masse fraîche moyenne des mangues issues des branches LF10 est de 335,9 g (Figure 46-A), et celle des mangues issues des branches LF100 est de 394,8 g (Figure 45-B).

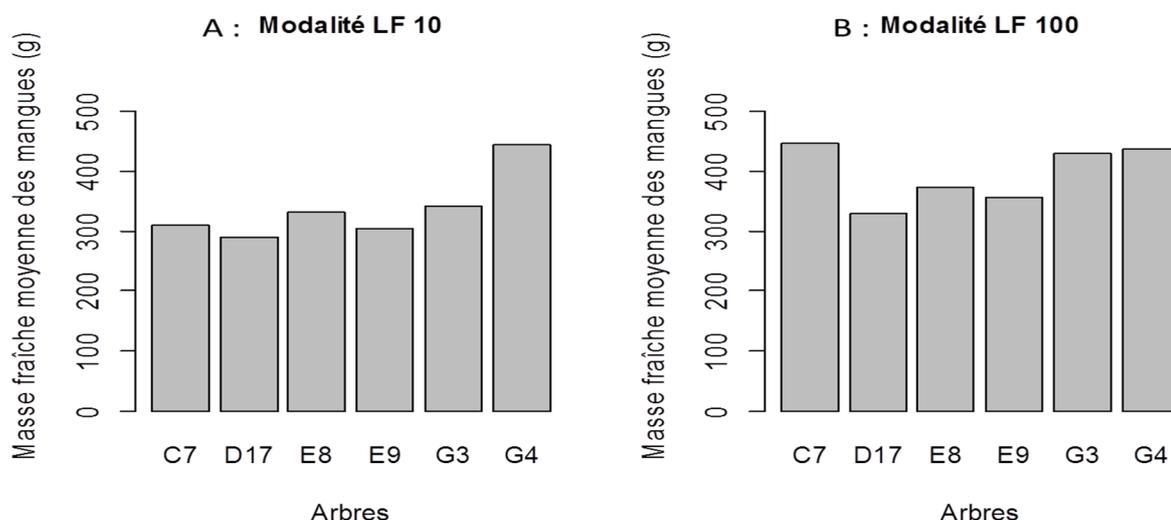


Figure 46 : Masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées récoltées (g) en fonction de l'arbre pour les modalités du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit)

L'interaction des facteurs E1 et E3 a un effet significatif ( $P < 0,05$ ) sur la masse fraîche des mangues à la récolte ( $P < 0,05$ ). La masse fraîche moyenne des mangues à la récolte n'est pas significativement différente ( $P = 0,496$ ) entre les groupes LF10 na et LF100 na, mais est significativement différente entre les autres groupes (Figure 47).

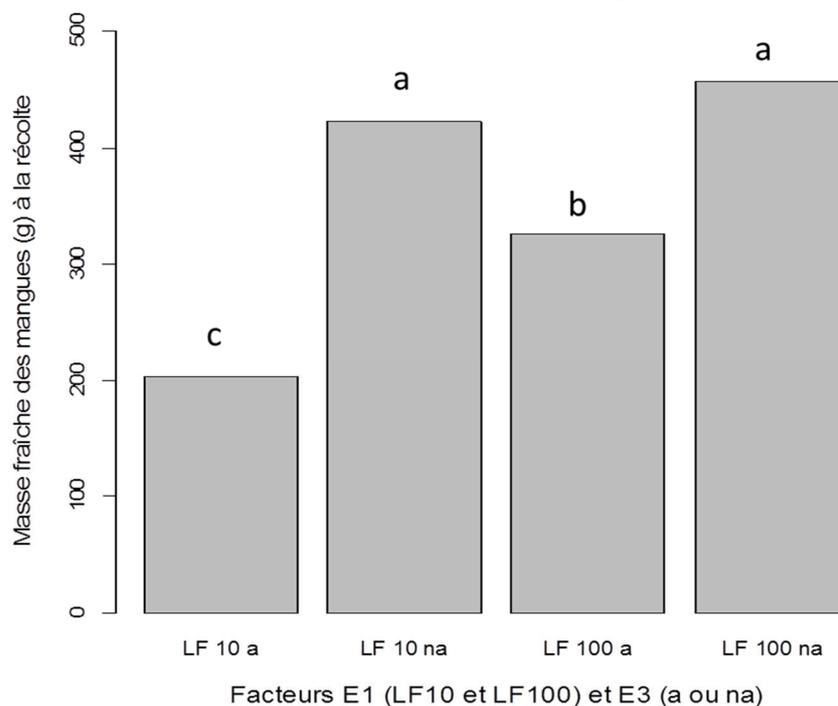


Figure 47 : Masse fraîche moyenne des mangues (g) à la récolte en fonction des facteurs E1 ((LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) et E3 (a : annelé, na : non annelé)

L'annellation de la branche a un effet certain sur la masse fraîche des fruits à la récolte : les branches annelées ont donné des mangues avec une masse fraîche plus petite que les branches non annelées. L'annellation ayant pour effet de concentrer les échanges de carbone entre la tige, les feuilles et les fruits de la branche annelée uniquement, il est possible de dire que l'arbre joue aussi un rôle dans la masse fraîche du fruit, en lui apportant du carbone supplémentaire à celui fourni par les feuilles grâce à la photosynthèse (NORDEY, 2014).

Le rapport feuilles-fruit de la branche influe aussi sur la masse fraîche du fruit à la récolte. En effet, les fruits des branches dont le rapport feuilles-fruit est de 100 feuilles par fruit ont une masse fraîche à la récolte plus élevée que les fruits des branches dont le rapport feuilles-fruit est de 10. Les branches au rapport LF100 peuvent aussi être assimilées à des branches avec une faible charge en fruits, et les branches au rapport LF10 à des branches avec une forte charge en fruits. Les résultats montrent que la charge en fruits de la branche influence la masse fraîche du fruit à la récolte.

### 2.3.2 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le taux de matière sèche des mangues échantillonnés à la récolte

Le taux moyen de matière sèche des mangues à la récolte est significativement différent ( $P < 0,001$ ) en fonction de la modalité a et de la modalité na du facteur E3 et est de 16,9% (Figure 48-A), et pour les branches non annelées, de 20,7% (Figure 48-B).

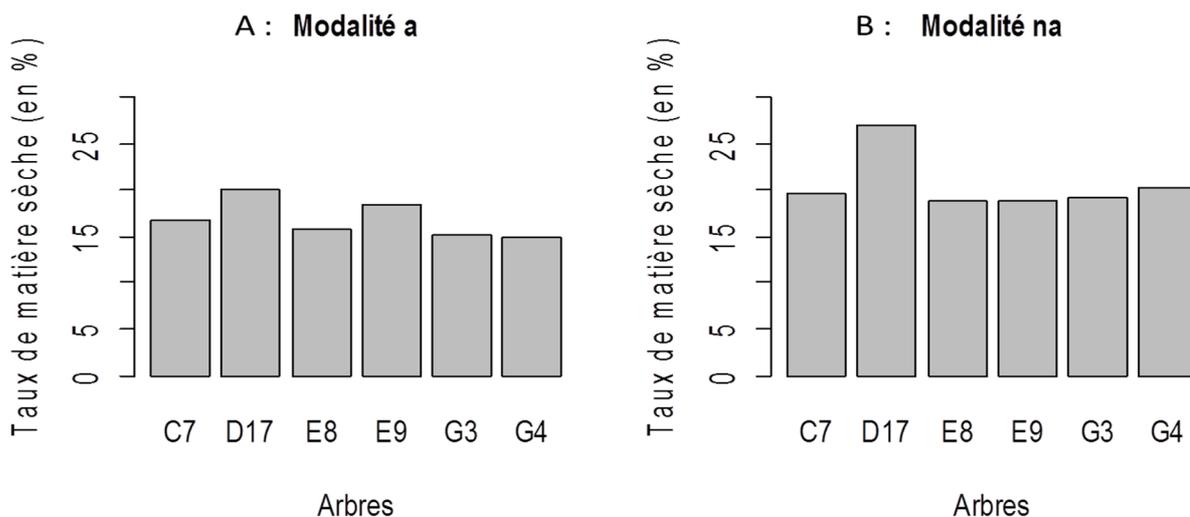


Figure 48 : Taux de matière sèche (%) des mangues échantillonnées et récoltées en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : annelé, na : non annelé)

Le taux de matière sèche est significativement différent ( $P < 0,05$ ) entre les modalités LF10 et LF100 du facteur E1 : il est respectivement de 18,4% (Figure 49-A) et de 20,0% (Figure 49-B).

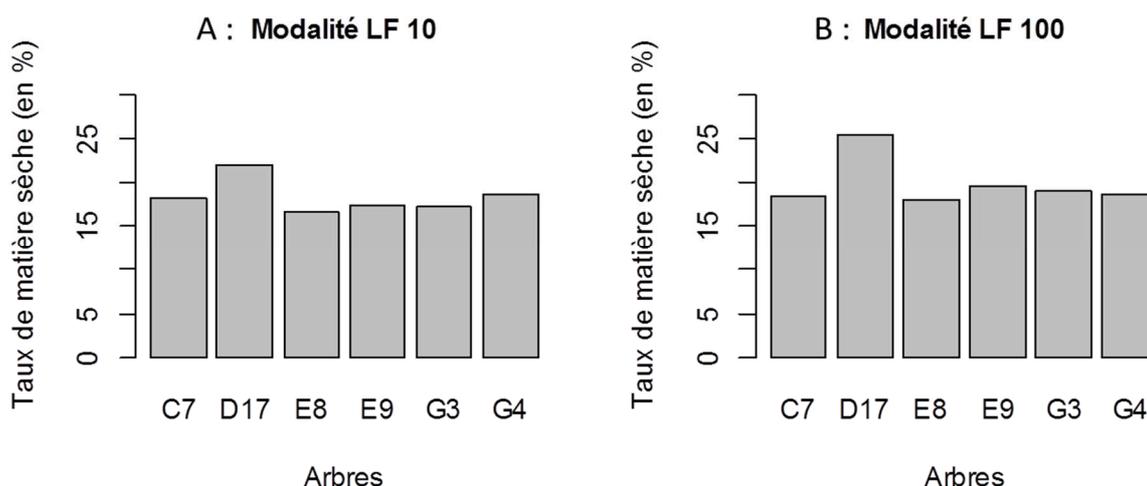


Figure 49 : Taux de matière sèche (%) des mangues échantillonnées et récoltées en fonction de l'arbre pour la modalité LF10 (A) et la modalité LF100 (B) du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit)

Les branches annelées produisent des fruits avec un taux de matière sèche plus faible que les branches non annelées : au même titre que la masse fraîche, l'arbre influe sur le taux de matière sèche de la mangue. Les branches au rapport feuilles-fruit égal à 10 produisent aussi des fruits dont le taux de matière sèche est plus faible que les branches au rapport feuilles-fruit égal à 100 : la charge en fruits de la branche influence la teneur en matière sèche de la mangue.

### 2.3.3 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le taux de matière sèche soluble (degré Brix) des mangues échantillonnées à la récolte

Ce taux de matière sèche soluble est significativement différent ( $P < 0,001$ ) entre les modalités du facteur E3 : le taux moyen de matière sèche soluble pour les fruits des branches annelées est de 15,5% (Figure 50-A), et pour les fruits des branches non annelées, il est de 18,0% (Figure 50-B).

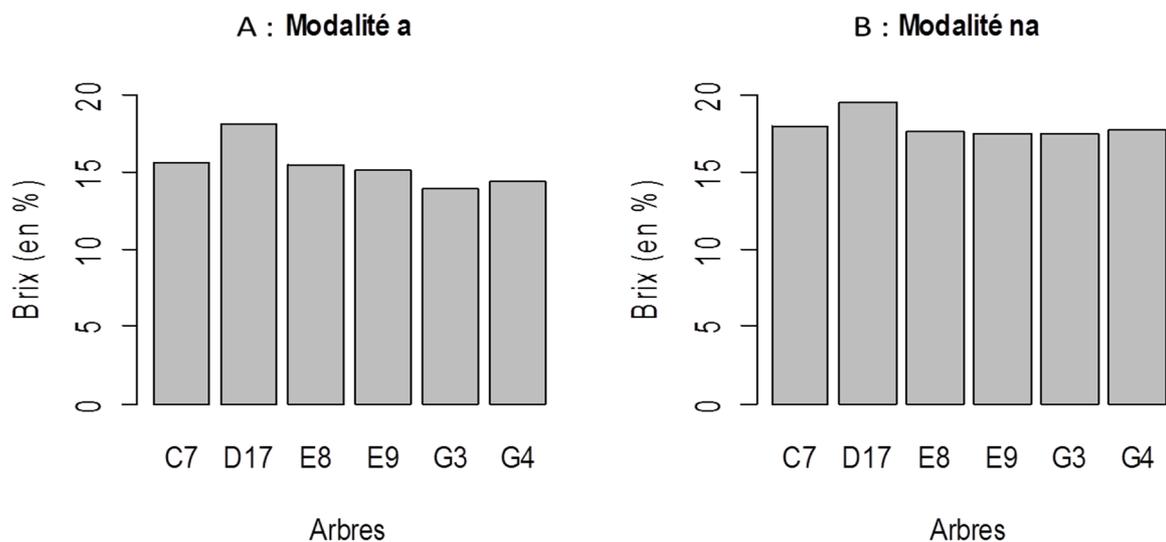


Figure 50 : Taux de matière sèche soluble (degré Brix) moyen en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : annelé, na : non annelé)

Le taux de matière sèche soluble des mangues à la récolte est significativement différent ( $P < 0,05$ ) entre la modalité LF10 et la modalité LF100 du facteur E1 : il est de 16,8% pour les branches LF10 (Figure 51-A), et de 17,3% pour les branches LF100 (Figure 51-B).

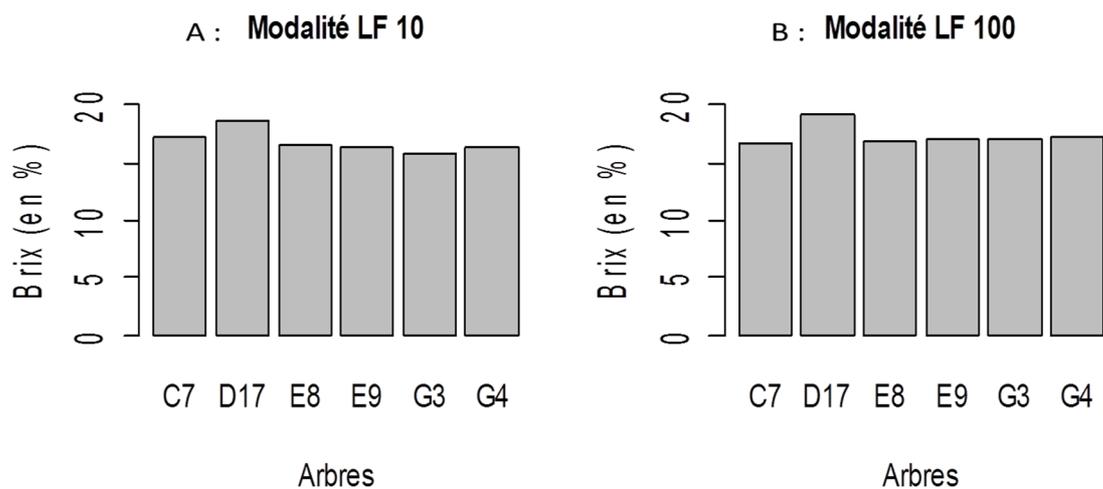


Figure 51 : Taux de matière sèche soluble (degré Brix) moyen en fonction de l'arbre pour la modalité LF10 (A) et la modalité LF100 (B) du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit)

L'interaction des facteurs E1 et E3 a un effet significatif sur le degré Brix des mangues à la récolte ( $P < 0,05$ ). Le degré Brix des mangues à la récolte n'est pas significativement différent entre les groupes LF10 na et LF100 na ( $P = 0,976$ ), mais est significativement différent entre les autres groupes (Figure 52).

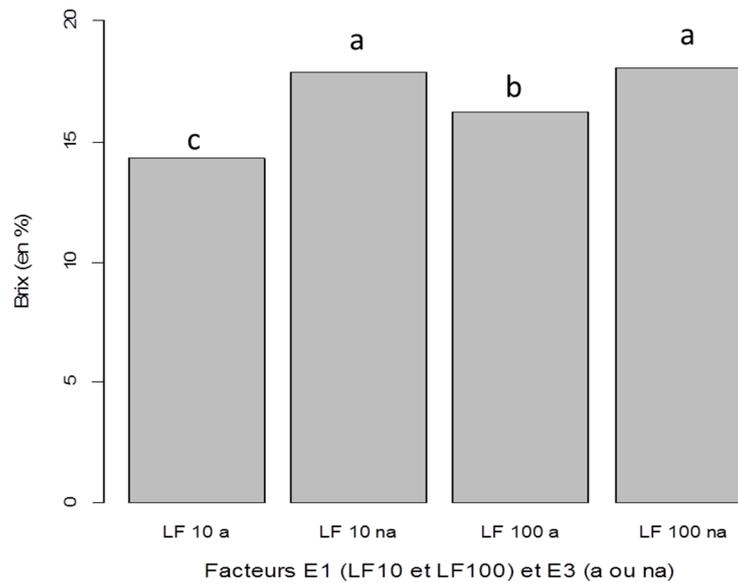


Figure 52 : Brix des mangues (%) à la récolte en fonction des facteurs E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) et E3 (a : annelé, na : non annelé)

Le taux de matière sèche soluble est la fraction de saccharose dans un liquide. Plus ce taux est élevé, plus la mangue est sucrée. Une branche annelée produit des mangues avec un taux de matière sèche soluble plus faible qu'une mangue non annelée. Il en est de même pour le rapport feuilles-fruit : une branche avec un rapport feuilles-fruit de 10 produit des mangues avec un taux de matière sèche soluble plus faible qu'une branche avec un rapport feuilles-fruit de 100. La concentration en saccharose augmente donc avec le nombre de feuilles par fruit.



## **PARTIE 4 : Discussion**

# 1 Effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiier

## 1.1 Effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison

### 1.1.1 La taille stimule la croissance végétative du manguiier

D'après ASREY *et al.* (2013), la taille stimule la croissance végétative et influence le comportement reproductif du manguiier et d'après SHABAN (2009), la taille augmente le nombre d'UC filles par UC mère : les arbres taillés les plus sévèrement ont eu un plus grand nombre d'UC filles par UC mère que les arbres taillés modérément et que les arbres taillés légèrement. Les résultats de l'essai 1 ont bien révélé un effet de la taille sur le taux, l'intensité et la dynamique de débourrement. La taille stimule également la croissance végétative chez d'autres cultures fruitières pérennes telles que le pêcher (GRECHI *et al.*, 2008).

Toutefois, l'augmentation de la sévérité de taille va de pair avec l'augmentation du diamètre de l'UC au point de coupe. Ce diamètre au point de coupe est aussi un potentiel facteur responsable de l'augmentation du taux de débourrement des UC. Concernant les UC terminales non taillées, la position de l'UC n'a pas affecté le taux de débourrement. Pourtant, d'après une étude menée par NORMAND *et al.* (2009), les UC apicales et latérales ont des comportements différents, dû en partie à leur dimorphisme et les UC apicales ont tendance à plus débourrer que les UC latérales.

D'après DAVENPORT (2006), la taille permet de synchroniser la croissance végétative en un seul flush. Lors de cet essai l'intensité de taille a effectivement eu un effet sur la dynamique de débourrement : seuls les arbres les plus taillés ont eu une croissance végétative en un seul flush.

### 1.1.2 La taille perturbe la floraison du manguiier

L'intensité de taille a diminué le taux de floraison. La taille favorise le taux de débourrement des UC végétatives. Or, une forte croissance végétative est antagoniste à l'induction florale et une croissance végétative tardive peut réduire le potentiel de floraison (DAMBREVILLE, 2012 ; PERSELLO, 2015). Ceci explique que les arbres taillés aient un taux de floraison global plus faible que les arbres non taillés. D'après une étude menée sur pêchers, la floraison est plus faible sur les arbres qui ne sont pas taillés ou intensément taillés que sur les arbres modérément taillés (ASHRAF et ASHRAF, 2014).

De plus, les UC dont la sévérité de taille était la plus élevée ont moins débourré que les autres. Ces UC se trouvent un peu plus à l'intérieur de la canopée que les UC taillées moins sévèrement. Elles ont donc moins accès à la lumière, ce qui peut être un facteur d'un taux de floraison plus faible : en effet, d'après ASREY *et al.* (2013), la lumière a une influence sur la floraison. L'âge des UC a aussi un effet sur le taux de floraison : les UC plus âgées ont une probabilité plus élevée de fleurir que les jeunes UC (DAMBREVILLE, 2012). Toutefois, les résultats de l'essai ont montré que la position des UC n'avait pas d'effet significatif sur l'intensité de floraison alors que l'étude menée par NORMAND *et al.* (2009) a montré que les UC apicales ont tendance à plus fleurir que les UC latérales et qu'il y a une relation quadratique entre diamètre de l'UC et floraison importante chez les UC latérales.

La taille semble aussi avoir un effet sur la dynamique de floraison des arbres : la floraison des arbres taillés est plus à même de se dérouler en deux flushs, et elle est plus étalée dans le temps.

### 1.1.3 Effet de la taille sur l'élaboration du rendement du manguiier

Ainsi, les résultats de cette étude ont montré que la taille, via son intensité ou sa sévérité, stimule la croissance végétative globale de l'arbre, et augmente le taux de débourrement des UC taillées ou non taillées. La sévérité de taille a aussi un effet sur l'intensité de débourrement des UC taillées. Enfin la taille permet une gestion des flushs de croissance

végétative puisque les arbres les plus taillés ont une croissance végétative moins étalée dans le temps. La taille est donc une pratique culturale permettant de gérer la croissance végétative de l'arbre (YESHITELA *et al.*, 2005).

Toutefois, si la taille a permis d'augmenter le taux et l'intensité de débourrement et d'avoir une croissance végétative forte lors de cet essai, elle a aussi entraîné une baisse du taux et de l'intensité de floraison, antagoniste à une forte croissance végétative. La dynamique de floraison en a aussi été bouleversée, puisque la taille a favorisé une floraison en plusieurs flushs et plus étalée dans le temps.

L'étude de l'effet de la taille sur la fructification pour chacune des UC suivies des 16 arbres, menée à la suite de l'essai 1, vient compléter l'étude sur la croissance végétative et la floraison et permet d'obtenir des données sur l'élaboration du rendement du manguiier, de la croissance végétative jusqu'à la floraison.

## **1.2 Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte**

### **1.2.1 L'éclaircissage n'a pas eu d'effet sur le taux de croissance et la dynamique de récolte des fruits**

Les résultats de l'essai 2 n'ont pas permis de montrer un effet de l'éclaircissage sur le taux de croissance et la dynamique de récolte des mangues échantillonnées. En effet, le taux de croissance des mangues s'est révélé homogène entre les 6 arbres suivis. De même, les arbres ont eu une dynamique de récolte homogène. Seule la récolte de l'arbre D17 a été différente : sa récolte a commencé plus tôt (le 5 décembre 2016) et s'est fini plus tôt dans la saison (le 17 janvier 2017). Etant le seul arbre dont la récolte a été plus précoce, cette différence n'est donc pas attribuable aux différentes modalités d'éclaircissage.

### **1.2.2 L'éclaircissage permet d'améliorer la qualité des fruits à la récolte**

L'éclaircissage est une pratique culturale qui consiste à enlever des fruits d'une branche, modifiant ainsi les rapports source-puits (feuilles-fruit) et la charge en fruits de la branche. Dans l'essai 2, les rapports feuilles-fruit ont été modifiés en effeuillant les branches et en enlevant des fruits. Les branches dont le rapport feuilles-fruit est le plus élevé (LF100) sont des branches avec une charge en fruit faible et peuvent être assimilées à des branches éclaircies. Les branches dont le rapport feuilles-fruit est le plus faible (LF10) sont des branches avec une charge en fruit forte et peuvent être assimilées à des branches non éclaircies. Les fruits issus des branches au rapport feuilles-fruit élevé, soit des branches éclaircies, ont eu une masse fraîche, un taux de matière sèche, et un taux de matière sèche soluble plus élevés que les fruits des branches au rapport feuilles-fruit faible (branches non éclaircies).

En effet, la taille de la mangue, et donc sa masse fraîche, augmentent avec l'augmentation du ratio feuilles-fruit, même si cette augmentation est toutefois limitée par le nombre de cellules du fruit après sa phase division cellulaire (LECHAUDEL et JOAS, 2007). Les résultats de l'étude ont aussi montré que les fruits des branches avec une charge en fruits faible avaient un taux de matière sèche plus important que les fruits des branches avec une charge en fruits importante et ont donc confirmé que, d'après NORDEY (2014), la charge en fruits de la branche a un impact sur le calibre et le taux de matière sèche de la mangue. Quant au taux de matière sèche soluble, il est plus élevé pour les fruits des branches LF100 et que pour les fruits des branches LF10 : la concentration en saccharose augmente avec le nombre de feuilles par fruit (LECHAUDEL, 2004).

La masse fraîche du fruit, le taux de matière sèche, et le taux de matière sèche soluble sont des facteurs de qualité pour la mangue. En effet, la masse fraîche du fruit est directement liée à son calibre, la matière sèche de la mangue est constituée de carbohydrates, dont 60% sont des sucres et des acides, et est donc essentielle à la

qualité du fruit et la conservation du fruit est corrélée au taux de matière sèche, indépendamment de la position du fruit dans l'arbre, du rapport feuilles-fruit, de la disponibilité en eau ... (LECHAUDEL et JOAS, 2007). Ces trois facteurs de qualité ont augmenté avec l'augmentation du nombre de feuilles par fruit (branches assimilées à des branches éclaircies), il est donc possible de dire que l'éclaircissage permet d'améliorer la qualité de la mangue à la récolte. Toutefois, d'autres facteurs expliquent aussi la qualité de la mangue : l'environnement lumineux, qui varie avec la position de la branche et du fruit dans la canopée, la température, la disponibilité en eau... (LECHAUDEL et JOAS, 2007).

## **2 Limites de l'étude de l'effet des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiier**

### **2.1 Limites méthodologiques**

#### **2.1.1 Limites de la méthodologie mise en place pour l'essai 1**

Lors de l'échantillonnage, un biais est induit par le fait qu'inconsciemment, les UC choisies sont généralement les plus accessibles. L'échantillonnage n'est donc pas totalement dû au hasard. De plus, le taux de floraison a été calculé uniquement sur les UC filles des UC taillées et des UC terminales non taillées et non directement sur les UC taillées et des UC terminales non taillées puisque celles qui ont donné des UC filles ne peuvent pas donner d'inflorescences.

#### **2.1.2 Limites de la méthodologie mise en place pour l'essai 2**

L'essai 2 a rencontré plusieurs problèmes. Tout d'abord, étant donné que les arbres HL G3 et G4 n'avaient pas une charge en fruit initiale très élevée et que pour appliquer les traitements LF10 et LF100 plusieurs fruits ont dû être enlevés, la charge HL-I est environ égal à 65% de celle des charpentières de la modalité HL-I. Comme la différence de charge entre ces deux facteurs n'a pas été suffisamment contrastée, le facteur n'a pas été étudié. Seul l'effet de la charge en fruits de l'arbre entier a été considéré. Concernant le suivi de cette charge en fruits de l'arbre, il n'y a pas d'effet significatif entre la charge en fruit de l'arbre et la masse fraîche moyenne des mangues de cet arbre à la récolte. Toutefois, l'échantillon est composé de seulement 6 arbres et les résultats, tels que la masse fraîche des fruits en fonction de la charge en fruits de l'arbre, ne permettent donc pas de tirer des conclusions significatives.

De nombreux fruits échantillonnés ont chuté dans les premières semaines de l'essai. Ce taux de chute important, est sûrement dû à deux facteurs principaux : la manipulation des fruits, encore « fragiles » (échantillonnage, mesure des fruits, défoliation de la branche...), et des modalités de facteur E1 et E3 trop drastiques. En effet, les fruits tombés proviennent principalement des branches LF10 annelées. Même si la plupart de ces fruits ont été remplacés par des fruits voisins (sur la même branche) de taille proche dans les premières semaines de l'essai, cela a entraîné un biais dans le suivi de la croissance des fruits puisque ce ne sont pas toujours les mêmes fruits qui sont suivis du début à la fin de l'essai. De plus, la croissance des fruits a été suivie du 3 novembre 2016 au 22 décembre 2016, alors que la récolte s'est étalée du 5 décembre 2016 au 20 février 2017. Les dates de stage n'ont pas permis de suivre la croissance jusqu'à la fin de la récolte, soit du 22 décembre 2016 au 20 février 2017.

Concernant la qualité de la mangue à la récolte, une analyse du taux d'acidité de la mangue à la récolte a été prévue dans l'essai 2 pour évaluer la qualité des mangues, avec un titrage de l'acidité. Malheureusement la burette électronique est tombée en panne au début des analyses de mangues, et il n'a pas été possible de la remplacer.

## **2.2 Absence d'études complémentaires**

### **2.2.1 Absence de prise en compte des facteurs exogènes à l'arbre**

Dans les deux essais, les facteurs exogènes à l'arbre tels la température et la pluviométrie n'ont pas été étudiés. Pourtant, ils influencent aussi l'élaboration du rendement du manguiier. La température, par exemple, influence le nombre et la fréquence des flushs de croissance végétative et le manque de lumière diminue la taille des mangues et leur taux de matière sèche (LECHAUDEL et JOAS, 2007 ; DAMBREVILLE, 2012). Ces facteurs exogènes peuvent potentiellement expliquer certains résultats obtenus, et il est important qu'ils soient pris en compte dans le modèle.

### **2.2.2 Absence d'étude sur l'alternance de production**

L'alternance de production du manguiier est un problème agronomique important puisqu'il génère des pertes de rendements d'une année sur l'autre : une année de forte production est souvent suivie d'une année de faible production. L'étude de l'effet de pratique culturale sur l'élaboration du rendement du manguiier n'ayant été menée que sur une seule année, l'effet de la taille et de l'éclaircissage sur le rendement du manguiier d'une année sur l'autre n'a donc pas pu être observé. De plus, l'étude sur l'effet de la taille se concentre sur la croissance végétative et la floraison. Il faut ajouter les données observées lors de la fructification et notamment le rendement des manguiiers suivis.

### **2.2.3 Absence d'études sur les autres variétés de manguiers**

Les essais 1 et 2 ont été réalisés sur des manguiers de variété Cogshall. A la Réunion, la majorité des vergers de manguiers sont de type José et Cogshall, mais d'autres variétés y sont aussi cultivées, comme la variété Nam Dok Maï ou la variété Heidi. Ces variétés possèdent chacune des caractéristiques propres, comme la période de production par exemple. Parce qu'elles ont des traits distincts, ces variétés sont susceptibles de réagir différemment aux pratiques culturales que sont la taille et l'éclaircissage. En étudiant les effets de ces pratiques culturales sur le manguiier Cogshall seulement, il y a le risque d'omettre les différents phénomènes de l'élaboration du rendement du manguiier associé à chacune de ses variétés, et donc de ne proposer des pratiques culturales aux agriculteurs ne correspondant qu'à la variété Cogshall. Ce problème se pose surtout pour la variété José, qui est la première production de mangues de la Réunion, en termes de surface.

## **2.3 L'éclaircissage : une pratique culturale peu mise en place**

L'éclaircissage est une pratique culturale qui permet d'obtenir des fruits de meilleure qualité : masse fraîche plus importante, fruits plus sucrés, homogénéisation des calibres... Très répandu sur les arbres fruitiers des régions tempérées, l'éclaircissage sur manguiers reste encore aujourd'hui une pratique culturale peu ou pas pratiquée par les agriculteurs. D'après une étude menée par MARCHETTI (2017), sur 28 producteurs de mangues réunionnais, seuls 2 pratiquent l'éclaircissage pour augmenter les calibres de leurs mangues et obtenir des meilleurs prix de vente. Plusieurs contraintes expliquent ce phénomène.

### **2.3.1 La contrainte du temps/main d'œuvre**

L'éclaircissage manuel, le seul réalisable sur manguiers à la Réunion, est une opération très chronophage. L'éclaircissage implique un passage fréquent dans les vergers pour enlever certains fruits et, par conséquent, une gestion du temps importante pour les agriculteurs lors de la nouaison (phase initiale de la croissance du fruit). Les agriculteurs peuvent faire appel à une main d'œuvre saisonnière mais celle-ci doit être adroite car il s'agit d'une pratique culturale délicate.

### **2.3.2 La contrainte technique**

Une méconnaissance de cette pratique est sûrement le frein le plus important : les agriculteurs n'ont pas toujours conscience de l'intérêt d'éclaircir leurs vergers et, n'étant pas formés sur cette pratique, ont la crainte de mal réaliser cette opération, d'enlever des fruits potentiellement bons, et donc de générer des pertes de rendement. La plupart considèrent que cet éclaircissage se fait de manière naturelle grâce à la présence de bioagresseurs par exemple (MARCHETTI, 2017).

### **3 Propositions**

#### **3.1 Modifier les modalités de charge en fruits de l'arbre, d'annelation et de rapport feuilles-fruit de l'essai sur l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte**

L'essai 2 a été caractérisé par la difficulté d'établir des modalités du facteur charge en fruits de l'arbre bien différencié et par l'importance du taux de chute des fruits, notamment chez les branches annelées au rapport LF10. De plus, la petite taille de l'échantillon pour étudier la masse fraîche moyenne des fruits en fonction de la charge en fruits de l'arbre ne permet pas de tirer des conclusions significatives. Au vu des difficultés rencontrées, une modification de cet essai doit être envisagée. Pour faciliter la mise en place de l'essai et l'analyse des données, cet essai peut être divisé en deux : un essai sur la masse fraîche moyenne des fruits en fonction de la charge en fruits de l'arbre, et un essai sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte en fonction du rapport feuilles-fruit et de l'annelation ou non de la branche.

##### **3.1.1 Essai sur la masse fraîche moyenne des fruits en fonction de la charge en fruits de l'arbre**

Le but de cet essai est de définir s'il y a un lien entre masse fraîche des fruits à la récolte et charge en fruits de l'arbre. Pour obtenir des résultats significatifs, l'échantillon doit comprendre une trentaine d'arbres. Pour prendre en compte des facteurs éventuels d'espace, les arbres pourront être échantillonnés dans différents vergers : sur la station de Bassin Plat mais aussi chez des arboriculteurs de la Réunion. Certains arbres seront soumis au traitement charge faible, des fruits seront enlevés, d'autres au traitement charge forte, et d'autres au traitement mixte avec deux charpentières avec une charge forte, et deux charpentières avec une charge faible. Pour chaque arbre, les fruits devront être récoltés, dénombrés et pesés. Les fruits n'ont pas besoin d'être pesés individuellement : la masse fraîche de tous les fruits récoltés à une date  $t$ , divisé par le nombre de fruits, permettra d'obtenir une moyenne de la masse fraîche des fruits à la récolte. Les résultats obtenus pourront être analysés tels qu'ils l'ont été dans ce mémoire.

##### **3.1.2 Essai sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte en fonction du rapport feuilles-fruit et de l'annelation ou non de la branche**

Il s'agit ici de répéter les modalités qui ont été mises place lors de l'essai 2, mais en augmentant le rapport feuilles-fruit LF10 qui, associé à la modalité branche annelée, a entraîné trop de chute dans cet essai. Deux solutions sont possibles : étudier le facteur annelation indépendamment du facteur rapport feuilles-fruit, et garder les rapports feuilles-fruit égal à 10 et à 100, ou augmenter le rapport feuilles-fruit le plus faible de 25 feuilles par fruit par exemple, comme mis en place dans l'essai mené par NORDEY en 2014. Cet essai, nécessitant du temps et du matériel de laboratoire pour analyser la qualité des mangues à la récolte, sera réalisé préférentiellement sur la station.

### **3.2 Répéter les essais mis en place**

#### **3.2.1 Répéter les essais dans le temps et dans l'espace et sur d'autres variétés**

Le temps et le lieu sont des facteurs à prendre en compte en expérimentation. Il est nécessaire de reproduire les essais sur plusieurs années, pour vérifier les effets des

variables testées (DAGNELIE, 2012). De plus, les conditions de culture sur station sont souvent différentes des conditions de culture chez les agriculteurs, elles-mêmes différentes entre elles, il est donc important de réaliser des essais hors station pour tester si les conditions de culture n'influencent pas plus que les pratiques culturales sur les résultats observés. Dans l'idéal, les essais doivent présenter les mêmes modalités de taille et d'éclaircissage, le même nombre d'arbres suivis ... Mais les essais 1 et 2 ont été menés à titre exploratoire, et les modalités des facteurs de l'essai 2 doivent être modifiées pour éviter des chutes de fruits trop importantes et des résultats peu significatifs à cause d'un échantillon trop petit.

De plus, pour proposer des itinéraires techniques innovants et répondant aux attentes des producteurs de mangues, il est important de réaliser ces essais sur d'autres variétés de manguiers. En effet, la variété José étant la première de l'île en termes de surface, il paraît donc essentiel d'évaluer l'effet de la taille et de l'éclaircissage sur cette variété au minimum.

### 3.2.2 Répéter les essais sur les arbres déjà suivis pour évaluer l'effet des pratiques culturales sur l'alternance de production du manguiier

Dans le cas de l'étude de l'effet des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiier, il est d'autant plus nécessaire de répéter les essais pour observer un éventuel effet des pratiques culturales sur l'alternance de production du manguiier (année « on » et année « off »). Dans ce cas, les arbres suivis cette année doivent aussi l'être en 2017, voire plus, pour étudier leur rendement sur plusieurs années et observer si la taille et l'éclaircissage peuvent hétérogénéiser les rendements d'une année sur l'autre.

### 3.2.3 Adapter le facteur humain aux besoins de main d'œuvre des différents suivis pour lors de la répétition de l'essai 2

La mise en place de l'essai 2 a été chronophage : sélectionner les branches à suivre, compter son nombre de feuilles pour adapter les traitements et mesurer les fruits à suivre demande du temps. C'est pourquoi, pour cette étape, la présence de deux personnes est indispensable, et la présence d'une troisième personne est préférable (Tableau 13). La croissance des fruits pour l'essai 2 n'a pas pu être suivie jusqu'au bout à cause des dates de stage. Il est nécessaire, lors de la répétition de l'essai sur l'année suivante, de prévoir une personne présente de début novembre à fin février pour suivre les fruits jusqu'à la fin de la récolte et les analyser.

Tableau 13 : Actions à réaliser et nombre de personnes nécessaires pour les réaliser pour chaque mois pour l'essai 2

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
Actions à réaliser		mise en place			
		réajustements si nécessaire			
		suivi de la croissance des fruits (1 passage/semaine/fruit suivi)			
		récolte		analyse des fruits récoltés	
Nombre de personnes nécessaires	2 ou 3	1			

La présence d'un stagiaire en stage de fin d'études ou en césure d'Octobre à Mars pourrait répondre en partie aux besoins de main d'œuvres. Le coût d'un stagiaire pour le Cirad (indemnités, logement, billets d'avion) est d'environ 6000 €. La main d'œuvres

nécessaire en Octobre pour la mise en place de l'essai peut être complétée par un ou deux techniciens travaillant sur la station.

### 3.3 Envisager l'éclaircissage comme une pratique culturale permettant d'améliorer les rendements du manguiers et la qualité de ses fruits

#### 3.3.1 L'éclaircissage permet un apport économique

Pour que les arboriculteurs adoptent cette pratique culturale, il faut qu'elle soit rentable. Ainsi, le gain économique de l'éclaircissage a été calculé à l'aide des données obtenues lors de l'essai 2 et des informations trouvés dans la bibliographie. Ces résultats ont été résumés dans le Tableau 14.

La masse fraîche moyenne d'une mangue a été obtenue en faisant la moyenne des masses fraîches des mangues des branches à rapport feuilles-fruit faible (LF10) pour les arbres non éclaircis et la moyenne des masses fraîches des mangues des branches à rapport feuilles-fruit important (LF100) pour les arbres éclaircis, soit respectivement 335,90 g et 394,80 g. Les fruits issus des branches assimilées à des branches éclaircies étaient en moyenne 58,9 g plus lourds que les fruits issus des branches assimilées à des branches non éclaircies. En se basant sur les 6 arbres étudiés de l'essai 2, le nombre moyen de mangues récoltés par arbre est de 292 et la densité de plantation admise est de 230 pieds/ha (VINCENOT *et al.*, 2009). Pour simplifier le calcul, il est admis que les manguiers, éclaircis ou non, ont produit le même nombre de fruits. Sachant que la mangue a un cours moyen annuel de 1,5 €/kg à la Réunion, cela fait une différence d'environ 0,09 €/kg entre des mangues issues de branches éclaircies et des mangues issues de branches non éclaircies (VINCENOT *et al.*, 2009).

Le rendement moyen par hectare est calculé en multipliant la masse fraîche moyenne d'une mangue par le nombre moyen de mangues récoltées par arbre, puis la densité de plantation. Ainsi, les résultats obtenus sont un rendement de 22,56 t/ha pour les manguiers éclaircis et de 26,51 t/ha pour les manguiers non éclaircis. Le produit brut, calculé en multipliant le cours du marché eu rendement moyen par hectare, est d'environ 33 839 €/ha/an pour les manguiers éclaircis et de 39 772 €/ha/an pour les manguiers non éclaircis.

Tableau 14 : Comparaison des rendements moyen par hectare (t/ha) et du produit brut (€/ha/an) de manguiers éclaircis et de manguiers non éclaircis

	Masse fraîche moyenne d'une mangue (g)	Nombre moyen de mangues récoltées par arbre	Cours du marché moyen sur l'année (€/kg)	Densité de plantation (nbre pieds/ha)	Rendement moyen par hectare (t/ha)	Produit brut (€/ha/an)
<b>Pour 1 ha de manguiers non éclaircis</b>	335,90	292,00	1,50	230,00	22,56	33838,57
<b>Pour 1 ha de manguiers éclaircis</b>	394,80	292,00	1,50	230,00	26,51	39772,15

Les rendements du Tableau 14 sont bien au-delà des rendements moyens de 9t/ha observés à la Réunion et les produits bruts sont aussi bien supérieurs à la moyenne (VINCENOT *et al.*, 2009). Ceci s'explique par le fait que les données du nombre moyen de mangues récoltées par arbre provient des 6 arbres étudiés lors de l'essai 2 lors d'une année de forte production et n'est pas représentatif des manguiers de la Réunion. De plus, ce nombre est le même pour les arbres éclaircis et les arbres non éclaircis. La question à se poser est si l'éclaircissage entraîne une production plus faible de fruits en

termes de nombre de fruits récoltés ou si cette pratique permet d'éliminer les fruits non viables. Toutefois, il s'agit d'observer ici la différence entre les manguiers éclaircis et les manguiers non éclaircis : un gain d'environ 6 000 €/ha/an est à noter pour les manguiers éclaircis par rapport aux manguiers non éclaircis.

Même si la différence entre les rendements des arbres éclaircis et non éclaircis peut être discutée, l'éclaircissage apporte un avantage économique certain ne serait-ce qu'avec l'augmentation de la masse fraîche des mangues. Mais il faut aussi prendre en compte l'augmentation de la charge de travail. Celle-ci reste à déterminer : le nombre d'heures consacré à l'éclaircissage est-il couvert par le gain économique que cette pratique culturale apporte ?

Il est important de chiffrer cette pratique culturale : le gain économique, mais aussi le nombre moyen d'heures nécessaires pour réaliser cette pratique. Pour que les agriculteurs adoptent cette pratique, il faut que ce gain économique leur soit communiqué et qu'il couvre l'augmentation de la charge de travail.

### **3.3.2 Apporter un soutien technique aux producteurs de mangues**

Le frein principal à l'adoption de l'éclaircissage par les arboriculteurs pour gérer leur production de mangues est principalement le manque de connaissances techniques sur cette pratique. L'étude du Cirad, pour être utile, doit mener à l'élaboration de supports techniques à destination des agriculteurs. Ces supports peuvent se présenter sous formes diverses : formation, documents techniques, publications dans les chambres d'agriculture, conseillers... Une bonne communication sur les résultats de l'essai, et sur les effets de l'éclaircissage est donc essentielle. Elle peut aussi passer par des témoignages, notamment ceux des deux agriculteurs pratiquant l'éclaircissage interrogés lors de l'étude de MARCHETTI (2017).



## Conclusion générale

La culture de la mangue est un enjeu important pour de nombreux pays. Pourtant les agriculteurs sont encore aujourd'hui confrontés à des problèmes agronomiques importants affectant le rendement des manguiers et la qualité des mangues à la récolte : l'alternance de production et les asynchronismes phénologiques. C'est pour répondre à ces problèmes que le Cirad mène des recherches sur l'architecture des manguiers, leurs relations structurelles et les pratiques culturales qui modifient cette architecture et ces relations structurelles. L'étude des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiers vise à compléter les connaissances déjà acquises. L'effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison a été étudié via des modalités d'intensité et de sévérité de taille et l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte via des modalités de charge en fruits de l'arbre, de rapport feuilles-fruit et d'annelation ou non des branches suivies.

Cette étude a montré que la taille et l'éclaircissage peuvent permettre d'influencer les cycles phénologiques du manguiers et sa production. Les résultats obtenus permettent de déduire que la taille stimule la croissance végétative : le taux de débourrement est plus élevé chez les arbres taillés, l'intensité de débourrement est plus importante pour les axes taillés et la croissance végétative est moins étalée chez les arbres taillés. Mais la floraison qui suit est plus faible, que ce soit en taux ou en intensité de floraison, pour les arbres taillés que pour les arbres non taillés. La dynamique floraison en est aussi bouleversée : alors qu'elle se concentre en un seul flush pour les arbres non taillés, elle est beaucoup plus hétérogène et étalée dans le temps pour les arbres taillés. La masse fraîche des mangues à la récolte ne semble pas dépendre de la charge en fruits de l'arbre, mais du rapport feuilles-fruit des branches et de l'annelation ou non de celles-ci. Il en est de même pour le taux de matière sèche et le taux de matière sèche soluble des fruits. Ainsi, la taille permet de gérer la croissance végétative du manguiers mais pas la floraison. L'éclaircissage réalisé a amélioré la qualité des mangues à la récolte.

Cette étude sur l'effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguiers est reconduite l'année suivante. Ces deux essais étant les premiers à être mis en place, des améliorations méthodologiques doivent être mises en place, notamment pour l'essai 2 où de nombreux fruits échantillonnés ont chuté. Reconduire ces essais sur plusieurs années va aussi permettre d'identifier les effets de la taille et de l'éclaircissage sur l'alternance de production. Les données et les résultats obtenus lors de cette étude vont aussi être intégrés à un modèle d'élaboration du rendement du manguiers, modèle qui servira à tester des itinéraires techniques répondant aux enjeux actuels des agriculteurs.



## Références bibliographiques

AGRESTE, 2014(b). La production fruitière à la Réunion. *Agreste la Réunion* [en ligne], n°92, pp. 1-7.

Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/D97415A01.pdf>

ASREY R., PATEL V.B., BARMAN K. et PAL. R.K., 2013. Pruning affects fruit yield and postharvest quality in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Amrapali. *Fruits*, vol. 68, pp. 367-380.

ASHRAF N. et ASHRAF M., 2014. Summer pruning in fruit trees. *Academic Journals*, vol. 9, pp. 206-210.

BOMPARD J.M., 2009. Taxonomy and systematics. In : LITZ R.E. The mango : botany, production and uses - 2nd edition. Oxfordshire : CABI, pp. 19-41.

BRAZ J., 2004. Panorama du marché international de la mangue : cas de la filière d'exportation du Brésil. Thèse. Montpellier : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 144 p.

BRETCH J.K. et YAHIA E.M., 2009. Postharvest physiology. In : LITZ R.E. The mango : botany, production and uses - 2nd edition. Oxfordshire : CABI, pp. 484-528.

BRIAND A.S., 2014. Modélisation de la phénologie et de la croissance des unités de croissance et des inflorescences du manguier. Mémoire de fin d'études. Lyon : Université Claude Bernard, 63 p.

CBI MARKET INFORMATION DATABASE, 2015. Europe : des marchés prometteurs pour l'export des mangues fraîches. [en ligne].

Disponible sur : [https://www.cbi.eu/sites/default/files/market\\_information/researches/adapted-etude-mangues-afrique-louest-europe-prometteuses-eu-marches-fruits-legumes-frais-2014.pdf](https://www.cbi.eu/sites/default/files/market_information/researches/adapted-etude-mangues-afrique-louest-europe-prometteuses-eu-marches-fruits-legumes-frais-2014.pdf)

COMITE DES PRODUITS, 2001. Groupe intergouvernemental sur la banane et les fruits tropicaux. [en ligne]. San José : FAO, 7 p.

Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/Y1939f.HTM>

COTTON S., 2009. Cartographie de la biomasse sèche structurale et des sucres de réserve du manguier et leurs évolutions au cours du cycle phénologique. Mémoire de fin d'études. Gembloux : Faculté universitaire des sciences agronomiques, 100 p.

DAGNELIE P., 2012. Principes d'expérimentation (2ème édition). Gembloux : les presses agronomiques de Gembloux, 413p.

DAMBREVILLE A., 2012. Croissance et développement du manguier (*Mangifera indica* L.) *in natura* – Approche expérimentale et modélisation de l'influence d'un facteur exogène, la température, et de facteurs endogènes architecturaux. Thèse. Montpellier : Université de Montpellier II, 188 p.

DAMBREVILLE A., LAURI P.E., TROTTIER C., GUEDON Y. et NORMAND F., 2013. Deciphering structural and temporal interplays during the architectural development of mango trees. *Journal of Experimental Botany*, vol.64, pp. 2467-2480.

DAVENPORT T.L., 2006. Pruning strategies to maximize tropical mango production from the time of planting to restoration of old orchards. *HortScience*, vol. 41, pp. 544-548.

DEGUINE J.P., JACQUOT M., ALBON B., BRUN-VITELLI J., GRAINDORGE R., LAURENT P., MARQUIER M., VANHUFFEL L., VINCENOT D. et AUBERTOT J.N., 2017. La protection agroécologique des vergers de manguiers à la Réunion. *Innovations Agronomiques*, vol. 55, pp. 257-272.

FAOSTAT, 2014. Quantités de production de Mangues, mangoustans et goyaves par pays. [en ligne]. FAO.

Disponible sur : [www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize](http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize)

GRECHI I., SAUGE M.H., SAUPHANOR B., HILGERT N., SENOUSSE R. et LESCOURRET F., 2008. How does winter pruning affect peach tree-*Myzus persicae* interactions ? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 128, pp. 369-379.

GRECHI I., 2015. Ecoverger - Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguiers. [en ligne]. Saint-Pierre : Cirad, 2 p.

Disponible sur :

[http://cosaq.cirad.fr/content/download/4267/31887/version/1/file/ECOVERGER\\_progPesticides\\_APR2014.pdf](http://cosaq.cirad.fr/content/download/4267/31887/version/1/file/ECOVERGER_progPesticides_APR2014.pdf)

HERBET A. et DELLA MUSSIA S., 2009. La mangue - innover pour plus de qualité. *Agronews* [en ligne], n°2, pp. 7-9.

Disponible sur : [www.cirad.fr/content/download/6502/66139](http://www.cirad.fr/content/download/6502/66139)

INFOCOMM, 2016. Mangue. [en ligne]. Genève : CNUCED, 23 p.

Disponible sur : [http://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/INFOCOMM\\_cp07\\_Mango\\_fr.pdf](http://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp07_Mango_fr.pdf)

JESTIN A., 2013. Modélisation du développement et de la phénologie du manguiers. Mémoire de fin d'études. Lyon : Université Claude Bernard, 67 p.

LECHAUDEL M., 2004. Croissance et qualité organoleptique de la mangue (*Mangifera Indica*) : analyse expérimentale et modélisation de l'effet de la disponibilité hydrique et carbonée. Thèse. Paris-Grignon : Institut National Agronomique Paris-Grignon, 202 p.

LECHAUDEL M., GENARD M., LESCOURRET F., URBAN L. et JANNOYER M., 2005. Modeling effects of weather and source-sink relationships on mango fruit growth. *Tree Physiology*, vol. 25, pp. 583-597.

LECHAUDEL M., JOAS J., CARO Y., GENARD M., et JANNOYER M., 2005. Leaf : fruit ratio and irrigation supply affect seasonal changes in minerals, organic acids and sugars of mango fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, pp. 251-260.

LECHAUDEL M. et JOAS J., 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. *Plant Physiology*, vol. 19, pp. 287-298.

MARCHETTI M., 2007. Analyse systémique des exploitations productrices de mangues à la Réunion : identification des déterminants influençant les choix techniques et les changements de pratiques des producteurs pour la co-conception d'itinéraires techniques innovants apportant une alternative aux pesticides. Mémoire de fin d'études. Cergy : ISTOM, 102 p.

MNS, 2011. Mangué. [en ligne]. Genève : International Trade Center.

Disponible sur :

[http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/About\\_ITC/Where\\_are\\_we\\_working/Multi-country\\_programmes/Pact\\_II/Mangoe%20report%20.pdf](http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/About_ITC/Where_are_we_working/Multi-country_programmes/Pact_II/Mangoe%20report%20.pdf)

MUKHERJEE S.K. et LITZ R.E., 2009. Introduction : botany and importance. In : LITZ R.E. The mango : botany, production and uses - 2nd edition. Oxfordshire : CABI, pp. 1-18.

NADIE A.K., ZONGO A., KABRE E., NACRO S., KABORE C., OUEDRAOGO S. et GUIRA M., 2009. Manuel de formation participative sur la production de mangue biologique à travers les vergers-écoles au Burkina Faso. [en ligne]. Burkina Faso : FAO, 69 p.

Disponible sur :

[http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicexports/docs/Manuel\\_formation\\_mangue\\_biologique.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicexports/docs/Manuel_formation_mangue_biologique.pdf)

NORDEY T., 2014. Analyse expérimentale et modélisation de l'hétérogénéité de la qualité et de la maturité des mangues. Thèse. Avignon : Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 221 p.

NORMAND F., PAMBO BELLO A.K., TROTTIER C. et LAURI P.E., 2009. Is axis position within tree architecture a determinant of axis morphology, branching, flowering and fruiting? An essay in mango. *Annals of Botany*, vol. 103, pp. 1325 - 1336.

NORMAND F., MICHELS T., JOAS J., VINCENOT D., HOARAU I., DESMULIER X. et BARC G., 2011. Approche intégrée de la filière mangue à la Réunion. *Innovations agronomiques*, vol. 17, pp. 67-81.

OECD, 2011. Normes internationales pour les fruits et légumes - E-brochure sur les mangues. [en ligne]. Paris : OECD, 70 p.

Disponible sur : <https://www.oecd.org/tad/code/49200564.pdf>

PERSELLO S., 2015. Modélisation de l'élaboration du rendement de la mangue : analyse de la fructification et couplage de sous-modèles. Mémoire de fin d'études. Bordeaux : Bordeaux Sciences Agro, 64 p.

PIP, 2011. Itinéraire technique mangue (*Mangifera Indica*). [en ligne]. Bruxelles : COLEACP, 62 p.

Disponible sur : <http://pip.coleacp.org/files/documents/IT-mangue%2003-2007-07-1-FR%20v2.pdf>

SASAKI K. et UTSUNOMIYA N., 2002. Effect of fruit thinning on fruit growth and profitability in "Irwin" mango cultivation under greenhouse. *Jpn. J. Trop. Agr.*, vol. 46, pp. 295-297.

SCARRONE F., 1979. Renouvellement foliaire chez le manguier (*Mangifera Indica* L.). *Sciences de la Nature et Mathématiques*, vol. 16, pp. 255-272.

SHABAN A.E.A., 2009. Effect of summer pruning and GA<sub>3</sub> spraying on inducing flowering and fruiting of Zebda mango trees. *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 5, pp. 337-344.

VINCENOT D., NORMAND F., AMOUROUX P., HOARAU I., JOAS J., LECHAUDEL M. et MICHELS T., 2009. Guide de production intégrée de mangues à la Réunion. [en ligne]. Cirad et Chambre d'Agriculture Réunion, 126 p.

Disponible sur : [http://cosaq.cirad.fr/content/download/4140/31207/version/1/file/Guide+PFI+\(3\).pdf](http://cosaq.cirad.fr/content/download/4140/31207/version/1/file/Guide+PFI+(3).pdf)

YESHITELA T., ROBBERTSE P.J. et STASSEN P.J.C., 2005. Effects of pruning on flowering yield and fruit quality in mango (*Mangifera indica*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 45, pp. 1325-1330.



## Table des figures

Figure 1 : Production (en tonnes) de mangues, mangoustans, et goyaves dans le monde en 2014 (FAOSTAT, 2014) .....	6
Figure 2 : les principaux importateurs de mangues en 2010 (MNS, 2011) .....	7
Figure 3 : les trois principales zones productrices de mangues à la Réunion (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009).....	9
Figure 4 : Port naturel d'un manguier isolé (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009).....	11
Figure 5 : Inflorescence d'un manguier Cogshall .....	11
Figure 6 : cycle phénologique du manguier à la Réunion (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009).....	12
Figure 7 : schéma de différents types d'unités de croissance (UC).....	13
Figure 8 : Schéma d'unités de croissance (UC) issues de croissance séquentielle et de répétitions.....	13
Figure 9 : Répartition des temps de travaux pour 1 Unité de Travail Humain (UTH) et 1 ha de manguiers (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009).....	16
Figure 10 : Représentation schématique de la taille annuelle du manguier (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009).....	17
Figure 11 : Représentation schématique de la méthodologie utilisée.....	25
Figure 12 : Schéma des mesures de la hauteur de l'arbre (m), de sa largeur sur le rang et sur l'inter-rang (m), et de la hauteur de sa jupe (m) sur manguier.....	26
Figure 13 : Masse fraîche totale enlevée par volume de canopée (kg/m <sup>3</sup> ) en fonction du gradient de taille après réajustement lors de la 2 <sup>ème</sup> taille .....	27
Figure 14 : exemple de taille selon les modalités n1, n2 et n3 du facteur F2 (sévérité de taille).....	27
Figure 15 : Rameau annelé (NORDEY, 2014) .....	31
Figure 16 : Quantité de biomasse fraîche retirée par volume de canopée (kg MF/m <sup>3</sup> ) en fonction du facteur F1 (intensité de taille).....	37
Figure 17 : Quantité de biomasse fraîche retirée par branche (g MF/branche) en fonction du facteur F2 (sévérité de taille).....	38
Figure 18 : Diamètre au point de coupe (mm) en fonction du facteur F2 (sévérité de taille) .....	39
Figure 19 : diamètre moyen des UC non taillées (terminales) en fonction de leur position .....	39
Figure 20 : Taux de débourrement (%) en fonction de l'arbre pour les modalités T1, T2 et T3 du facteur intensité de taille pour les UC taillées.....	40
Figure 21 : Taux de débourrement moyen en fonction du facteur F1 (A) et taux de débourrement en fonction du facteur F1 pour chaque modalité du facteur F2 (B) chez les UC taillées .....	41
Figure 22 : Taux de débourrement moyen en fonction du facteur F2 (A) et taux de débourrement en fonction du facteur F2 pour chaque modalité du facteur F1 (B) chez les UC taillées .....	41
Figure 23 : Taux de débourrement (%) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 pour les UC terminales non taillées .....	42
Figure 24 : Taux de débourrement moyen (%) en fonction du facteur F1 (A) et taux de débourrement (%) en fonction du facteur F1 pour les positions de l'UC (B) chez les UC terminales non taillées .....	42

Figure 25 : Taux de débourrement moyen (%) en fonction de la position de l'UC mère (A) et taux de débourrement (%) en fonction de la position de l'UC pour chaque modalité du facteur F1 (B) chez les UC terminales non taillées.....	43
Figure 26 : Intensité de débourrement moyenne (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F1 (A) et intensité de débourrement (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F1 pour les modalités du facteur F2 (B) pour les UC taillées.....	43
Figure 27 : Intensité de débourrement moyenne (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F2 (A) et intensité de débourrement (nombre d'UC/UC mère) en fonction du facteur F2 pour les modalités du facteur F1 (B) pour les UC taillées.....	44
Figure 28 : Intensité de débourrement (nombre d'UC filles par UC mère) en fonction du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC terminales non taillées .....	44
Figure 29 : Fréquence de débourrement des UC taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F1 (A) et fréquence de débourrement des UC taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F2 (B).....	45
Figure 30 : Fréquence de débourrement des UC terminales non taillées en fonction de la date (jour julien) pour les modalités F1 (A) et fréquence de débourrement des UC terminales non taillées en fonction de la date (jour julien) pour les positions (A : apicale et L : latérale) des UC mères (B) .....	46
Figure 31 : Taux de floraison (%) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B) ; la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison .....	47
Figure 32 : Taux de floraison (%) en fonction des arbres pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité T3 (C) du facteur F1 pour les UC filles des UC taillées .....	47
Figure 33 : Taux de floraison (%) en fonction du facteur F1 pour la modalité n1 (A), la modalité n2 (B) et la modalité n3 (C) du facteur F2 pour les UC filles des UC taillées.....	48
Figure 34 : Taux de floraison (%) en fonction des arbres pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité T3 (C) du facteur F1 pour les UC filles des UC terminales non taillées .....	48
Figure 35 : Intensité de floraison (nombre d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison .....	49
Figure 36 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour la modalité T1 (A), la modalité T2 (B) et la modalité (C) du facteur F1 pour les UC taillées et leurs UC filles.....	50
Figure 37 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction du facteur F1 pour la modalité n1 (A), la modalité n2 (B) et la modalité n3 (C) du facteur F2 pour les UC taillées et leurs UC filles .....	50
Figure 38 : Intensité de floraison (nombre moyen d'inflorescences par UC) en fonction de l'arbre pour les modalités du facteur F1 pour les UC terminales non taillées et leurs UC filles .....	51
Figure 39 : Dynamique de floraison pour la modalité T0 (A), la modalité T1 (B), la modalité T2 (C) et la modalité T3 (D) du facteur F1 (intensité de taille) pour les UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison .....	52
Figure 40 : Taux de croissance moyen des mangues (%) des 6 arbres suivis en fonction du temps.....	53
Figure 41 : Charge en fruits (nombre de fruits/m <sup>3</sup> de canopée) en fonction de l'arbre .....	54
Figure 42 : Masse fraîche moyenne des mangues à la récolte (g) en fonction de l'arbre .	54
Figure 43 : Masse fraîche moyenne des mangues à la récolte (g) en fonction de la charge en fruits de l'arbre (nombre de fruits/m <sup>3</sup> ) .....	55
Figure 44 : Dynamique de récolte des mangues pour les 6 arbres suivis lors de l'essai 255	

Figure 45 : Masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées récoltées (g) en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : branche annelée, na : branche non annelée).....	56
Figure 46 : Masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées récoltées (g) en fonction de l'arbre pour les modalités du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) .....	56
Figure 47 : Masse fraîche moyenne des mangues (g) à la récolte en fonction des facteurs E1 ((LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) et E3 (a : annelé, na : non annelé)	57
Figure 48 : Taux de matière sèche (%) des mangues échantillonnées et récoltées en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : annelé, na : non annelé).....	58
Figure 49 : Taux de matière sèche (%) des mangues échantillonnées et récoltées en fonction de l'arbre pour la modalité LF10 (A) et la modalité LF100 (B) du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit).....	58
Figure 50 : Taux de matière sèche soluble (degré Brix) moyen en fonction de l'arbre pour la modalité a (A) et la modalité na (B) du facteur E3 (a : annelé, na : non annelé) .....	59
Figure 51 : Taux de matière sèche soluble (degré Brix) moyen en fonction de l'arbre pour la modalité LF10 (A) et la modalité LF100 (B) du facteur E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) .....	59
Figure 52 : Brix des mangues (%) à la récolte en fonction des facteurs E1 (LF10 : 10 feuilles/fruit, LF100 : 100 feuilles/fruit) et E3 (a : annelé, na : non annelé) .....	60

## Table des tableaux

Tableau 1 : Les dix premiers pays producteurs de mangues dans le monde en 2012 (INFOCOMM, 2016).....	6
Tableau 2 : Les dix premiers pays exportateurs de mangues en 2012 (INFOCOMM, 2016) .....	7
Tableau 3 : Les dix premiers pays importateurs de mangue en 2012 (INFOCOMM, 2016)8	
Tableau 4 : Comparaison des rendements (t/ha), cours moyens (€/kg), produits bruts (€/ha/an), marges brutes (€/ha/an), revenus bruts mensuels (€/ha) et surfaces équivalentes au SMIC en vigueur en juillet 2008 (ha) des trois principales espèces fruitières pérennes à la Réunion (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009) .....	10
Tableau 5 : Interventions culturales en verger de manguiers (VINCENOT <i>et al.</i> , 2009) ...	15
Tableau 6 : Nombre de points de coupe par arbre selon les modalités des facteurs F1 et F2 .....	28
Tableau 7 : récapitulatif des facteurs E2 (H : forte charge en fruits de l'arbre, L : faible charge en fruits de l'arbre, HL-l : charge en fruits de l'arbre moyenne et de la charpentière faible, HL-h : charge en fruits de l'arbre moyenne et de la charpentière forte), E1 (LF10 : ratio de 10 feuilles pour 1 fruit, LF100 : ratio de 100 feuilles pour 1 fruit) et E3 (a : branche annelée, na : branche non annelée) et de l'application de leurs modalités sur les arbres pour l'essai 2 .....	31
Tableau 8 : Taux de chute des fruits échantillonnés en fonction de l'arbre et des facteurs E1 et E3.....	32
Tableau 9 : Proportions (%) d'UC apicales et latérales selon les modalités du facteur F1 (intensité de taille ; groupe a) et du facteur F2 (sévérité de taille ; groupes A et B) .....	38
Tableau 10 : Fréquences d'UC apicales et latérales par arbre.....	38
Tableau 11 : Proportions d'UC apicales et latérales (groupes a, b et c), et proportions de répétitions et d'UC issues de croissance séquentielle (groupes A et B) en fonction du facteur F1 (intensité de taille).....	40
Tableau 12 : Nombre de fruits récoltés par arbre pour les arbres de l'essai pour la saison 2017 .....	53
Tableau 13 : Actions à réaliser et nombre de personnes nécessaires pour les réaliser pour chaque mois pour l'essai 2.....	68
Tableau 14 : Comparaison des rendements moyen par hectare (t/ha) et du produit brut (€/ha/an) de manguiers éclaircis et de manguiers non éclaircis .....	69

## Table des matières

Remerciements .....	V
SOMMAIRE .....	VIII
Sigles .....	X
Abréviations.....	X
Introduction générale.....	2
PARTIE 1: Contexte de l'étude .....	4
1 Production et commercialisation de la mangue dans le monde et à la Réunion.....	6
1.1 Production de mangues dans le monde .....	6
1.1.1 Bref historique : des premiers manguiers cultivés aux vergers d'aujourd'hui .....	6
1.1.2 La production mondiale de mangues en quelques chiffres .....	6
1.2 Les échanges internationaux de mangues .....	7
1.2.1 Les principaux consommateurs, exportateurs et importateurs de mangues.....	7
1.2.1.1 L'offre : les pays exportateurs de mangues .....	7
1.2.1.2 La demande : les pays consommateurs et importateurs de mangues .....	7
1.2.2 Les produits à base de mangues commercialisés dans le monde.....	8
1.2.3 Les cours du marché de la mangue .....	8
1.3 Production et commercialisation de mangues à la Réunion.....	8
1.3.1 Répartition géographique des vergers de mangues .....	8
1.3.2 Les variétés cultivées à la Réunion .....	9
1.3.3 Commercialisation de mangues à la Réunion .....	9
2 L'arboriculture fruitière à la Réunion : le cas du manguiers .....	10
2.1 Le manguiers : caractéristiques botaniques, agronomiques et physiologiques .....	10
2.1.1 Caractéristiques botaniques du manguiers .....	10
2.1.2 Exigences écologiques et habitat du manguiers .....	12
2.1.3 Physiologie du manguiers .....	12
2.1.3.1 La croissance végétative du manguiers .....	12
2.1.3.2 Le repos végétatif du manguiers .....	14
2.1.3.3 La floraison du manguiers .....	14
2.1.3.4 La fructification du manguiers.....	14
2.2 Conduite d'un verger de mangues à la Réunion .....	15
2.2.1 Pratiques culturales pour la conduite d'un verger de mangues à la Réunion .....	15
2.2.2 Focus sur la taille et l'éclaircissage du manguiers .....	16
2.2.2.1 La taille du manguiers.....	16
2.2.2.2 L'éclaircissage du manguiers et les relations source-puit .....	17
2.2.3 Les problèmes agronomiques affectant la production de mangues.....	17
3 La recherche agronomique sur le manguiers au Cirad à la Réunion.....	18
3.1 Le Cirad, un organisme de recherche engagé dans la production fruitière intégrée.....	18
3.1.1 Le Cirad : mission, stratégies et fonctionnement .....	18
3.1.2 L'acquisition de connaissances des processus biologiques des cultures fruitières pérennes pour répondre aux objectifs de la production fruitière intégrée .....	19
3.2 Les études menées par le Cirad sur l'effet de l'architecture et des relations structurelles sur le comportement du manguiers .....	19
Problématique .....	21
PARTIE 2 : Matériel et méthodes.....	23
1 Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison .....	25
1.1 Dispositif expérimental de l'essai 1 .....	25
1.2 Méthode de l'essai 1 .....	26
1.2.1 Le facteur F1 : l'intensité de taille .....	26
1.2.2 Le facteur F2 : la sévérité de taille.....	27
1.3 Echantillonnage et suivi des UC pour l'essai 1 .....	28
1.3.1 Echantillonnage d'UC pour suivre la croissance végétative .....	28
1.3.1.1 Echantillonnage des UC terminales non taillées .....	28
1.3.1.2 Echantillonnage des UC taillées .....	28
1.3.2 Echantillonnage d'UC pour suivre la floraison.....	29
1.3.3 Suivi de la croissance végétative et de la floraison.....	29
2 Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte .....	29

2.1	Dispositif expérimental de l'essai 2.....	29
2.2	Méthode de l'essai 2.....	30
2.2.1	Le facteur E1 : le rapport feuilles-fruit de la branche.....	30
2.2.2	Le facteur E2 : la charge en fruits globale de l'arbre.....	30
2.2.3	Le facteur E3 : l'annelation ou non de la branche suivie.....	30
2.2.4	Echantillonnage des branches et application des traitements des facteurs E1, E2 et E3	31
2.3	Suivi de la croissance des fruits et analyse de leur qualité à la récolte.....	32
2.3.1	Echantillonnage des fruits pour le suivi de la croissance des fruits et de leur qualité à la récolte .....	32
2.3.2	Suivi de la croissance des fruits .....	32
2.3.3	Récolte et analyse de la qualité des fruits échantillonnés à la récolte .....	32
3	Analyses des données des essais 1 et 2 .....	32
3.1	Analyse des données de l'essai 1.....	32
3.1.1	Caractérisation de l'échantillon étudié.....	32
3.1.2	Calcul des variables à expliquer : taux, intensités et dynamiques de débourrement et de floraison .....	33
3.1.3	Etude de l'effet des facteurs F1 (intensité de taille) et F2 (sévérité de taille) sur les variables à expliquer.....	33
3.2	Analyse des données de l'essai 2.....	33
3.2.1	Etude du taux de croissance des fruits et de la dynamique de récolte .....	33
3.2.2	Etude de la charge en fruits des arbres.....	33
3.2.3	Etude de l'effet des facteurs E1 (rapport feuilles-fruit) et E3 (annelation ou non) sur les variables à expliquer .....	34
PARTIE 3 : Résultats .....		35
1	Essai 1 : effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison .....	37
1.1	Caractérisation de l'échantillon étudié .....	37
1.1.1	Caractérisation des UC taillées .....	37
1.1.2	Caractérisation des UC terminales non taillées .....	39
1.1.3	Caractérisation des UC échantillonnées pour le suivi global de la floraison.....	39
1.2	Effet de la taille sur la croissance végétative.....	40
1.2.1	Effet de la taille sur le taux de débourrement.....	40
1.2.1.1	Effet de la taille sur le taux de débourrement des UC taillées.....	40
1.2.1.2	Effet de la taille sur le taux de débourrement des UC non taillées.....	41
1.2.2	Effet de la taille sur l'intensité de débourrement .....	43
1.2.2.1	Effet de la taille sur l'intensité de débourrement des UC taillées .....	43
1.2.2.2	Effet de la taille sur l'intensité de débourrement des UC terminales non taillées	44
1.2.3	Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC.....	45
1.2.3.1	Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC taillées.....	45
1.2.3.2	Effet de la taille sur la dynamique de débourrement des UC terminales non taillées	45
1.3	Effet de la taille sur la floraison.....	46
1.3.1	Effet de la taille sur le taux de floraison.....	46
1.3.1.1	Effet de la taille sur le taux de floraison global des arbres .....	46
1.3.1.2	Effet de la taille sur le taux de floraison des UC filles des UC taillées .....	47
1.3.1.3	Effet de la taille sur le taux de floraison des UC filles des UC terminales non taillées	48
1.3.2	Effet de la taille sur l'intensité de floraison .....	48
1.3.2.1	Effet de la taille sur l'intensité de floraison globale des arbres.....	48
1.3.2.2	Effet de la taille sur l'intensité de floraison des UC taillées et de leurs UC filles.....	49
1.3.2.3	Effet de la taille sur l'intensité de floraison des UC terminales non taillées et de leurs UC filles .....	50
1.3.3	Effet de la taille sur la dynamique de floraison.....	51
2	Essai 2 : effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte .....	53
2.1	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des mangues des 6 arbres suivis .....	53
2.2	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur les caractéristiques des arbres échantillonnés à la récolte .....	53

2.2.1	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le nombre de fruits récoltés et leur masse fraîche .....	53
2.2.2	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la dynamique de récolte .....	55
2.3	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la qualité des mangues échantillonnées à la récolte .....	56
2.3.1	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la masse fraîche moyenne des mangues échantillonnées à la récolte.....	56
2.3.2	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le taux de matière sèche des mangues échantillonnées à la récolte.....	57
2.3.3	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur le taux de matière sèche soluble (degré Brix) des mangues échantillonnées à la récolte .....	58
PARTIE 4 : Discussion .....		62
1	Effet de pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier .....	63
1.1	Effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison .....	63
1.1.1	La taille stimule la croissance végétative du manguier .....	63
1.1.2	La taille perturbe la floraison du manguier .....	63
1.1.3	Effet de la taille sur l'élaboration du rendement du manguier .....	63
1.2	Effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte.....	64
1.2.1	L'éclaircissage n'a pas eu d'effet sur le taux de croissance et la dynamique de récolte des fruits .....	64
1.2.2	L'éclaircissage permet d'améliorer la qualité des fruits à la récolte .....	64
2	Limites de l'étude de l'effet des pratiques culturales sur l'élaboration du rendement du manguier.....	65
2.1	Limites méthodologiques .....	65
2.1.1	Limites de la méthodologie mise en place pour l'essai 1 .....	65
2.1.2	Limites de la méthodologie mise en place pour l'essai 2 .....	65
2.2	Absence d'études complémentaires .....	66
2.2.1	Absence de prise en compte des facteurs exogènes à l'arbre .....	66
2.2.2	Absence d'étude sur l'alternance de production .....	66
2.2.3	Absence d'études sur les autres variétés de manguiers.....	66
2.3	L'éclaircissage : une pratique culturale peu mise en place .....	66
2.3.1	La contrainte du temps/main d'œuvre .....	66
2.3.2	La contrainte technique .....	66
3	Propositions .....	67
3.1	Modifier les modalités de charge en fruits de l'arbre, d'annellation et de rapport feuilles-fruit de l'essai sur l'effet de l'éclaircissage et de la répartition de la charge en fruits dans l'arbre sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte.....	67
3.1.1	Essai sur la masse fraîche moyenne des fruits en fonction de la charge en fruits de l'arbre .....	67
3.1.2	Essai sur la croissance des fruits et leur qualité à la récolte en fonction du rapport feuilles-fruit et de l'annellation ou non de la branche .....	67
3.2	Répéter les essais mis en place .....	67
3.2.1	Répéter les essais dans le temps et dans l'espace et sur d'autres variétés.....	67
3.2.2	Répéter les essais sur les arbres déjà suivis pour évaluer l'effet des pratiques culturales sur l'alternance de production du manguier .....	68
3.2.3	Adapter le facteur humain aux besoins de main d'œuvre des différents suivis pour lors de la répétition de l'essai 2 .....	68
3.3	Envisager l'éclaircissage comme une pratique culturale permettant d'améliorer les rendements du manguier et la qualité de ses fruits .....	69
3.3.1	L'éclaircissage permet un apport économique .....	69
3.3.2	Apporter un soutien technique aux producteurs de mangues.....	70
Conclusion générale.....		72
Références bibliographiques.....		74
Table des figures .....		79
Table des tableaux .....		82
Table des matières .....		83
Table des annexes .....		93



## **ANNEXES**



A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1
A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2
A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3	I3
A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4	H4	I4
A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5	H5	I5
A6	B6	C6	D6	E6	F6	G6	H6	I6
A7	B7	C7	D7	E7	F7	G7	H7	I7
A8	B8	C8	D8	E8	F8	G8	H8	I8
A9	B9	C9	D9	E9	F9	G9	H9	I9
A10	B10	C10	D10	E10	F10	G10	H10	I10
A11	B11	C11	D11	E11	F11	G11	H11	I11
A12	B12	C12	D12	E12	F12	G12	H12	I12
A13	B13	C13	D13	E13	F13	G13	H13	I13
A14	B14	C14	D14	E14	F14	G14	H14	I14
A15	B15	C15	D15	E15	F15	G15	H15	I15
A16	B16	C16	D16	E16	F16	G16	H16	I16
A17	B17	C17	D17	E17	F17	G17	H17	I17

Arbres suivis lors  
de l'essai 1

Arbres suivis lors  
de l'essai 2

Annexe 1 : Plan du verger de manguiers utilisé pour les essais 1 et 2

Annexe 2 : Stades végétatifs du manguier (d'après NORMAND F.)

**Stade A** : repos végétatif, bourgeons végétatifs non gonflés



**Stade B1**  
Gonflement du bourgeon,  
sans ouverture des écailles



**Stade B2**  
Début d'ouverture du  
bourgeon, feuilles serrées



**Stade C**  
Ouverture du bourgeon,  
feuilles écartées



**Stade D**  
Début d'élongation de  
l'unité de croissance,  
pétioles orientés à environ  
45°, limbes pliés par rapport  
à la nervure centrale



**Stade E**  
Elongation de l'unité de  
croissance, pétioles  
orientés à environ 90°,  
limbes à demi ouverts par  
rapport à la nervure  
centrale et commençant à  
retomber



**Stade F**  
Fin de l'élongation de  
l'unité de croissance,  
pétioles orientés à environ  
135°, limbes ouverts par  
rapport à la nervure  
centrale et retombant



**Stade G**  
Fin de l'élongation de  
l'unité de croissance,  
décoloration et remontée  
des feuilles, pétioles  
orientés à environ 90°



**Stade H**  
Unité de croissance adulte,  
pétioles orientés à environ  
45-60°, limbes verts

Annexe 3 : Stades phénologiques reproducteurs du manguier (d'après NORMAND F.)



**A**      **B**      **C**      **D1**      **D2**      **E**      **F**      **G**

**Stade A:** Bourgeon gonflé en forme d'ogive, vert clair, écailles protectrices non ouvertes.

**Stade B :** Elongation et début d'ouverture du bourgeon, les écailles s'écartent au sommet du bourgeon, apparition de l'inflorescence (bractées).

**Stade C :** Ouverture du bourgeon, les écailles sont complètement écartées et chutent, bractées de l'inflorescence bien visibles.

**Stade D1 :** Début de l'élongation de l'inflorescence, bractées toutes présentes et axes secondaires parallèles à l'axe principal de l'inflorescence.

**Stade D2 :** Elongation de l'inflorescence, les axes secondaires s'écartent de l'axe principal à partir de la base de l'inflorescence, chute des bractées.

**Stade E :** Fin de l'élongation de l'inflorescence, axes secondaires bien visibles, pas de fleur ouverte à quelques fleurs ouvertes.

**Stade F :** Floraison, présence de fleurs ouvertes et de boutons floraux sur l'inflorescence.

**Stade G :** Fin de la floraison, plus que quelques fleurs ouvertes, nombreuses fleurs sèches et présence de petits fruits verts.

Annexe 4 : Gamme de maturité de la mangue Cogshall



Les 7 stades visuels de maturité :

V (Vert) : apex de couleur vert foncé et homogène

T (Tournant) : éclaircissement vert clair au niveau de l'apex

PJ25 (Point Jaune) : couleur jaune marquée au niveau de l'apex et étendue sur 25% ou moins de la mangue

PJ50 (Point Jaune) : couleur jaune étendue sur 26 à 50% de la mangue

PJ75 (Point Jaune) : couleur jaune étendue sur 51 à 75% de la mangue

M (Mûre) : couleur jaune étendue 76 à 90% de la mangue, il reste encore un peu de vert

MM (Surmature) : mangue entièrement jaune, teinte orangée

## **Table des annexes**

Annexe 1 : Plan du verger de manguiers utilisé pour les essais 1 et 2.....	89
Annexe 2 : Stades végétatifs du manguiers (d'après NORMAND F.).....	90
Annexe 3 : Stades phénologiques reproducteurs du manguiers (d'après NORMAND F.)..	91
Annexe 4 : Gamme de maturité de la mangue Cogshall .....	92