

Effet des éclaircies par dévitalisation en forêt tropicale humide

Étude de cas en forêts d'Organabo et Risquetout
en Guyane Française



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
Dominante d'approfondissement : Gestion Forestière (GF)

« Il faut se méfier de la souche qui dort »

Effet des éclaircies par dévitalisation en forêt tropicale humide

Étude de cas en forêts d'Organabo et Risquetout
en Guyane Française

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
Dominante d'approfondissement : Gestion Forestière (GF)

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVES

AgroParisTech	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : Effet des éclaircies par dévitalisation en forêt tropicale humide Étude de cas en forêts d'Organabo et Risquetout en Guyane Française	Mots clés : <i>éclaircie, forêt tropicale humide, dynamiques forestières, modélisation, Guyane française</i>
AUTEUR(S) : Aurélie CUVELIER	Promotion : Gestion Forestière 2015 - 2016
Caractéristiques : 1. Volumes ; 65. Pages ; 29. Figures ; 6. Annexes ; 0. Cartes ; bibliographie	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : ONF pôle RDI de Cayenne (Guyane Française)		
Nom du responsable : Laurent DESCROIX Fonction : responsable pôle RDI à l'ONF Guyane		
Nom du correspondant AgroParisTech : Stéphane TRAISSAC		
<input type="checkbox"/> Spécialité	<input type="checkbox"/> Stage 2A <input checked="" type="checkbox"/> Stage fin d'études Date de remise : 17 octobre 2016	<input type="checkbox"/> Autre

SUITE À DONNER (réservé au Service des Etudes)
<input checked="" type="checkbox"/> Consultable et diffusable <input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente <input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../....., puis diffusable

RÉSUMÉ

En Guyane française, les opérations de récolte sont réalisées par des prélèvements de gros bois, à l'exclusion de toute pratique culturale d'éclaircie. Pourtant, l'intérêt des éclaircies dans la dynamisation des peuplements résiduels a été étudié en forêt tropicale humide partout dans le monde. La sylviculture actuelle impose des rotations longues, de l'ordre de 65 ans, dans le but de permettre le renouvellement des huit essences commerciales majeures principales et il n'est actuellement pas possible de réduire cette longue durée. Le dispositif des forêts-pilotes de Risquetout et d'Organabo a été mis en place dans les années 1990 par l'Office National des Forêts (en partenariat avec le Cirad) afin d'étudier les dynamiques de peuplements commerciaux après éclaircie sélective par dévitalisation. La présente étude s'inscrit dans la poursuite de l'acquisition de connaissances sur ces forêts-pilotes, après qu'un quatrième cycle d'inventaires ait été réalisé une douzaine d'années après dévitalisation. L'étude des quatre inventaires est axée sur le point de vue du gestionnaire forestier : les croissances en diamètres ont été analysées (notamment par modélisation), de même que les variables de mortalité et de production annuelle. Des tendances ont été acquises sur la caractérisation des arbres à dévitaliser selon telle ou telle espèce objective, à tel ou tel diamètre. Enfin, l'application éventuelle de ces résultats a été discutée, notamment en lien avec (1) les changements climatiques observés, provoquant des épisodes de sécheresse plus longs et (2) le contexte technico-économique actuel, qui ne permet pas forcément la mise en place de travaux sylvicoles en forêt guyanaise à grande échelle.

ABSTRACT

In French Guiana, logging operations are realized by cutting high diameter trees, excluding thinning treatments. However, the advantages of thinning for residual stands in moist tropical forest have been worldwide studied. The current silviculture requires long revolutions, around 65 years, aiming to enable the renewal of the eight main commercial species and it is currently not possible to reduce this duration. The Risquetout and Organabo forest experiments have been created in the 1990s by the ONF – French national office for public forests – with the Cirad – French agricultural research for development center – to study commercial stands dynamics after thinning by devitalization. This study is part of the continued acquisition of knowledge on these pilot forests after a fourth round of inventories has been made a dozen years after devitalization. The study of the four inventories focuses on the forest manager's point of view : the growth in diameters were analyzed (including modeling), as well as the variables of mortality and annual production. Species and diameters gave us trends for the devitalisation choices. Finally, the potential application of these results has been discussed, linked especially with (1) observed climate changes, causing longer drought periods, and (2) current technical and economic contexts, which make difficult the use of silvicultural treatments in French Guiana forests.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à mes tuteurs de stage, Laurent DESCROIX et Bruno HÉRAULT pour m'avoir permis de réaliser cette riche étude. Laurent, merci pour ton suivi et ta très grande disponibilité, malgré la distance Kourou – Cayenne et l'obligation de passer par le téléphone. Bruno, merci également pour ton suivi, pour l'accueil à l'UMR EcoFoG, ainsi que pour ton aide précieuse en modélisation.

Je tiens à remercier tout particulièrement Vincent BEZARD et Gael BODEVIN pour leur travail intensif dans l'acquisition, la correction et la transmission des différents inventaires. Votre rapidité et votre efficacité m'ont permis d'avancer sans jamais être bloquée.

Merci également à Stéphane TRAISSAC : tes conseils pédagogiques concernant mon mémoire m'ont permis de prendre un recul très intéressant sur mes analyses.

À une échelle plus large que celle de ma simple étude, je voudrais remercier Laurent DESCROIX, Bruno HÉRAULT, Stéphane TRAISSAC et Bruno FERRY pour m'avoir laissé le temps de terminer ce mémoire rigoureusement en regard des circonstances. Un grand merci pour votre compréhension.

Ensuite, je tiens à remercier Élodie, collègue de bureau et presque-quasiment-docteure en écologie, pour ses conseils et son aide lorsque j'en avais besoin ainsi que sa relecture express de mes analyses. De même, merci à Marianne pour son aide en modélisation, dont le principe me paraît nettement moins obscur depuis nos discussions. Enfin, merci au petit Grégory, FIF 24 en vadrouille, pour le temps passé ensemble à apprivoiser Rstudio jusqu'à pas d'heure.

À Aynès, petite dédicace concernant nos interminables (et interminés !) débats sur le calcul des temps de retour. Et pourtant, que c'est logique !

Petite pensée pour Bruno CLAIR, précédent tuteur de stage sur le bois de tension, pour m'avoir donné l'envie de revenir travailler dans ces chères forêts de Guyane plusieurs années, pour nos discussions sur l'avenir des forêts aménagées et pour son amitié. Parce qu'un étudiant en césure, c'est comme un petit simarouba qui pousse penché : il lui faut un excellent tuteur pour le faire grandir dans le droit chemin.

Merci aux copains stagiaires du campus, ce stage et la (re)découverte de la Guyane auraient été bien plus fades sans vous : Greg, Marianne, Anna, Camille, Robin, Hugo, Benoit, Nico et Seb.

Une dernière petite pensée va à tout ceux qui, de près ou de loin, on rendu ces quatre années d'École richissimes : enseignants, tuteurs de stage et collègues, sans oublier mes camarades de promotion. Moi qui voulais soigner des bêtes, me voilà plus que comblée en bichonnant des arbres !

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION.	7
1 LA FORÊT GUYANAISE : SON CONTEXTE, SON EXPLOITATION, ET L'ÉVOLUTION DE SA GESTION	8
1.1 Situation générale de la forêt guyanaise	8
1.1.1 Géographie	8
1.1.2 Mise en place du bouclier des Guyane	9
1.1.3 Un climat particulier : le climat équatorial	9
1.1.4 Des habitats forestiers très variés	10
1.2 Historique de la gestion jusqu'à la gestion actuelle	10
1.2.1 D'une exploitation « minière » à la mise en place de permis	10
1.2.2 La gestion actuelle et ses conséquences	11
2 LES ÉCLAIRCIES EN FORÊT TROPICALE HUMIDE : ÉTAT DES LIEUX ET HYPOTHÈSES	11
2.1 L'étude des éclaircies en forêt tropicale humide	12
2.1.1 À l'échelle de la planète	12
2.1.2 La station expérimentale de Paracou, une référence en Guyane.	13
2.2 Le dispositif « forêts-pilotes » de l'ONF	13
2.2.1 Des parcelles variées permettant de nouvelles hypothèses.	13
2.2.2 Localisation et protocole	14
2.2.3 Modalités testées	16
2.3 Les questions que se pose le gestionnaire	18
3 DÉMARCHE DE L'ÉTUDE ET RÉSULTATS	18
3.1 Chronologie de la réflexion	18
3.2 Inventaires à disposition	19
3.2.1 Une base de données exceptionnelle	19
3.2.2 Des limites à prendre en compte	20
3.2.3 La nécessité d'un apurement	20
3.3 Une stimulation de la croissance explicite	21
3.3.1 Impacts sur une mesure classique pour le forestier : le diamètre	21
3.3.2 Des essences commerciales principales favorisées ?	24
3.3.3 Vision sur le court terme : quels diamètres dynamisés ?	27
3.3.4 Conclusion : peut-on prévoir la réaction de chaque arbre ?	28
3.4 Conséquence : un retour rapide au capital initial ?	34
3.4.1 Vérification : quelle est l'évolution de la surface terrière ?	34
3.4.2 Une forte mortalité imprévisible	37
3.4.3 Bilan : la mortalité est-elle finalement compensée ?	42
4 INTÉRÊT DES ÉCLAIRCIES ET PERSPECTIVES	43
4.1 Réflexion autour de l'intérêt des éclaircies en FTH	43
4.2 Mais : des éclaircies impossible à mettre en place actuellement	44

4.3 Poursuite de l'acquisition de connaissances : quel avenir pour les forêts-pilotes ?	45
CONCLUSION	46
RÉFÉRENCES	47
PERSONNES RESSOURCES DE L'ÉTUDE	49
ANNEXES	50

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE A – LOCALISATION DES PLACETTES AU SEIN DE CHAQUE FORÊT-PILOTE.	51
ANNEXE B – LISTE DES ESSENCES ET CATÉGORIES COMMERCIALES.	53
ANNEXE C – SCHÉMAS ET EXPLICATIONS DES TROIS MODALITÉS	57
ANNEXE D – PRÉSENTATION DES MODÈLES DE CROISSANCES.	59
ANNEXE E – RECHERCHE D'OPTIMA D'ÉCLAIRCIE.	61
ANNEXE F – RÉPARTITION SPATIALE DE LA MORTALITÉ EN PÉRIODE 1	65

LISTE DES FIGURES

1	Répartition de la gestion et de la fonction de la forêt guyanaise (issu de : Guide de sylviculture, référence [19])	8
2	Localisation des deux forêts-pilotes	14
3	Schéma du dispositif pour une forêt	15
4	Photographie et explication d'une dévitalisation	15
5	Schéma descriptif de la modalité 2 pour Risquetout (pour Organabo, remplacer $D_c \geq 37,5$ cm par $D_c \geq 57,5$ cm)	17
6	Évolution de la croissance en diamètre en fonction de la période entre deux inventaires, selon la forêt (en ligne) et la modalité (en colonne)	22
7	Évolution de la croissance en diamètre en fonction de l'intensité de dévitalisation toutes périodes confondues	23
8	Évolution de la croissance en diamètre en fonction de l'intensité de dévitalisation et de la période	23
9	Évolution du gain de croissance de six ECMP en fonction de la période	25
10	Gain des différents groupes de croissance en fonction de la période	26
11	Gain de croissance en fonction de la classe de diamètre et de la période	27
12	Gain de croissance par rapport au DME et de la période	28
13	Gain de croissance en fonction de l'ECM, de la classe de diamètre, et de la période	29
14	Explication simplifiée du modèle	30
15	Variation de réponse à l'éclaircie en fonction de la variation de vitesse de croissance des essences	31
16	Variation de réponse à l'éclaircie en fonction de la variation de vitesse de croissance des classes de diamètre	32
17	Évolution de la surface terrière en fonction du temps (par inventaire) pour chaque parcelle	35
18	Évolution du ratio de surface terrière entre traités et témoins en fonction du temps	35
19	Moyennes annuelles de recrutement (gris clair), de mortalité (gris foncé), croissance (gris moyen) et de leur somme (losange blanc) en surface terrière, en fonction du temps	36
20	Répartition de la mortalité en période 1 sur la placette Ris. 05	38
21	Comparaison traité – témoin des types de mortalité en période 1	39
22	Différence de mortalité (en surface terrière, m^2/ha) entre placettes traitées et témoins, pour la période 1	40
23	Proportion de chaque type d'essences (commerciales uniquement) dans la mortalité	41

LISTE DES TABLEAUX

1	Tableau récapitulatif des traitements sylvicoles appliqués à Paracou	13
2	Dates des inventaire successifs par parcelle (date installation = Inv. 1)	16
3	Propriétés des inventaires par parcelle	17
4	Variation du gain de croissance en diamètre selon la période (P) entre deux inventaires successifs (placettes traitées)	22
5	Croissance moyenne de six ECMP sur les placettes témoins (l : lente, nr : normale à rapide, r : rapide)	24
6	Résultat de la recherche d'optima pour 6 ECMP (les tirets représentent une absence d'optimum)	33

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Établissements et institution :

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

ÉcoFoG : pour « ÉCOlogie des FORêts de Guyane »

ONF : office national des forêts

PAG : parc amazonien de Guyane

UMR : unité mixte de recherche

Vocabulaire spécifique à l'étude des forêts tropicales humides :

DBH : diamètre à hauteur de 1,30 m (en cm) (*diameter at breast height*)

DME : diamètre minimum d'exploitabilité

ECM : essence commerciale majeure

ECMA : essence commerciale majeure autre

ECMP : essence commerciale majeure principale

EFI : exploitation à faible impact

FTH : forêt tropicale humide

G : surface terrière (en m²/ha)

N : nombre de tige (par hectare en général)

Dispositif des forêts-pilotes :

FP : forêt-pilote

M1, M2 et M3 : modalité 1, modalité 2 et modalité 3

Org. : Organabo

Ris. : Risquetout

INTRODUCTION

Mille cinq cent quatre-vingt-cinq.

C'EST le nombre d'espèces d'arbres de plus de 10 cm de diamètre recensées en Guyane française en 2009. Pourtant, seules trois d'entre elles représentent 75 % du volume exploité sur les 2,4 millions d'hectare qui forment le Domaine Forestier Permanent (DFP), dans lequel s'effectue l'intégralité de l'exploitation forestière en Guyane. Ce nombre d'essences très limité, couplé à un climat changeant caractérisé notamment par des saisons sèches plus longues, pose la question non seulement du renouvellement du stock d'arbres commerciaux, mais aussi de la diversification des essences exploitées.

Actuellement, et du fait du complexe milieu aux nombreuses interactions que constituent les écosystèmes forestiers tropicaux humides, les recommandations sylvicoles sont les suivantes : prélèvement de 4 à 5 tige/ha commerciales, soit un volume de grume de 20 à 25 m³/ha. Ce faible prélèvement a notamment pour but de limiter les impacts et l'ouverture de la canopée sur le peuplement restant. La durée de rotation est fixée à 65 ans et, contrairement à la majorité des itinéraires sylvicoles de forêt tempérée, ceux de la Guyane française n'ont pas prévu d'opération d'éclaircie.

Cependant, des expérimentations sont actuellement poursuivies sur quelques parcelles gérées par l'Office National des Forêts (ONF), en lien avec le Cirad, dans le but d'enrichir continuellement nos connaissances sur les dynamiques forestières et d'améliorer l'enrichissement et la qualité en essences commerciales. Ces dispositifs, mis en place dans les années 1990, ont fait l'objet d'un compte-rendu intermédiaire en 2008. Depuis, de nouveaux inventaires ont été initiés, et les dernières données à disposition sont datées de l'été 2016. C'est dans ce cadre que se place la présente étude.

À la suite d'une description plus complète de l'état actuel de la forêt guyanaise et de son exploitation pour situer le contexte de l'étude, nous ferons rapidement la synthèse des différentes expérimentations d'éclaircies existant en forêt tropicale humide avant de nous focaliser sur le dispositif des forêts-pilotes de l'ONF. Nous verrons ensuite quelles sont les conséquences des éclaircies sur les dynamiques de peuplement, avant de discuter leurs potentiels intérêts sylvicoles.

1 LA FORÊT GUYANAISE : SON CONTEXTE, SON EXPLOITATION, ET L'ÉVOLUTION DE SA GESTION

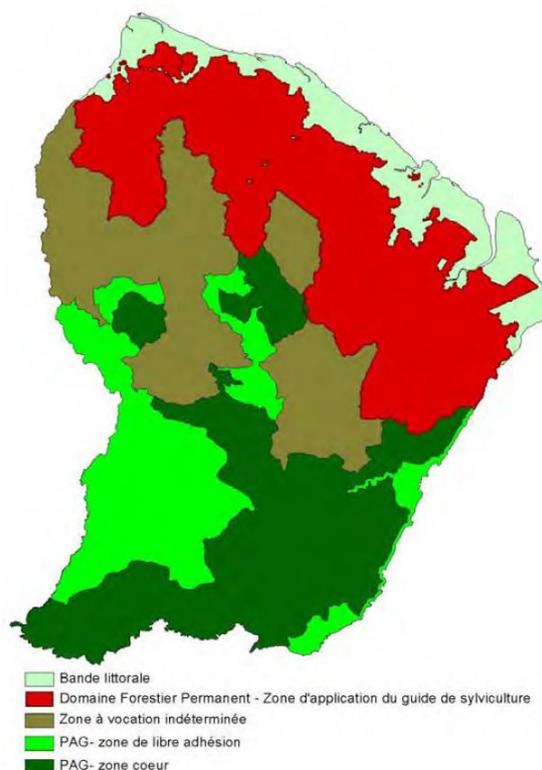
CETTE partie a pour objectif de localiser la forêt guyanaise, de la décrire, et de décrire les conditions géographiques et climatiques qui la façonnent. Un bref historique de la gestion forestière en Guyane – allant jusqu'à la gestion actuelle – permettra de discuter de la nécessité de poursuivre la recherche sur les dynamiques forestières afin d'affiner la sylviculture en forêt guyanaise.

1.1 Situation générale de la forêt guyanaise

1.1.1 Géographie

Pour se rendre en forêt à la sortie de l'aéroport de Matoury, il suffit de faire quelques kilomètres en direction de l'intérieur des terres. Dire que la forêt est omniprésente dans ce département et région d'outre-mer (DROM) n'est en aucun cas une exagération : celle-ci recouvre 96 % des 83 534 km² qui en forment la superficie¹ (source : INSEE).

FIGURE 1 – Répartition de la gestion et de la fonction de la forêt guyanaise (issu de : Guide de sylviculture, référence [19])



Toute la forêt n'est pas exploitée (cf. carte en FIGURE 1). Le territoire à vocation notamment de production est le domaine forestier permanent (DFP). Il ne couvre pas la bande littorale (760 000 ha), mais est localisé au nord du département. Il s'étend sur une centaine de kilomètres vers le sud, avant de laisser place à une vaste zone à vocation pour le moment encore indéterminée gérée par l'ONF (2 100 000 ha). Puis, au sud, le Parc amazonien de Guyane (PAG) prend le relais avec 2 000 000 ha de zone de cœur et 1 300 000 ha de zone de libre adhésion sous gestion de l'ONF.

1. en réalité, elle varie de 81 000 à 91 000 km² selon les atlas, du fait de la continuelle variation du trait de côte et de la présence d'un conflit pour la localisation d'une frontière France – Surinam au sud-ouest.

1.1.2 Mise en place du bouclier des Guyane

La Guyane, seul territoire français en Amérique du Sud, fait partie de l'ensemble géographique du craton du bouclier des Guyanes, qui commence à l'ouest avec le Venezuela, se poursuit vers l'est par le Guyana, le Suriname, la Guyane française et se termine par l'état de Macapa au Brésil. Par définition, cela se traduit par une roche-mère composée majoritairement de roches magmatiques voire métamorphiques mises en place au Précambrien (il y a plus de 570 millions d'années) et qui affleurent directement (Ferry *et al.* (2003) [14]).

Les principaux événements ayant façonné la géologie de la Guyane sont les suivants :

- De - 100 millions d'années à - 1 million d'années : une transgression a érodé les quelques sédiments déposés sur les roches magmatiques, laissant apparaître ce que l'on nomme aujourd'hui des inselbergs ;
- De - 1 million d'années à - 10 000 ans : les dépôts sédimentaires provoqués par le fleuve Amazone ont entraîné une élévation de 40 m dans l'ouest guyanais, et une subsidence dans l'est.

Cette géomorphologie explique à elle seule l'habitat d'un tiers des espèces d'arbres. Elle explique aussi en partie l'édaphologie des forêts de Guyane. En effet, la pédogénèse est issue de l'altération des roches magmatiques et métamorphiques formant le socle. Du fait de la forte pluviosité, un drainage vertical est observé, entraînant une érosion chimique et donc un épaissement du sol par le bas ; un drainage latéral est également mis en place, dû au ruissellement des pluies, amincissant le sol par le haut.

Il en résulte cinq grands types de sol : des sols poreux épais (ferrasols), des sols peu épais sur saprolite (littéralement : roche pourrie) (acrisols), des sols peu épais sur cuirasse (plinthosols), des sols très hydromorphes (gleysols) et enfin des sables blancs (podzols). Tous ces sols sont en général pauvres (Freycon *et al.* (2003) [15]).

1.1.3 Un climat particulier : le climat équatorial

Le climat de la Guyane, équatorial, est composé de quatre saisons assez marquées :

- Une grande saison des pluies, d'avril à juin ;
- Une saison sèche, de juillet à novembre ;
- Une petite saison des pluies, de décembre à février ;
- Un « petit été de mars », en mars.

C'est durant la grande saison des pluies que la majeure partie des 2 500 à 4 000 mm de précipitations annuelle tombent. Au contraire, la grande saison sèche est caractérisée par une absence totale de précipitations, ce qui se répercute sur la croissance des arbres du fait de la drastique diminution de l'apport en eau.

Grâce à la constante humidité relative (toujours supérieure à 80 %), les feux de forêt sont des événements qui ne se produisent jusqu'à maintenant jamais. Justement, la forêt sert en général de barrière pour arrêter les feux de savanes (dus, par exemple, à la technique du brûlis en agriculture). De même, malgré une exposition aux Alizés du sud est, la forêt guyanaise n'est pas soumise aux cyclones ni même aux tempêtes. La forêt guyanaise n'est donc pas soumise à d'éventuelles catastrophes naturelles.

Côté températures, la moyenne annuelle est de 26°C, et les minimales et maximales enregistrées sur la période 1981 – 2010 sont de 24,2°C et 29,7°C respectivement (source : Météo France). La dernière décennie a été marquée par une augmentation globale de la température, ce qui n'est pas sans répercussion sur les dynamiques forestières, chaque espèce ne réagissant pas forcément pareil que sa voisine à l'augmentation combinée de la température et de la durée de la sécheresse (Fargeon *et al.* (2016) [12]).

1.1.4 Des habitats forestiers très variés

Il est important d'introduire brièvement ici la notion d'habitat forestier, dont la cartographie a récemment été améliorée (*Catalogue des habitats forestiers de Guyane* [18]). En effet, si dans l'imaginaire collectif la forêt tropicale humide est une unique entité composée d'arbres, de palmiers et de lianes, la réalité démontre une diversité de milieux bien plus importante dont le gestionnaire doit tenir compte.

Redéfinis en 2014 à partir de quatre variables (la géomorphologie, le fait d'être en bas fond ou sur terre-ferme, la pédologie et l'altitude), ces habitats suivent une hiérarchie à trois niveaux : six habitats génériques sont découpés en treize habitats principaux, divisés eux-mêmes en un total de douze habitats particuliers (ou secondaires). Dans la gestion courante, cela se traduit pas des conditions stationnelle, de végétation et de composition faunistique variables d'un habitat à l'autre dont il faut tenir compte afin d'effectuer une gestion forestière durable – ce qui n'a pas toujours été le cas, comme nous allons le voir dans la prochaine sous-partie.

1.2 Historique de la gestion jusqu'à la gestion actuelle

Si l'aménagement des forêts guyanaises, qualifié aujourd'hui de durable, a pour objectif entre autres d'assurer le maintien du stock d'arbres commerciaux et leur renouvellement, il n'en a pas toujours été ainsi (*Directives régionales d'aménagement – Région Nord Guyane* [5]).

1.2.1 D'une exploitation « minière » à la mise en place de permis

Avant 1852, l'exploitation forestière en Guyane était de type « minière », c'est-à-dire que les arbres étaient prélevés ponctuellement, en fonction des besoins. Les amérindiens en étaient les principaux utilisateurs, cueillant des fruits, chassant le gibier et récoltant de la gomme. Leurs abattis-brûlis n'avaient que de faibles impacts sur la forêt. Les premières vraies récoltes de bois ont débuté avec l'installation de la Colonie, en 1817. Là encore, l'exploitation n'avait qu'un modeste impact.

La mise en place d'une exploitation *organisée* a été une conséquence de la création de l'Administration Pénitentiaire et du bagne. Une grande partie des bagnards ont alors été envoyés dans les camps forestiers, qui avaient pour tâches le défrichage, la construction en bois et la production de charbon de bois. Les volumes sciés atteignèrent alors 2 400 m³/an et cela dura jusqu'en 1946. Parallèlement, les premiers permis forestiers ont été mis en place. Ils étaient valables un an, renouvelables à vie, mais la récolte portait sur un nombre tellement réduit d'essences qu'elle restait très peu intensive.

Les débuts de la gestion forestière durable se situent entre 1946 et 1976. C'est également le début des inventaires. Les premiers aménagements forestiers, quant à eux, ont été rédigés entre 1994 et 1998, suite à la célèbre conférence de Rio en 1992. Depuis, environ 80 000 m³ de bois sont sciés par an.

1.2.2 La gestion actuelle et ses conséquences

Dans le cadre des principes de l'Exploitation à Faible Impact (EFI) – *Reduction Impact Logging* — qui se sont développés et consolidés dans les forêts tropicales dans les années 1990 à 2000, la Guyane a entrepris une démarche de certification PEFC avec comme aboutissement l'adoption et l'application de la Charte EFI à partir de 2010.

Actuellement, les principaux éléments de gestion portés par cette charte sont les suivants :

- la rotation est fixée à 65 ans, valeur déterminée à partir du dispositif expérimental de Paracou ;
- le diamètre minimal d'exploitabilité (DME) est de 55 cm, sauf pour le wacapou et certains bois précieux (45 cm) ;
- le prélèvement est de cinq tiges par hectare, et concerne les huit essences commerciales principales², ce qui représente 25 m³/ha ;
- certains arbres sont désignés en réserve : les semenciers, les arbres d'avenir (un à deux par hectare), les arbres indispensables à la faune, etc. dans un objectif de gestion à long terme.

Ces consignes sont globalement appliquées à tout le DFP. Elles tiennent de plus en plus compte des dynamiques propres à chaque habitat forestier dont la grande diversité a été évoquée dans la partie précédente, celle-ci pouvant mener par exemple à des croissances en diamètre variables selon la localisation géographique mais aussi édaphique de telle ou telle espèce. Cependant, de nombreuses connaissances sont encore manquantes sur les dynamiques forestières. Parmi celles-ci, la réponse des essences commerciales à l'éclaircie sélective est encore mal connue.

2 LES ÉCLAIRCIES EN FORÊT TROPICALE HUMIDE : ÉTAT DES LIEUX ET HYPOTHÈSES

ÉCLAIRCIE (nom féminin) : *élimination d'une partie d'un peuplement forestier afin de permettre le bon développement des meilleurs arbres* (définition du dictionnaire Larousse).

Une éclaircie est donc le retrait de certains arbres, jugés peu attrayant pour la commercialisation, au profit d'autres afin de favoriser les apports en eau, nutriments et lumière pour ces derniers. En milieu tempéré, les arbres éclaircis sont retirés du peuplement. En tropical, du fait notamment de leur difficile accessibilité et de l'impact qu'aurait leur chute, ils sont généralement dévitalisés et laissés en place.

2. Amarante, Angélique, Balata franc, Gonfolos rose et gris, Goupi, Grignon franc et Wacapou

2.1 L'étude des éclaircies en forêt tropicale humide

2.1.1 À l'échelle de la planète

Les premiers essais de sylviculture en FTH datent de la fin du XIX^e siècle en Asie puis du XX^e siècle en Afrique. Face au manque de conviction apporté par les conclusions qui en résultaient, ces expérimentations de sylviculture ont plus ou moins été abandonnées. Cependant, le plein essor des plantations à partir de la moitié du XX^e siècle a entraîné par opposition un regain d'intérêt pour les dispositifs d'éclaircies à partir de 1980. Ainsi, du Brésil au Cameroun en passant par la Bolivie, les éclaircies (sélectives ou non) ont déjà été étudiées dans la plupart des pays à forêt tropicale humide.

Si les méthodes sont très variées (Dupuy *et al.* (1998) [11]) (« amélioration des peuplements naturels » sur de grandes surfaces en Afrique, « Selective Management System » plutôt en Asie, « Modified Selection System » au Ghana, « système polycyclique de coupe » au Suriname), la tendance générale est toujours la même : les éclaircies semblent augmenter la croissance en diamètre de tous les arbres, que la forêt étudiée soit localisée au Gabon, au Ghana, au Cameroun, en Malaisie ou encore en Centrafrique ou en Amérique du Sud.

Par exemple, en Côte d'Ivoire, des expérimentations ont montré que la croissance en diamètre peut augmenter de 25 à plus de 100 % suite aux éclaircies, qui sont du type systématique. La mortalité, représentée par le nombre de tiges mortes par hectare et par an, est 107 % plus forte sur les parcelles éclaircies que sur les parcelles témoins au bout de 10 ans (Dupuy *et al.* (1997) [10]).

En Asie, le dispositif STREK – localisé en Indonésie – aboutit à des conclusions similaires ; deux ans après traitement, la croissance en diamètre a été améliorée de 50 %. Les auteurs soulignent cependant que l'effet est rapidement estompé, du fait d'un développement rapide de la concurrence (Nguyen-The *et al.* (1999) [21]).

Si l'on change de nouveau de continent et que l'on se rapproche un peu du plateau des Guyanes, il a été montré en Bolivie que les éclaircies font grimper de 9 à 27 % la croissance en diamètre de 24 espèces commerciales, les plus tolérantes à l'ombre réagissant le mieux – ceci étant expliqué par le fait que les espèces héliophiles poussent déjà rapidement à la base (Peña-Claros *et al.* (2008a et 2008b) [22, 23]).

Encore plus proche, de Graaf, en 1999 ([8]), est arrivé à des conclusions similaires au Suriname après application de la méthode CELOS, (du nom du centre de recherche en agriculture surinamais) qui consiste à passer le peuplement plusieurs fois en éclaircie (cette méthode étant également nommée « sylviculture polycyclique »).

Cependant, trois remarques se retrouvent de manière récurrente dans toutes ces publications : la faisabilité des éclaircies est souvent difficile, la balance coûts – bénéfices est en défaveur des bénéfices, et une diminution du stock en espèces commerciales est souvent observée.

2.1.2 La station expérimentale de Paracou, une référence en Guyane

Le dispositif de Paracou a été mis en place en 1984 entre les communes de Sinnamary et de Kourou, par le Cirad. Il est constitué de 15 parcelles de 6,25 hectares chacune et d'une parcelle de 25 hectares. Différents itinéraires sylvicoles ont été définis sur les parcelles, et ont abouti à la formulation de conclusions quant à l'intérêt des éclaircies par dévitalisation. Les éclaircies appliquées à Paracou étaient de type systématique (pas d'éclaircie sélective) et concernaient les arbres non commerciaux uniquement. Ces traitements étaient systématiquement accompagnés de placettes témoins. L'intensité d'éclaircie est brièvement décrite dans la TABLE 1 à la page suivante.

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des traitements sylvicoles appliqués à Paracou

Traitement	Coupe bois d'oeuvre	Coupe bois énergie	Éclaircie	G prélevé
T1	DBH \geq 50 cm	aucune	aucune	12 – 33 %
T2	DBH \geq 50 cm	aucune	DBH \geq 40 cm	33 – 56 %
T3	DBH \geq 50 cm	40 cm \geq DBH \geq 50 cm	DBH \geq 40 cm	33 – 66 %

En 2014, le dispositif a fêté ses 30 ans. Il a permis de supporter des expérimentations dans de nombreux domaines et les dynamiques forestières en font largement partie. Notamment, il a permis de mettre en évidence l'existence d'une intensité-seuil de 30 % d'ouverture maximale de canopée. En deçà de ce seuil, la croissance en diamètre des peuplements est bien stimulée : jusqu'à 180 % 4 ans après le traitement sylvicole, et toujours de 190 % 12 ans après pour la croissance en diamètre, pour le traitement T2 par exemple. Il a également été montré que si ce sont les plus petits diamètres qui réagissent le plus aux éclaircies, les gros diamètres n'en perçoivent pas moins un effet positif sur la croissance en diamètre également (Demenois *et al.* (2003) [9]).

2.2 Le dispositif « forêts-pilotes » de l'ONF

2.2.1 Des parcelles variées permettant de nouvelles hypothèses

Ainsi que vu dans la partie précédente, nombres d'expérimentations concernant les éclaircies en forêt tropicale humide ont déjà été réalisées. La question est donc : pourquoi avoir installé les forêts-pilotes (FP) en plus ?

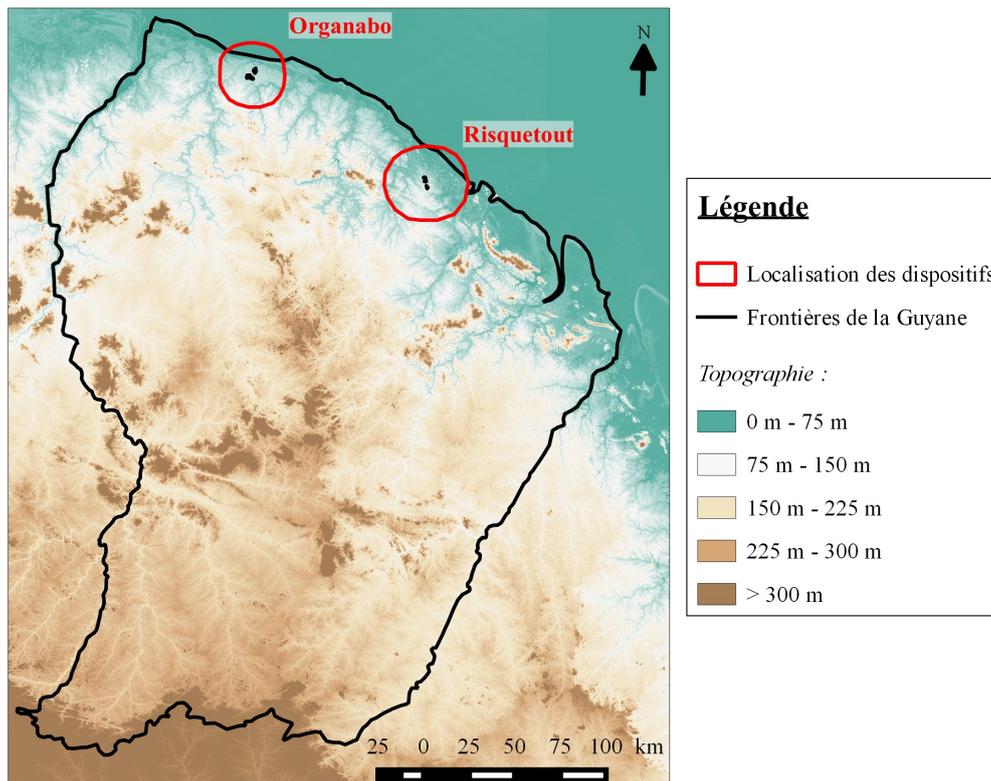
Paracou représente une forêt d'une certaine composition spécifique liée à la géologie, à la pédologie et au climat locaux. Il y pleut environ 2850 mm d'eau par an, ce qui n'est pas représentatif de toute la Guyane où, comme mentionné au début de ce mémoire, il pleut entre 2 000 mm/an et 4 000 mm/an. Avoir des expérimentations où d'autres conditions édaphiques et climatiques s'appliquent, induisant en outre la présence d'autres cortèges floristiques, permet de tester la réaction de plus d'espèces aux éclaircies voire d'envisager de compléter ou nuancer des résultats obtenus à Paracou sur certaines espèces.

De plus, le protocole de mise en place des traitements est différent. Dans le cas des forêts-pilotes, et contrairement à Paracou, il y a des éclaircies sélectives au profits d'arbres *et* des éclaircies systématiques s'appliquant à toute la parcelle, arbre-objectif ou non. De plus, les arbres-cibles ne répondent pas uniquement à un seuil minimal en diamètre : ils doivent en outre appartenir à telle ou telle catégorie commerciale – ce point sera détaillé ultérieurement.

2.2.2 Localisation et protocole

Ces forêts sont localisées dans le domaine forestier permanent (DPF, 2 425 000 ha) (voir FIGURE 2 en page 14) et disposent toutes deux d'un aménagement forestier. Risquetout a été exploitée pour la dernière fois en 1983 et avait été prélevée deux fois auparavant. Organabo n'est passée en coupe qu'une seule fois, entre 1986 et 1995. Cependant, les volumes et les espèces sortis ne sont pas connus – point qu'il faut garder en tête tout au long de la lecture de ce mémoire.

FIGURE 2 – Localisation des deux forêts-pilotes

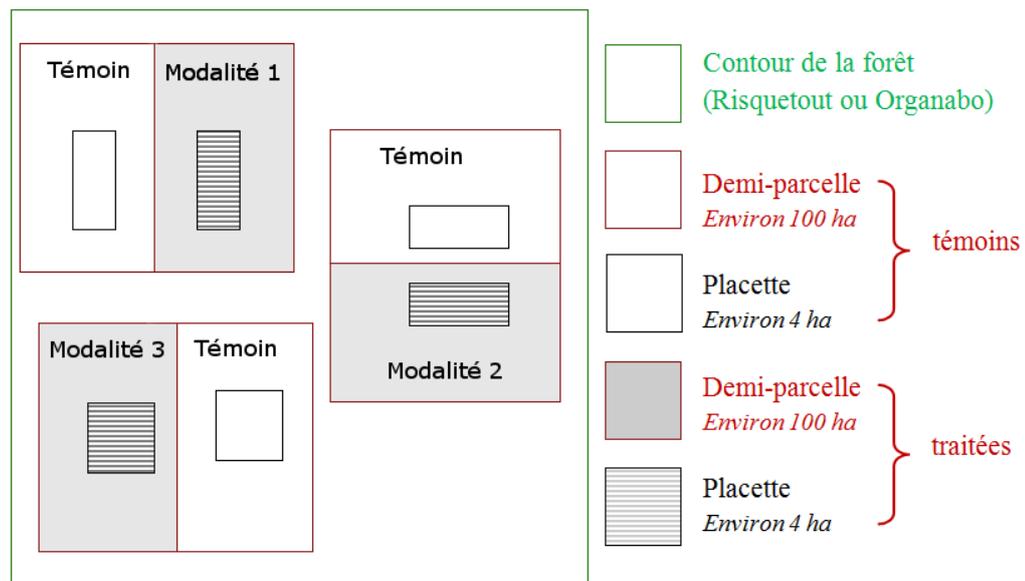


La forêt de Risquetout (4°95'N – 52°60'O) est dans la grande zone forestière du Centre tandis qu'Organabo (5°55'N – 53°45'O) est dans la grande zone forestière de l'Ouest.

La pluviométrie annuelle à Risquetout est de 3 500 mm/an, contre 2 600 mm/an à Organabo. Le relief est similaire dans les deux forêts : relativement plat, avec une altitude maximale frôlant les 60 m. D'un point de vue géologique, les sols sont composés d'argiles issues de granites (période Galibi) ou de schistes (série d'Armina ou Bonidoro) à Risquetout, et de migmatites (période Caraïbes) à Organabo.

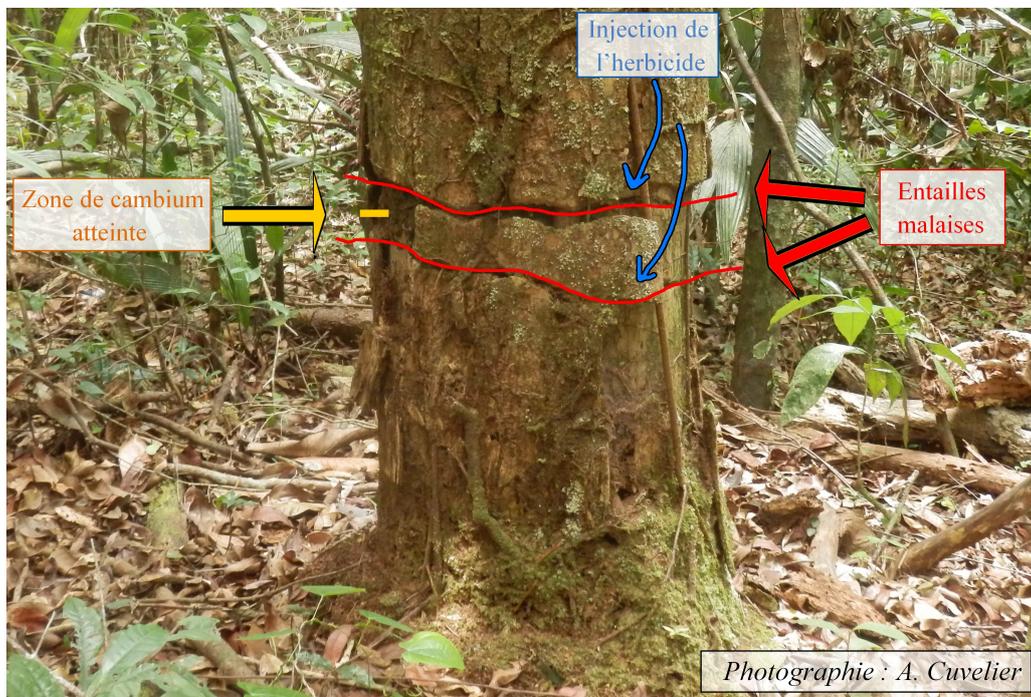
Le dispositif est le suivant. Sur chacune des deux forêts, trois parcelles ont été attribuées à l'expérimentation, correspondant à trois modalités différentes – qui seront détaillées dans la sous-partie suivante. Chaque parcelle a été coupée en deux : une demi-parcelle a été traitée par dévitalisation chimique, l'autre ayant été considérée comme témoin. On aboutit donc à douze demi-parcelles, dont six traitées et six témoin, soit deux placettes traitées par modalité (une par forêt). Le schéma de la FIGURE 3 en page 15 illustre le dispositif à l'échelle d'une forêt, et l'ANNEXE A de la page 51 donne leur localisation géographique sous forme de cartes (réalisées avec le logiciel QuantumGis).

FIGURE 3 – Schéma du dispositif pour une forêt



Les dévitalisations consistaient en une double action mécanique – chimique. L'action mécanique, par annellation, était le fruit d'entailles dites « malaises ». Le produit utilisé est un produit chimique de type GARLON (Triclopyr 480 g/l ester butylglycol) dilué à 10 % dont l'utilisation a été interdite en forêt depuis. Le principe de dévitalisation est illustré en FIGURE 4 ci-dessous.

FIGURE 4 – Photographie et explication d'une dévitalisation



Le protocole prévoyait un inventaire tous les quatre ans à partir de la date de mise en place de chaque modalité. Cette durée de quatre ans n'a pas toujours été respectée (voir la TABLE 2 ci-contre) : elle varie de trois à sept ans. De plus, pour des questions de logistique, les inventaires n'ont pas été menés systématiquement à la même date.

TABLE 2 – Dates des inventaire successifs par parcelle (date installation = Inv. 1)

Parcelle	Inv. 1	Inv. 2	Inv. 3	Inv. 4
Ris. 05	1995	1999	2003	2009
Org. 06	1997	2000	2004	2010
Ris. 08	1999	2002	2006	2011
Org. 09	1999	2002	2006	2013
Org. 10	2000	2003	2007	2013
Ris. 14	2001	2004	2008	2015

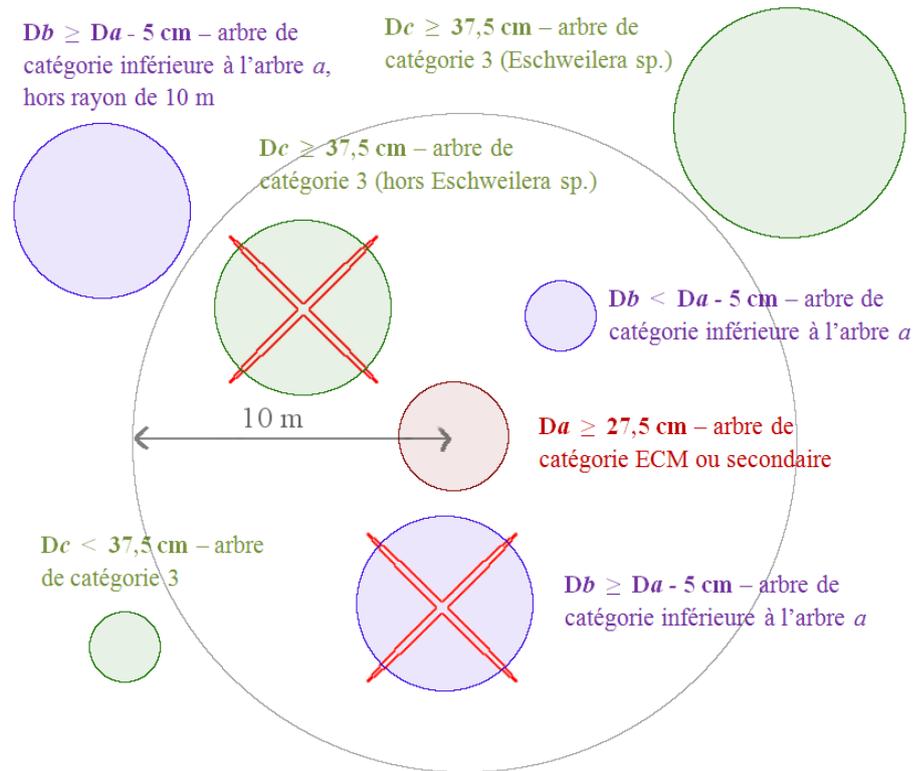
2.2.3 Modalités testées

Initialement, cinq modalités variant par leur intensité et leurs cibles de dévitalisation ont été mises en place. Cependant, seules trois modalités se sont vues installer des placettes permanentes.

Pour définir ces modalités, les catégories d'essences commerciales utilisées dans le rapport de Stéphane Guitet datant de 2008 ([16]) ont été reprises globalement à l'identique. Si cette catégorisation diffère légèrement de la classification actuelle des essences de l'ONF, elle permet de pouvoir comparer aisément nos résultats à ceux du bilan intermédiaire de 2008. La liste des essences et leurs catégories respectives est donnée en ANNEXE B (page 53).

Ce sont sur ces catégories que sont basées les éclaircies. En effet, le protocole de dévitalisation a été le suivant : les arbres cibles au profit desquels la dévitalisation sélective a été perpétrée sont des arbres de catégorie ECM ou secondaire. Dans un rayon de 10 m autour d'eux, ont été dévitalisés tous les arbres de catégorie inférieure à celle de l'arbre-cible, si son diamètre était supérieur à un certain diamètre (variable selon la modalité). Puis, au delà du cercle de rayon de 10 m, tous les arbres non commerciaux (sauf exception définie par la modalité) ont été dévitalisés à partir d'un diamètre donné. Le schéma de la FIGURE 5 à la page suivante décrit modalité 2 dans le cas de la placette de Risquetout. Les schémas des deux autres modalités sont données en ANNEXE C, page 57.

FIGURE 5 – Schéma descriptif de la modalité 2 pour Risquetout
(pour Organabo, remplacer $Dc \geq 37,5$ cm par $Dc \geq 57,5$ cm)



Les résultats de ces éclaircies en termes de capital dévitalisé sont donnés dans la TABLE 3 ci-dessous.

TABLE 3 – Propriétés des inventaires par parcelle

Modalité	Parcelle	Année d'installation	% G dévitalisée parcelle	% G dévitalisée placette	G dévitalisée placette
Modalité 1	Ris. 05	1995	16,5	24,0	5,61 m ² /ha
	Org. 06	1997	15,2	15,0	3,71 m ² /ha
Modalité 2	Ris. 08	1999	11,6	7,0	1,58 m ² /ha
	Org. 09	1999	14,5	14,0	3,70 m ² /ha
Modalité 3	Ris. 14	2001	nc	45,0	12,33 m ² /ha
	Org. 10	2000	nc	26,0	6,65 m ² /ha

Il est d'emblée remarquable que les placettes ne sont pas systématiquement représentatives des parcelles. Cependant, puisque le travail s'est basé sur les données des inventaires de placettes, ce n'est pas un problème. Il est tout de même notable que des placettes ayant subi les mêmes traitements, telles que les placettes 05 de Risquetout et 06 d'Organabo ont finalement des pourcentage de dévitalisation très différents.

De plus, une des deux placettes traitée – témoin n'est pas toujours représentatives de la parcelle en termes de composition spécifique et de structure diamétrique. En 2008 – 2009, Stéphane Guitet [16] a montré via une classification ascendante hiérarchique que ces deux facteurs sur les placettes témoins 08 et 14 de Risquetout sont très éloignés de ceux des placettes traitées associées.

2.3 Les questions que se pose le gestionnaire

Le forestier en Guyane fait face à de nombreuses questions. Notamment, celle du renouvellement des stocks d'essences commerciales, surtout celles qui résistent le mieux aux sécheresses, est primordiale : comment favoriser la croissance de ces espèces, limiter leur mortalité, améliorer la qualité des peuplements, et ce à moindre coût ? De plus, les orientations actuelles omettent d'aborder la réaction spécifique de chaque arbre vis-à-vis du changement climatique (Fargeon *et al.* (2016) [12]). Actuellement, le prélèvement est focalisé sur les huit essences commerciales majeures principales (ECMP) précédemment citées (page 11), alors que les tests technologiques ont démontré qu'environ quatre-vingt espèces sont potentiellement commercialisables au total (si les problèmes de rareté de certaines d'entre elles sont mis de côté). Parmi celles-ci, certaines résistent mieux à la sécheresse que d'autres, et ce n'est pas forcément le cas des huit ECMP. Ainsi, l'exploitation se fait au détriment de certaines espèces qui, non sciées actuellement, pourrait l'être à l'avenir du fait de leur meilleure résistance à la sécheresse.

Puisque les éclaircies de Paracou, qui n'étaient pas sélectives, aboutissent déjà à quelques faits dynamiques intéressants – tels que l'augmentation de la croissance en diamètre des arbres composant les peuplements traités – l'amélioration du protocole débouchant sur la mise en place d'éclaircies sélectives en plus des éclaircies systématiques ne permettrait-il pas d'améliorer la sylviculture d'arbre en Guyane ? Est-il possible de faire de la gestion pied par pied, en forêt tropicale humide, en agissant en fonction de l'essence de l'arbre ciblé, de son diamètre et des autres individus qui l'entourent ?

L'objectif de cette étude est de mettre en place une démarche afin de répondre à toutes ces questions à l'aide des données issues du dispositif des FP de l'ONF. La partie suivante présentera la démarche qui a été employée et en décrira les principaux résultats.

3 DÉMARCHE DE L'ÉTUDE ET RÉSULTATS

LE but principal de l'étude a été d'extraire de simples inventaires toutes les informations nécessaires pour apporter le plus de réponses possibles aux interrogations des gestionnaires forestiers.

3.1 Chronologie de la réflexion

La démarche mise en place sera argumentée tout au long de cette partie. L'objectif de cette présente sous-partie est d'en introduire les grandes idées.

La première étape à considérer avant de se lancer dans une étude détaillée de l'impact des éclaircies sur chaque arbre ciblé, consiste à étudier l'influence générale de l'intensité des éclaircies sur la croissance des peuplements au sein de chaque placette. En effet, si cette étude très générale ne démontre aucune différence entre les peuplements traités et les peuplements témoins, il est inutile de se lancer dans des raisonnements plus poussés à l'échelle individuelle.

Ce n'est qu'une fois ce lien démontré qu'il est intéressant de creuser : quelles sont les essences les plus

dynamisées ? Pour quels diamètres ? Les réponses à ces questions pourraient permettre de définir de grandes catégories d'arbres à cibler afin d'optimiser les dévitalisations, en fonction de catégories de diamètres, de groupes d'espèces, etc. Ces questions sont d'abord abordées au sein des espèces principales puis dans une étude individu-centrée.

Ensuite, il est vérifié si le capital en essences commerciales est compensé, et au bout de combien de temps – notamment via une étude approfondie de la production en surface terrière et de la mortalité due aux éclaircies.

Enfin, j'en suis venue à me poser une dernière question : pourrait-on prévoir la réaction d'arbres-cibles vis-à-vis des dévitalisations mises en place autour ? On peut effectivement imaginer, en mettant de côté les questions de faisabilité et de coûts, une future sylviculture en Guyane où l'on travaillerait pied par pied, en fonction de l'environnement de chaque arbre, de son espèce et de son diamètre (pour sa future commercialisation), en vue de favoriser certaines tiges par rapport à d'autres.

Mais avant tout cela, un apurement de la base de données a été indispensable afin de travailler avec des données certes limitées – et ces limites seront détaillées ci-dessous – mais aussi propres.

3.2 Inventaires à disposition

Les inventaires ont été extraits de la base de données de placettes permanentes GUYAFOR et ont été fournis par l'ONF.

3.2.1 Une base de données exceptionnelle

La qualité de mise en place et du suivi des sites d'étude confèrent un caractère exceptionnel de la base de données utilisée, au même titre que le dispositif expérimental de Paracou. Premièrement, les grandes surfaces inventoriées, quatre hectares par placette, permettent d'effectuer des analyses robustes en terme de gestion forestières. Deuxièmement, la dimension temporelle est prise en compte. En effet, cette base de données rassemble quatre inventaires successifs de douze placettes permanentes réparties sur deux massifs forestiers séparés de plusieurs centaines de kilomètres. Troisièmement, la qualité et la quantité des données mesurées au sein des parcelles d'étude sont considérables. Plus de 14 000 arbres ont été mesurés lors des quatre inventaires, dont le dernier vient de s'achever (août 2016).

À chaque inventaire, les circonférences à une hauteur de 1,30 m de tous les arbres commerciaux (i.e. de catégorie ECMP, ECMA, secondaire et « autres ») de plus de 10 cm de diamètre ont été mesurées. Pour les recrutés, c'est-à-dire les nouveaux arbres qui atteignent 10 cm de diamètre à l'inventaire considéré, une spatialisation au GPS a été effectuée, de même que l'attribution d'un identifiant. L'état sanitaire de tous ces arbres est également relevé, de même que son statut : vivant ou mort. Si l'arbre est noté mort, son type de mortalité est indiqué selon deux catégories : chablis ou mort sur pied.

3.2.2 Des limites à prendre en compte

Conçu dans les années 1990, le protocole dans sa définition induit des limites dont il faut absolument tenir compte dans toutes les conclusions apportées. En plus du fait, déjà évoqué, qu'il y a eu une ou plusieurs exploitations antérieures sur les parcelles dont on ignore les volumes extraits, trois d'entre elles requièrent une attention particulière.

Tout d'abord, il n'y a aucun relevé de la régénération. Si les recrutés sont relevés au delà du diamètre 10 cm, la régénération en dessous de ce seuil n'est pas suivie. Or, sur une période de 20 ans depuis le début de l'expérimentation, on ne peut pas considérer que les recrutés observés aient été favorisés par les dévitalisations. Cependant, si ces données sont absentes du dispositif des forêts-pilotes (FP), la régénération est néanmoins étudiée sur d'autres parcelles d'expérimentation.

Deuxièmement, seules les essences commerciales ont été mesurées. Cela pose problème lorsque l'on veut, par exemple, étudier l'évolution de la proportion d'espèces commerciales au cours du temps, ou analyser la croissance en fonction de la concurrence avec les arbres voisins. De plus, cela biaise certaines conclusions que l'on pourrait émettre sur les croissances en diamètres des essences commerciales. Enfin, une étude de la concurrence entre espèces commerciales et espèces non commerciales est de fait impossible.

Troisièmement, les inventaires pré-dévitalisation et de dévitalisation sont très incomplets. Concernant les premiers, on y trouve une moyenne de 300 arbres sur les placettes témoins, alors qu'ils sont au nombre de 1200 – 1300 dans les premiers inventaires post-dévitalisation (qui devraient être identiques, puisqu'aucune éclaircie n'y a été réalisée). Cette absence de 900 – 1000 arbres n'a pas été expliquée. En outre, il n'y a pas eu de reconnaissance botanique lors des dévitalisations – sauf pour une placette³ – ce qui aboutit à un inventaire de dévitalisation uniquement renseigné en diamètre et en localisation d'arbres. On n'a donc pas accès à la proportion d'essences commerciales – non commerciales dans les arbres dévitalisés, ce qui peut poser problème lors de calculs de temps de retour en capital par exemple.

3.2.3 La nécessité d'un apurement

L'apurement des données a été exécuté à partir de scripts sur le logiciel Rstudio. Plusieurs aspects ont été corrigés.

Dans un premier temps, les espèces ont été vérifiées. Toutes les espèces non commerciales qui auraient été mesurées lors d'un inventaire ont été éliminées. De plus, les correspondances nom vernaculaire – nom scientifique ont été vérifiées et harmonisées au mieux entre les inventaires. De même, il est parfois arrivé que des différences d'identification botanique soient observées sur des individus identiques d'un inventaire à l'autre. Dans ce cas, c'est la dernière identification, jugée la plus actualisée, qui a été retenue.

Ensuite, des corrections ont été appliquées aux accroissements en diamètre. Ceux-ci ont été calculés selon la formule suivante (par exemple entre l'année N_1 et l'année N_2) :

3. il s'agit de la parcelle Ris. 14, dont l'inventaire spécifique a été fait lors du contrôle des travaux de dévitalisation.

$$\text{accroissement}(N_1 \rightarrow N_2) = \frac{\text{diamètre}(N_2) - \text{diamètre}(N_1)}{N_2 - N_1},$$

avec les diamètres en centimètres pour avoir un accroissement en cm/an. Les croissances en diamètres de plus de 7,5 cm/an ont été corrigées. Cette valeur de 7,5 cm/an est le fruit d'un compromis entre une croissance trop grande pour être réelle, et une croissance qui peut être très élevée chez certaines espèces à croissance rapide chez qui ces valeurs sont tout à fait possible. De même, si des décroissances légères sont tolérées (date d'inventaire en pleine saison sèche par exemple), des écarts négatifs de plus de 2 cm/an sont rectifiés aussi. Ces valeurs négatives sont tolérées car elles peuvent par exemple être le fruit d'un biais de mesure : liane ou mousse laissées en inventaire N_1 et grattée en inventaires N_2 puis N_3 typiquement.

Enfin, ont été vérifiés tous les arbres recrutés à plus de 20 cm de diamètre, quatre ans étant jugé comme trop court pour passer de 10 cm à 20 cm de diamètre. Dans tous ces cas là, un travail arbre par arbre a été exécuté, afin de comprendre d'où venaient les valeurs aberrantes et, s'il s'agissait d'un oubli antérieur, les mesures de l'inventaire précédent ont été déterminées par régression linéaire sur les valeurs suivantes.

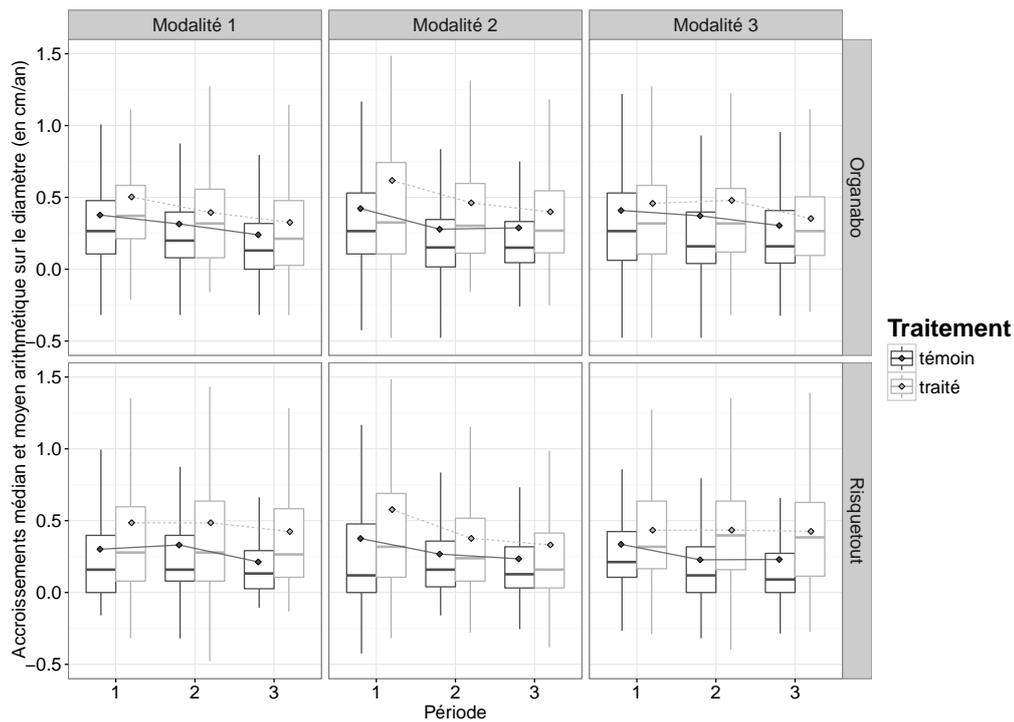
Une fois ce travail d'apurement terminé, il a été possible de répondre à la première question qui a été formulée, et dont la réponse a déjà été en partie apportée par les nombreux dispositifs de dévitalisation en FTH mis en place un peu partout dans le monde : la croissance en diamètre est-elle globalement favorisée par les éclaircies ?

3.3 Une stimulation de la croissance explicite

3.3.1 Impacts sur une mesure classique pour le forestier : le diamètre

La première idée qui vient à l'esprit quand on se demande l'intérêt des éclaircies est de le regarder à grande échelle. C'est ce qui a été fait sur la FIGURE 6 à la page suivante.

FIGURE 6 – Évolution de la croissance en diamètre en fonction de la période entre deux inventaires, selon la forêt (en ligne) et la modalité (en colonne)



Une remarque peut être faite sur la globale diminution des croissances en diamètre au fil du temps. On peut émettre l'hypothèse que, du fait des exploitations passées des parcelles dans les années 1980 – 1990, le peuplement dans sa totalité a été stimulé (comme démontré à Paracou). La décroissance observée peut donc être le tassement temporel de cette stimulation.

TABLE 4 – Variation du gain de croissance en diamètre selon la période (P.) entre deux inventaires successifs (parcelles traitées)

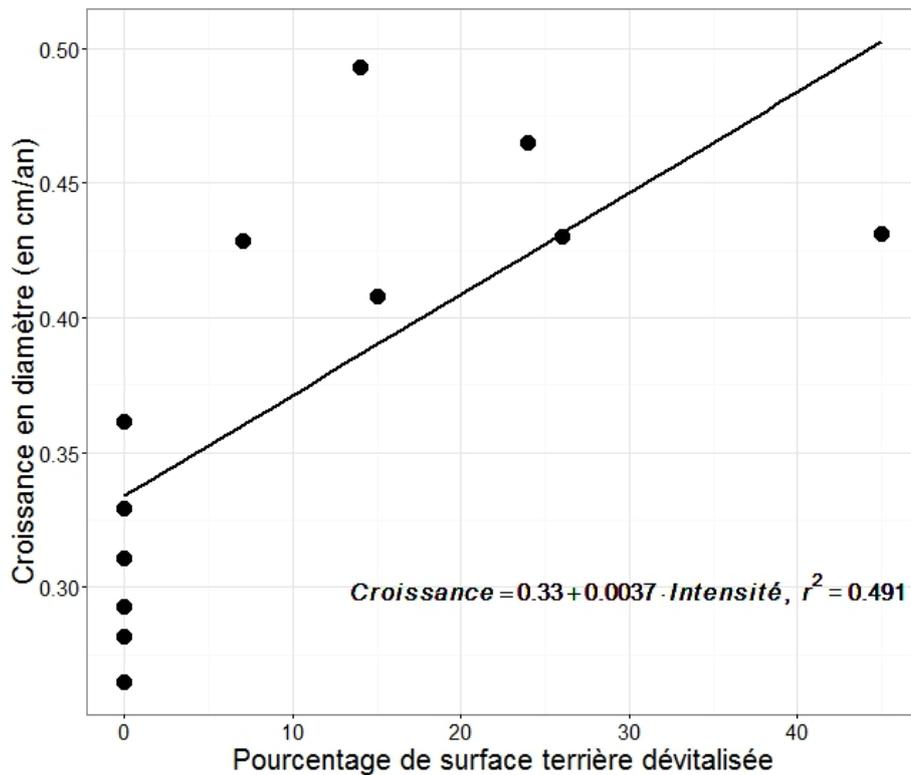
Variable	P. 1	P. 2	P. 3
Minimum	12,0 %	25,3 %	16,0 %
Moyenne	39,6 %	49,5 %	46,3 %
Maximum	61,1 %	88,8 %	99,0 %

Comme anticipé, les éclaircies dynamisent la croissance en diamètre des essences commerciales de 45,1 % en moyenne sur les parcelles traitées par rapport aux parcelles témoins toutes périodes et toutes modalités confondues. Ce gain n'est pas proportionnel à l'intensité.

L'écart-type entre les parcelles, non détaillé dans le tableau ci-dessus, passe de 17 % à 31 % entre les périodes 1 et 3 : la réponse des parcelles est de plus en plus variable avec le temps qui passe.

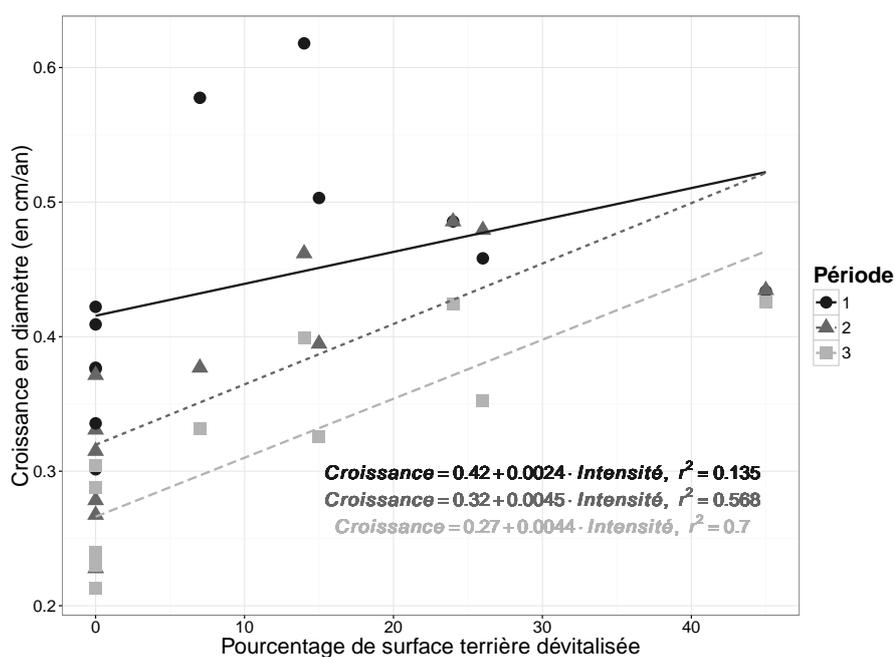
Ces résultats concernaient toutes les parcelles, donc toutes les intensités confondues. Si l'on s'intéresse à la réponse de chaque parcelle individuelle à l'intensité, on obtient le résultat de la FIGURE 7 ci-après, toutes périodes confondues.

FIGURE 7 – Évolution de la croissance en diamètre en fonction de l'intensité de dévitalisation toutes périodes confondues



La présence d'un seuil semble notable : que l'intensité soit faible (7 %) ou forte (45 %), la croissance en diamètre ne dépasse jamais 0,5 cm/an en moyenne sur les trois périodes. Ce résultat est à nuancer par période (cf. FIGURE 8 ci-après).

FIGURE 8 – Évolution de la croissance en diamètre en fonction de l'intensité de dévitalisation et de la période



Ainsi, l'effet de l'intensité de l'éclaircie semble augmenter avec le temps. En réalité, ce résultat mérite d'être décrit autrement et plus justement : l'éclaircie a un effet tampon sur la diminution de croissance en diamètre observée sur les placettes témoins en dynamisant de nouveau le peuplement résiduel. Il est très bien visible sur cette figure que les droites de régression en périodes 2 et 3 sont quasiment parallèles : il n'y a pas d'augmentation de l'effet dévitalisation entre ces deux périodes. Le deuxième aspect de ce graphique concerne le lien réaction – intensité d'éclaircie : il n'est pas évident, dans le cas présent, que la stimulation est plus grande dans le cas d'intensité d'éclaircie plus grande (par exemple, en période 1, les points sont très dispersés et le coefficient de corrélation n'est que de 0,135). Malgré cela, il y a tout de même en deuxième et troisième périodes un effet positif notable.

Cependant, en regard de la FIGURE 6, il est possible de nuancer ces conclusions en regard des grands écarts-types des moyennes, que ce soit sur les placettes traitées comme sur les placettes témoins. Quel sens donner à une moyenne lorsque son écart-type est si important ? Il faut donc se demander pourquoi on observe de si grandes variations. Une partie de la réponse peut provenir du protocole en lui-même : les placettes ont été volontairement situées afin de contenir une partie bas-fond, et une partie sur terre-ferme. Or, il a déjà été prouvé que les espèces de bas-fond ont en général une croissance plus rapide celles de terre-ferme. Ce fait peut en partie expliquer les grands écarts-type.

Cela nous amène à nous demander si ces différences de croissance spécifiques se retrouvent également sur les parcelles traitées : y-t-il des essences plus dynamisées que d'autres et si oui, sont-elles celles qui intéressent l'exploitant ?

3.3.2 Des essences commerciales principales favorisées ?

Pour comparer la réaction des différentes espèces aux éclaircies, les croissances en diamètre moyennes de chaque espèce sont calculées sur toutes les placettes témoins (les parcelles et les forêts n'étant pas significativement différentes) toutes périodes confondues pour ne pas tenir compte de l'effet « diminution de la croissance au fil des périodes due à l'extinction de l'effet des exploitations antérieures », puis regroupées en quatre catégories : lentes, lentes à normales, normales à rapides, rapides. Ces catégories ont été définies par rapport aux trois quartiles de la distribution de toutes les croissances en diamètre, pour des diamètres compris entre 20 cm et 40 cm afin de ne pas avoir d'effet ontogénie. Rappelons qu'elles ne tiennent pas compte des espèces non commerciales. Ces croissances spécifiques, détaillées en TABLE 5 en fin de paragraphe, présentent elles-mêmes de base une très grande variabilité. Celle-ci peut notamment être due aux conditions édaphiques individuelles de chaque arbre. *Il n'est pas possible de le détailler dans cette étude, car le statut de chaque arbre (en bas fond ou sur terre-ferme) n'est actuellement pas renseigné dans les inventaires et l'étude cartographique à partir des données GPS et des modèles numériques de terrain n'est pas assez précise.* Pour les essences qui intéressent le gestionnaire à l'heure actuelle⁴, elles sont selon notre étude classées de lentes, à normales à rapide. La TABLE 5 ci-dessous en détaille les résultats.

4. sauf le Wacapou, absent des placettes du dispositif, et l'amarante dont les diamètres n'excédaient pas 11 cm sur les placettes témoins

TABLE 5 – Croissance moyenne de six ECMP sur les placettes témoins
(l : lente, nr : normale à rapide, r : rapide)

Nom vernaculaire	Famille, genre et espèce	Moyenne (en cm/an)	Ecart-type (en cm/an)	Vitesse de croissance
Angélique	Fabaceae, <i>Dicorynia guianensis</i>	0,53	0,32	nr
Balata franc	Sapotaceae, <i>Manilkara bidentata</i>	0,47	1,10	nr
Gonfolo gris	Vochysiaceae, <i>Ruizterania albiflora</i>	0,55	0,30	r
Gonfolo rose	Vochysiaceae, <i>Qualea rosea</i>	0,82	0,32	r
Goupi	Goupiaceae, <i>Goupia glabra</i>	0,41	0,21	nr
Grignon franc	Lauraceae, <i>Sextonia rubra</i>	0,21	0,14	l

Par suite, un seuil d'au moins dix arbres par espèce chez les témoins *et* chez les traités a été fixé afin d'avoir une bonne représentativité de l'espèce indépendamment du diamètre de chaque individu. Le gain de croissance moyen a été calculé pour chaque ECMP selon la formule :

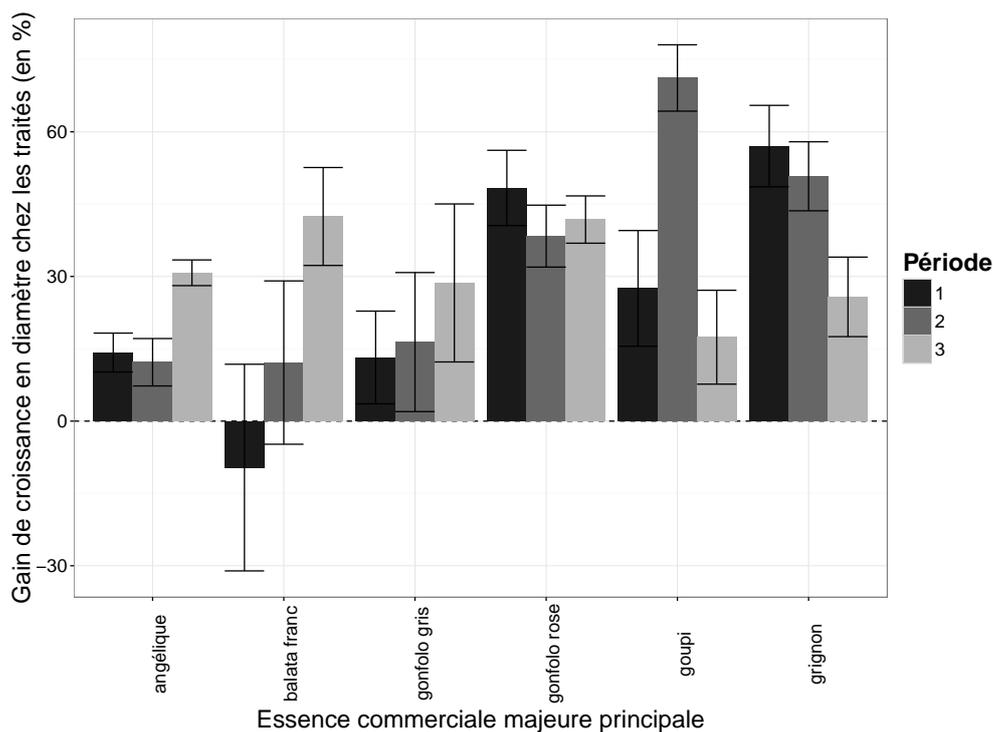
$$Gain = \left(\frac{acc.DBH_{traité}}{acc.DBH_{témoin}} - 1 \right) \times 100, \text{ en } \%,$$

où $acc.DBH_x$ (x : traité ou témoin) est l'accroissement moyen en diamètre chez les traités ou les témoins. De même, l'écart-type du gain a été estimé en supposant que le nombre d'individus par espèce était suffisamment grand :

$$\sigma_{Gain} = \sqrt{\frac{\sigma_{traité}^2}{n_{traité}} + \frac{\sigma_{témoin}^2}{n_{témoin}}}, \text{ en } \%,$$

où σ_x est l'écart-type de la moyenne pour les traités ou les témoins et n_x le nombre d'individus correspondant. Cet écart-type est représenté par les barres d'erreur sur la FIGURE 9 ci-dessous.

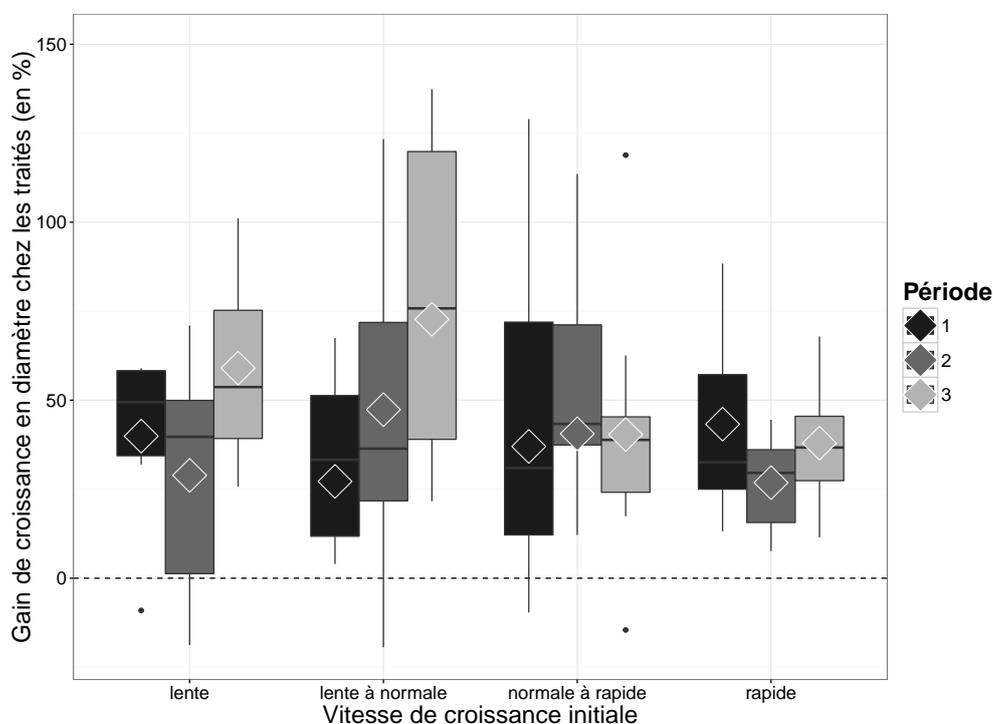
FIGURE 9 – Évolution du gain de croissance de six ECMP en fonction de la période



Ce graphique met en valeur différents types de comportement : les essences qui réagissent plus dès l'éclaircie, telles que le gonfalo rose ou le grignon, et celles qui réagissent plus à long terme, telles que l'angélique, le balata franc, le gonfalo gris. Par exemple, en admettant que le forestier se trouve devant un grignon à gros diamètre qui ne paie plus sa place⁵ dans le peuplement, il n'est pas utile de le laisser réagir aux éclaircies plus longtemps puisque celles-ci ont un grand effet à court terme principalement.

Si l'on cherche à mettre en lien ces comportements avec les groupes de croissance initiale présentés dans la TABLE 5 (en dernière colonne), on remarque qu'il n'y en a pas immédiatement. Cependant, ce tableau a été construit en moyennant les trois périodes d'étude et présente de grands écarts-types. Il est donc intéressant de voir la réaction de ces groupes d'espèce en fonction de la période. C'est ce qui a été fait dans le graphique de la FIGURE 10 de la page suivante.

FIGURE 10 – Gain des différents groupes de croissance en fonction de la période



D'après ces boîtes à moustache et les moyennes associées (sous forme de losange), deux choses sont remarquables. D'abord, il ne semble pas y avoir de différence de gain de croissance entre les différentes catégories de vitesse de croissance. Ensuite, d'un point de vue temporel, il y a une légère tendance à ce que les arbres à croissance lente réagissent tardivement à l'éclaircie, alors que les arbres à croissance rapide réagissent précocement.

Cependant, ces remarques sont à pondérer. En effet, comme déjà mentionné, les vitesses initiales ont des écarts-types très grands. En outre, les tests statistiques visant à vérifier si la différence de gain entre les différents groupes de croissance est significative ou non montrent une réponse négative. Les résultats du graphe de la

5. pour rappel : un arbre qui ne paie plus sa place est un arbre qui ne rapportera pas plus d'argent (voire en fera perdre) à l'exploitant si celui-ci le laisse en forêt

FIGURE 10) sont donc des seulement des tendances et, comme on l'a vu avec l'exemple des ECMP dans la TABLE 5 page 25, il est préférable de faire du cas par cas selon l'espèce.

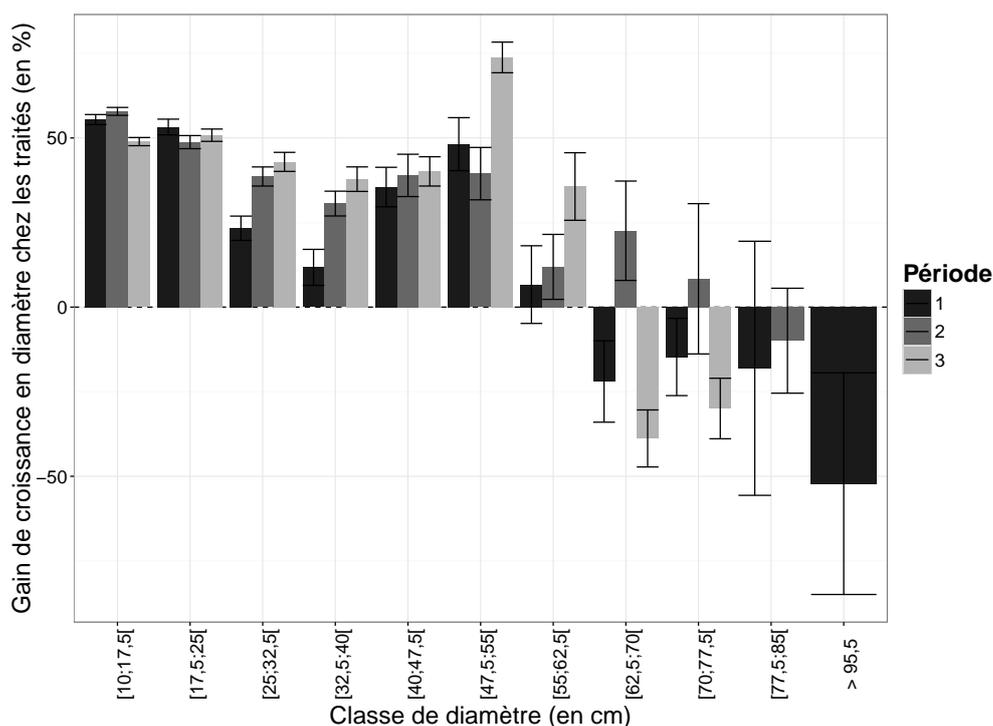
Enfin, une dernière remarque concerne le fait que toute cette partie portait sur un gain calculé à différentes périodes entre les placettes traitées et les placettes témoins. Ce gain ne tient pas compte de l'intensité d'éclaircie, qui varie de 7 à 45 % selon les placettes.

3.3.3 Vision sur le court terme : quels diamètres dynamisés ?

Le diamètre minimum d'exploitabilité (DME) est fixé à 55 cm pour la plus grande partie des essences commerciales en Guyane, et à 45 cm pour le wacapou et les bois précieux (i.e. : rares, taxonomiquement mal définis ou encore potentiellement valorisables dans des marchés de niche). Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que si les diamètres les plus réactifs sont supérieurs à 55 cm, alors il n'est pas utile de faire des éclaircies puisque celles-ci dynamiseraient des arbres exploitables. L'objectif de cette partie est d'apporter des réponses à cette question.

Pour tester cette hypothèse, les gains de croissance en diamètre tels que définis dans la sous-partie précédente ont été moyennés sur des classes de diamètre larges de 7,5 cm, chaque individu étant réparti dans telle ou telle classe selon son diamètre en inventaire 1, considéré comme diamètre initial. Le choix de 7,5 cm a été fait dans le but d'avoir d'un côté suffisamment de classes de diamètre de part et d'autre de 55 cm, et d'un autre côté un nombre suffisant d'individus par classe de diamètre. Ici, le seuil a été fixé à 15 individus. La FIGURE 11 présente l'évolution du gain entre traité et témoin en fonction de la classe de diamètre initiale des individus.

FIGURE 11 – Gain de croissance en fonction de la classe de diamètre et de la période

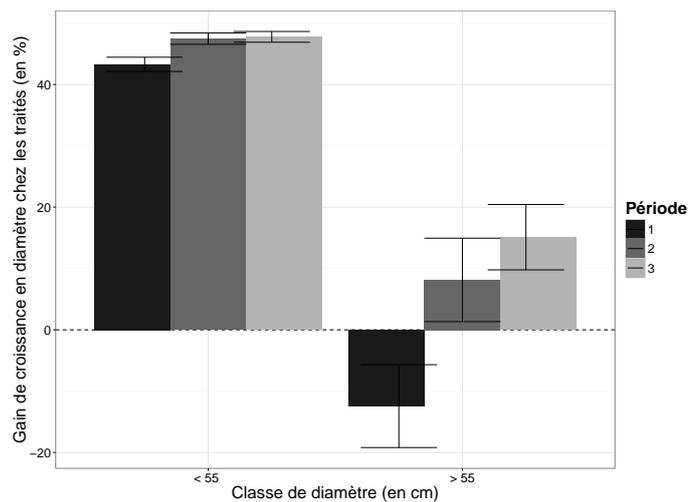


Le gain des arbres à gros diamètre (> 60 cm environ) possède une variabilité plus grande que les autres.

Quelle que soit la période, les arbres n'ayant pas encore atteint le DME ont un gain supérieur d'environ 50 % par rapport aux arbres exploitables. Cette FIGURE 11 montre explicitement un effet très positif des éclaircies sur les petits diamètres, et un effet négatif sur les gros diamètres. Ce dernier fait est en contradiction avec les résultats obtenus sur Paracou évoqués en page 13. Les arbres de gros diamètres semblent donc être plus déstabilisés que stimulés par le changement d'environnement induit par les dévitalisations.

FIGURE 12 – Gain de croissance par rapport au DME et de la période

Statistiquement parlant, si l'on compare les deux classes « < DMC » et « > DMC » en se basant sur les moyennes précédemment décrites, les gains sont significativement plus élevés pour la classe « < DMC » en périodes 1 et 2. La période 3 confirme la tendance sans être significativement plus élevée dans la classe « < DMC » (au seuil de 5 %).

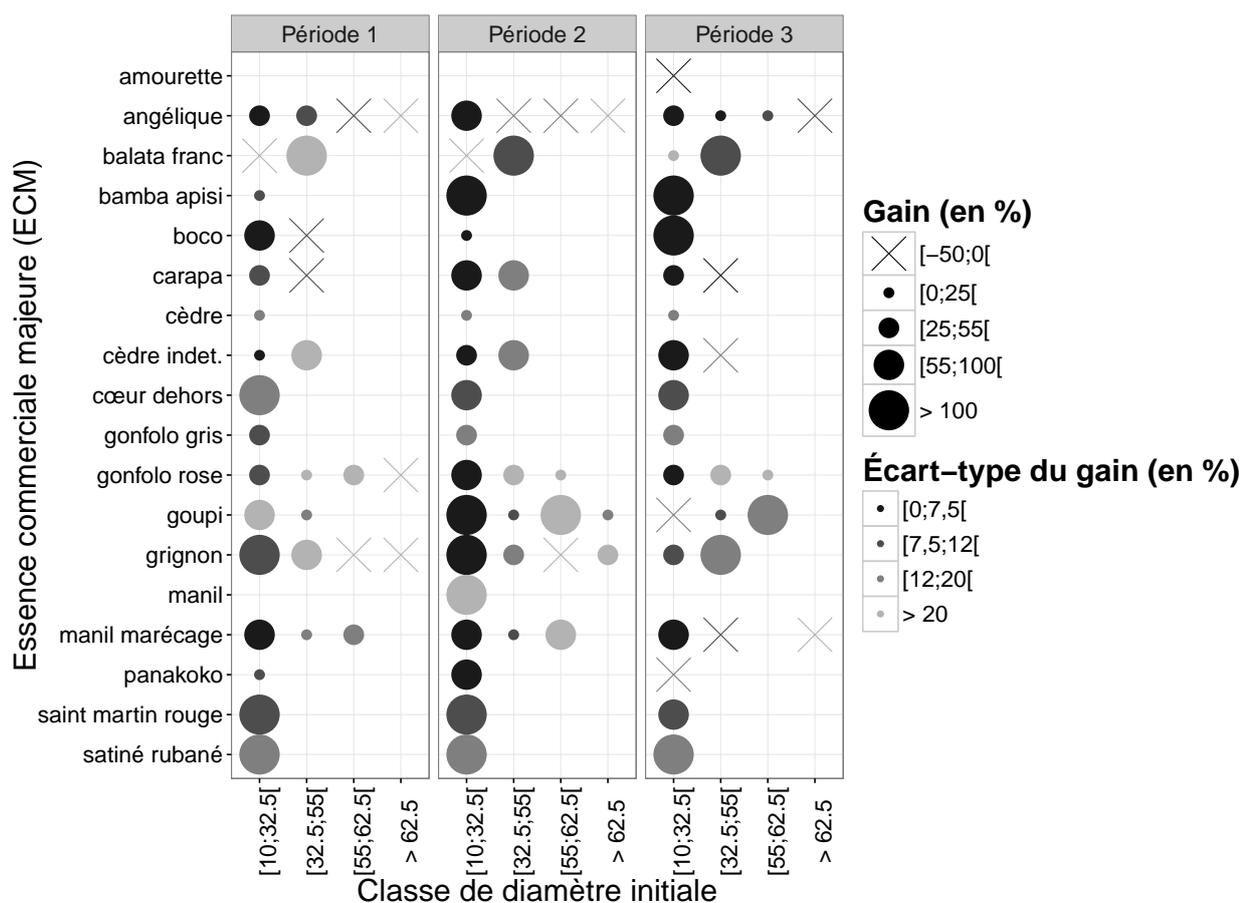


Le lien gain – espèce a été étudié, de même que le lien classe de gain – diamètre. La question qui se pose désormais est de savoir, à partir des deux précédentes sous-parties, s'il est possible ou non de prévoir individuellement la réaction des arbres par rapport aux éclaircies.

3.3.4 Conclusion : peut-on prévoir la réaction de chaque arbre ?

Les deux sous-parties précédentes ont donné un aperçu de la réaction moyenne des arbres en fonction de leur diamètre et de leur espèce (parmi les ECMP) ou de leur groupe d'espèce basé sur leur croissance initiale en diamètre. Ces résultats peuvent être croisés afin d'avoir une vision plus globale en fonction des deux facteurs combinés : espèce et diamètre. C'est ce qui a été fait pour les ECMP dans la FIGURE 13 à la page 29, sur laquelle le gain est proportionnel à la taille du point s'il est positif, ou sous forme de croix s'il est négatif, et dont la couleur varie en fonction de l'écart-type.

FIGURE 13 – Gain de croissance en fonction de l’ECM, de la classe de diamètre, et de la période



Ainsi, il est possible de connaître globalement la réaction d'un arbre en fonction de son espèce et de son diamètre. Cependant, comment appliquer ces résultats en forêts ? On a vu que les résultats précédents ne tiennent pas compte des intensités de dévitalisation. De plus, on peut émettre l'hypothèse que les dévitalisations ne sont pas réparties de façon homogène sur les placettes : en effet, d'après le protocole, les éclaircies sont sélectives, ce qui veut dire par exemple que deux angéliques de 50 cm de diamètre situées sur la même placette n'auront pas la même intensité d'éclaircie dans leur environnement selon la composition structurale et spécifique du peuplement qui les jouxte. Ce qui nous intéresse alors à ce stade est de savoir comment va réagir tel ou tel arbre en fonction de la concurrence qui l'entoure, et non plus de l'intensité appliquée de manière globale sur la placette. Désormais, ce sera l'échelle individuelle qui sera étudiée et non plus l'échelle du peuplement traité – non traité. Les inventaires utilisés seront ceux de toutes les placettes sauf Ris. 05 et Org. 06, car les données diamétriques de dévitalisation ces deux binômes de placettes ne sont pas fiables dans le premier cas, et absentes dans le second.

La première étape du raisonnement consiste à sélectionner les arbres qui serviront de support à la réflexion. En effet, si la réflexion vise à regarder pied par pied comment réagit chaque individu, il ne faut pas, par exemple, qu'ils soient trop près des bords de la placette car l'information sur la dévitalisation hors placette n'est pas disponible, tandis qu'on a à disposition la localisation et le diamètre de chaque arbre éclairci *dans* la placette. Une zone tampon a donc été définie – sur le logiciel QuantumGis – à partir des coordonnées GPS des arbres étudiés, et tous les arbres à moins de 15 m du contour de la placette ont été mis de côté. La valeur de 15 m a été réfléchi : il fallait un rayon suffisamment grand pour avoir un nombre significatif d'arbres dévitalisés d'un côté,

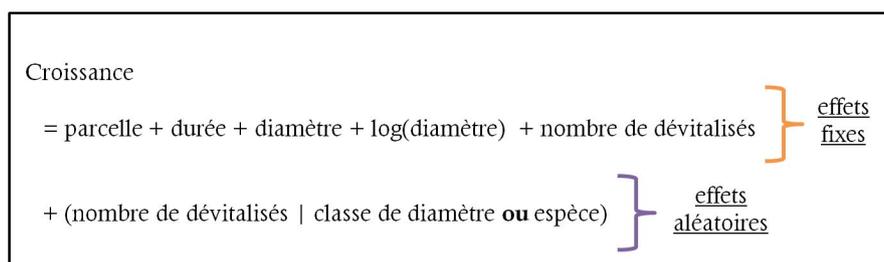
afin de limiter un éventuel effet « arbre limite » ; d'un autre côté, il ne fallait pas un rayon trop important si l'on se place à l'échelle du forestier en tant qu'acteur de la sylviculture : il n'est pas cohérent de demander à un gestionnaire d'aller dévitaliser une dizaine d'arbres à 40 m d'un arbre-cible, et ce pour chaque tige commerciale que l'on voudrait dynamiser...

Ensuite, l'objectif étant de mettre en lien la croissance d'un arbre avec les éclaircies ayant eu lieu autour, le nombre d'arbres dévitalisés dans un rayon de 15 m a été calculé pour chaque tige commerciale, de même que la somme des surfaces terrières retirées. Le tableau final contient donc toutes les tiges commerciales par période (également introduite sous la forme d'une durée depuis la mise en place du dispositif), accompagnées de leur diamètre, de leur croissance en diamètre (i.e. la variable à expliquer), du nombre d'arbres dévitalisés et de la surface terrière totale retirée autour. Pour voir l'effet de ces deux derniers facteurs sur la croissance en diamètre, un modèle mixte a été mis en place. Cela se traduit par deux points clés :

- la période, le diamètre et son logarithme, la parcelle concernée, le nombre de dévitalisés, la surface terrière totale de dévitalisés sont considérés comme des **effets fixes**, c'est-à-dire que leur effet sera au moins étudié indépendamment du diamètre et de l'espèce l'arbre-cible ;
- l'espèce et la classe de diamètre, de 7,5 cm en 7,5 cm sont des **effets aléatoires** appliqués au nombre d'arbres dévitalisés. Autrement dit, ce sont des effets qui s'ajouteront aux paramètres du facteur nombre d'arbres dévitalisés : c'est l'utilisateur du modèle qui indique à Rstudio que la croissance ne sera pas la même selon l'espèce ou selon la classe de diamètre de l'arbre-cible. Le même effet aurait pu être appliqué à la surface terrière totale retirée, mais celle-ci étant très corrélée au nombre d'arbres dévitalisés, il n'a pas été jugé indispensable de le faire⁶.

Le modèle est détaillé en ANNEXE D, page 59. Pour une bonne compréhension des effets fixes et aléatoires, il peut être schématisé comme suit (FIGURE 14) :

FIGURE 14 – Explication simplifiée du modèle

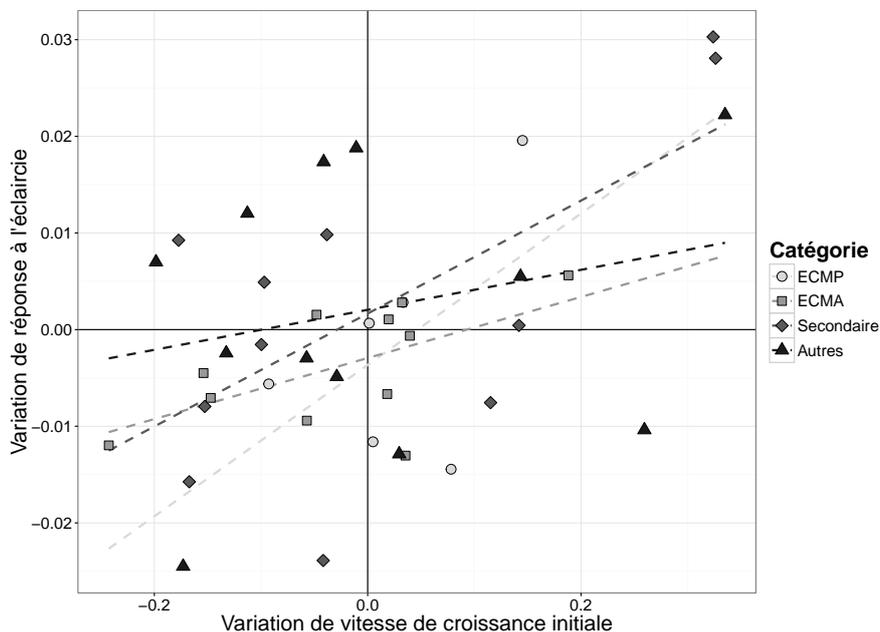


Tout d'abord, vérifions de nouveau s'il y a un effet espèce de l'arbre-cible à cette nouvelle échelle, et si oui, quelles espèces sont favorisées. Pour ce faire, il est possible d'étudier la variation de la réponse aux éclaircies en fonction de la variation de vitesse de croissance spécifique initiale. Une étude similaire avait déjà été réalisée par Hérault *et al.* en 2010 ([20]) : c'est l'impact de la surface de trouées qui avait alors été étudié, et la conclusion avait été la suivante : plus les vitesses « témoin » spécifiques étaient élevées, moins la réaction aux trouées était importante, suggérant que les espèces à croissance lente réagissent mieux aux ouvertures que les espèces à

6. La corrélation étant de 0,88 et les AIC (Akaike information criterion) très proches, le principe de parcimonie a été appliqué (la probabilité critique de l'anova entre les deux modèles (avec / sans la surface terrière dévitalisée) est de 0.02)

croissance rapide. Nous allons voir si notre étude conforte ce fait ou non.

FIGURE 15 – Variation de réponse à l'éclaircie en fonction de la variation de vitesse de croissance des essences

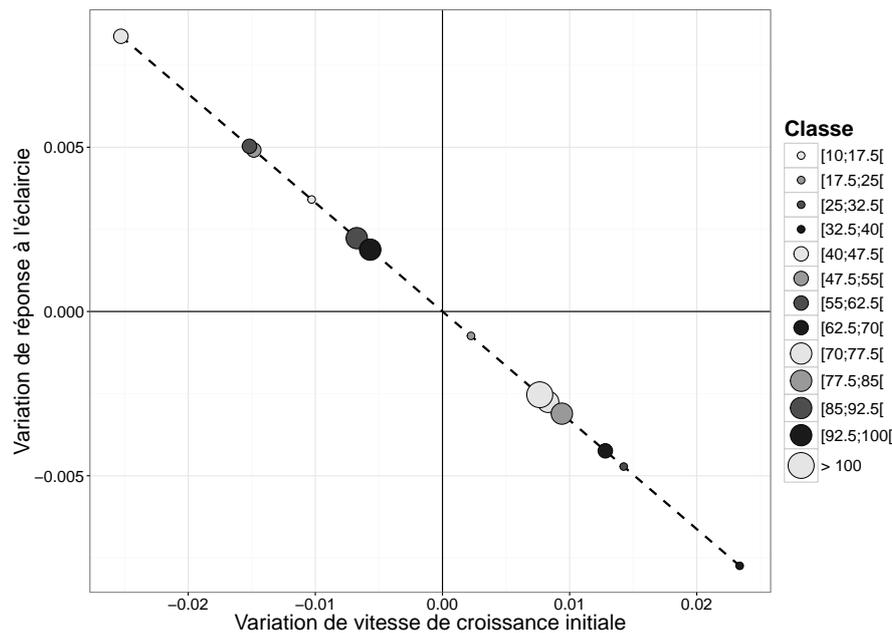


Cette FIGURE 15 a été réalisée pour l'ensemble des essences commerciales. Des droites de régression linéaire par catégorie (ECMP, ECMA, secondaires, « autres ») ont également été ajoutées, afin de voir si des tendances en ressortent.

La principale remarque sur ces résultats concerne leur lien avec la littérature. En effet, ils ne confortent pas du tout les résultats obtenus à Paracou en 2010 : les droites de régression sont toutes à pente positive, alors que l'on s'attendait à des pentes négatives. Concrètement, cela se traduit par la conclusion suivante : les espèces à croissance rapide semblent réagir mieux que les espèces à croissance lente, mais avec une très grande variabilité de réponses (ce qui confirme les conclusions tirées sur la FIGURE 10 (page 26)). Il est donc indispensable de mener des études complémentaires afin de tenter de résoudre cette contradiction entre les résultats ci-présents, et la littérature.

Ensuite, il reste l'effet de la classe de diamètre de l'arbre-cible à valider ou non à l'échelle individuelle. Le raisonnement est le même que pour les espèces, et le résultat est présenté en FIGURE 16 en page 32.

FIGURE 16 – Variation de réponse à l'éclaircie en fonction de la variation de vitesse de croissance des classes de diamètre



Ce graphique ne confirme pas totalement à l'échelle de l'individu ce qui avait été mis en évidence à l'échelle de la placette, sur la FIGURE 11 en page 27 : les diamètres compris entre 85 et 100 cm ont des réactions très positives, alors que des diamètres compris entre 25 et 40 cm ont des réactions faibles. Cependant, il faut garder à l'esprit que ces résultats sont relatifs et non absolus : il s'agit de la réaction de telle classe de diamètre en fonction de toutes les autres. D'un autre côté, le graphique met bien en évidence le fait que les diamètres concernés par des croissances faibles ont des réactions plus importantes que les diamètres concernés par de fortes croissances. Ainsi, si l'on connaît précisément la croissance en diamètre d'un arbre, on peut en déduire de l'intérêt ou non d'éclaircir à son profit⁷.

Pour conclure sur ces aspects de réaction en fonction de l'espèce et du diamètre, ce qui ressort de l'étude n'est pas très explicite. Cependant, dans l'étude des espèces, tous les diamètres étaient confondus, et réciproquement pour l'étude des diamètres. Il semble donc judicieux de combiner les deux et d'analyser chaque catégorie de diamètre pour chaque espèce. Cela a pour but de répondre à la question que se pose le gestionnaire en forêt : devant telle ou telle espèce, de tel ou tel diamètre, que faire ? Éclaircir ou ne pas éclaircir ? Si oui, le nombre d'arbres dévitaliser à retirer est-il optimisable ? Quels diamètres retirer ? La suite de cette partie permet donc de concrétiser tous les résultats obtenus jusqu'à maintenant dans cette sous-partie, afin de répondre à la question fondamentale : est-il possible de les appliquer dans la gestion courante ?

Pour répondre à cette question, le modèle initial a été agrémenté d'un terme logarithmique (pour le détail du modèle et la présentation des courbes d'optima, se référer à l'ANNEXE E en page 61), et de nouveau paramétré pour la surface terrière totale en plus du nombre d'arbres dévitalisés. Les résultats de la recherche des optima en surface terrière et en nombre de dévitalisés sont présentés sur la TABLE 6 ci-après.

7. Une dernière remarque peut être faite sur l'alignement parfait des points sur la droite de régression. Ce résultat nous a interpellés mais aucune explication n'a été trouvée au moment de la publication de ce mémoire

TABLE 6 – Résultat de la recherche d'optima pour 6 ECMP (les tirets représentent une absence d'optimum)

Essence	Classe de diamètre (en cm)	Nombre d'arbres brut	Surface terrière (en m ² /ha)	Nombre d'arbres retenu	Diamètre total (en cm)	Diamètre moyen (en cm)	Catégorie de diamètre
Toutes	Toutes	2,3	0,7	3	94,4	31,5	30
Angélique	[10 ; 30[	2,5	1,1	3	118,4	39,5	40
Angélique	[30 ; 50[	1,2	0,6	2	87,4	43,7	45
Angélique	[50 ; 70[	-	1,8	-	151,4	-	-
Balata franc	[10 ; 30[	4,5	0,5	5	79,8	16,0	15
Balata franc	[30 ; 50[	1	0,3	1	61,8	61,8	60
Balata franc	[50 ; 70[	-	1,1	-	118,4	-	-
Gonfolo gris	[10 ; 30[	1,7	0,7	2	94,4	47,2	45
Gonfolo rose	[10 ; 30[	0,7	0,3	1	61,8	61,8	60
Gonfolo rose	[30 ; 50[	0,3	0,3	1	61,8	61,8	60
Goupi	[10 ; 30[	0,9	0,6	1	87,4	87,4	85
Goupi	[30 ; 50[	2,7	0,4	3	71,4	23,8	25
Goupi	[50 ; 70[	-	0,7	-	94,4	-	-
Grignon	[10 ; 30[	-	1,8	-	151,4	-	-
Grignon	[30 ; 50[	1,3	0,6	2	87,4	43,7	45

Ainsi, ce tableau montre que dans le cas général (i.e. toutes ECMP et tous diamètres confondus), retirer trois arbres de 30 cm en moyenne est le meilleur compromis que le forestier puisse faire. Il faut bien insister sur le fait que 30 cm correspond à une moyenne issue de la définition même de la surface terrière :

$$G = \sum_i \frac{\pi d_i^2}{40\,000}, \text{ où } G \text{ est la surface terrière et } i \text{ le nombre d'arbres à retirer.}$$

Il n'existe pas d'information sur répartition des diamètres dans cette moyenne (i.e. trois fois 30 cm ? Une fois 10 cm *plus* une fois 30 cm *plus* une fois 50 cm ? Etc.).

Lorsque l'on creuse à l'échelle de l'espèce et de la classe de diamètre (réduite à 10 à 30 cm, 30 à 50 cm ou 50 à 70 cm), les résultats sont plus variables. Certaines combinaisons n'admettent pas d'optimum, comme l'angélique de 50 à 70 cm. Cela peut s'expliquer notamment par le fait que les gros diamètres réagissent négativement à l'éclaircie, ce qui fait que l'optimum est de zéro arbre – résultat en contradiction avec la surface terrière à retirer, égale dans ce cas à 1,8 m²/ha.

De plus, ces résultats sont à replacer dans le contexte : qu'en est-il de leur application ? Peut-on se permettre de retirer les arbres indiqués ? Dans la plupart des cas, la réponse est oui. Les diamètres à retirer plus élevés, de 45 à 85 cm, s'accompagnent d'un nombre très petit d'arbres à dévitaliser (cas du balata franc de 30 à 50 cm, ou encore du gonfolo gris de 10 à 30 cm). De même, la réciproque est vraie : dans les cas où de nombreux arbres doivent être dévitalisés, la catégorie de diamètre associée est en générale basse (par exemple, le balata franc de 10 à 30 cm, où cinq arbres de 15 cm de diamètre doivent être supprimés). Il est donc envisageable de travailler au profit des ECMP, selon leur espèce et leur diamètre, dans un rayon de 15 m. Cette théorie peut également s'appliquer aux autres essences commerciales, mais ce résultat ne sera pas présenté ici.

Ainsi, on a montré que les éclaircies entraînent une dynamisation de certains arbres, et défini des critères sur

lesquels se baser si l'on veut pratiquer des dévitalisations dans la gestion courante. Cependant, ces dévitalisations ont un coût et sont lourdes à mettre en place ; de plus, elles entraînent une perte de capital puisque des arbres commerciaux peuvent être retirés. Il est donc désormais intéressant de se demander si elles sont réellement rentables d'un point de vue du capital : au bout de combien de temps le capital des essences commerciales est-il reformé ? L'augmentation de croissance en diamètre causée par les dévitalisations est-elle suffisante pour compenser les arbres dévitalisés et d'éventuels dégâts au peuplement résiduel ?

3.4 Conséquence : un retour rapide au capital initial ?

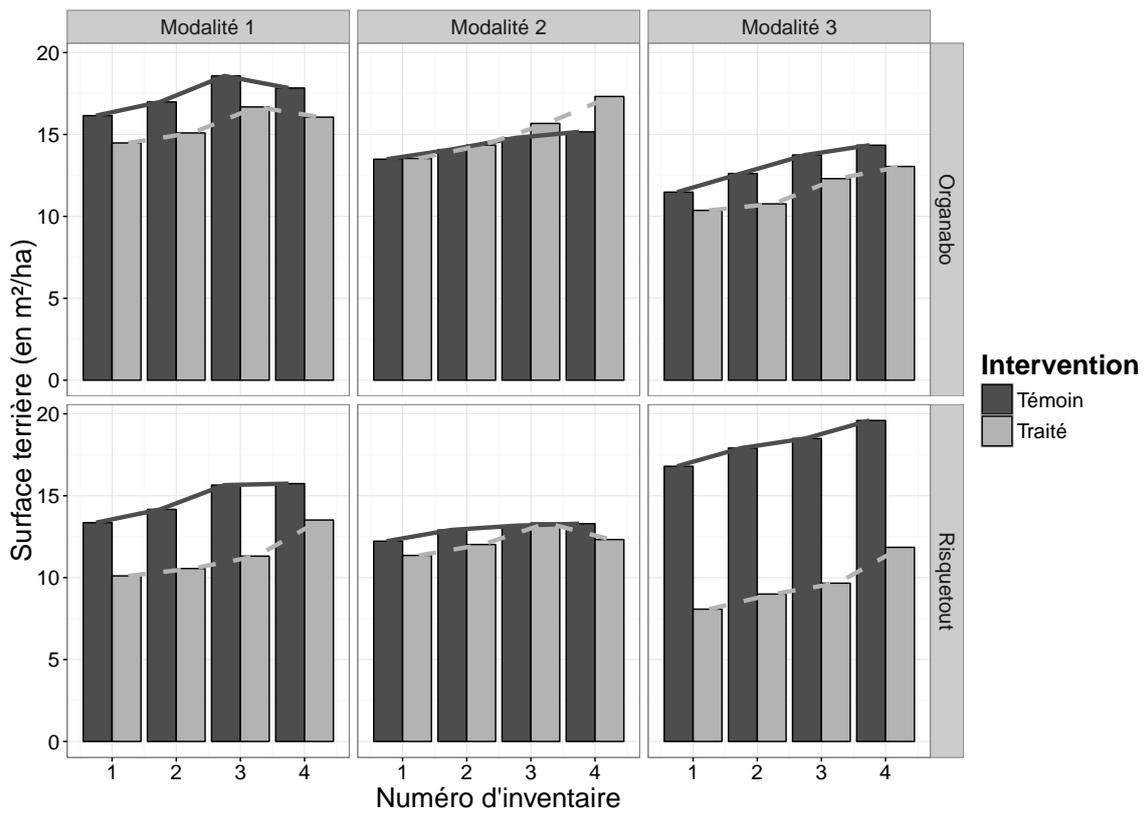
Toute la partie précédente traitait de l'effet des éclaircies sur la croissance en diamètres des arbres commerciaux. Comme il a été montré, la croissance en diamètre est beaucoup plus importante chez les arbres traités que chez les arbres témoins. De fait, on pourrait formuler l'hypothèse que le temps de retour en capital est court. C'est cet aspect qui sera étudié dans cette nouvelle partie. Le choix a été porté sur le retour en capital en surface terrière.

3.4.1 Vérification : quelle est l'évolution de la surface terrière ?

Puisque les croissances en diamètre sont plus grandes chez les traités que les témoins, on peut s'attendre à un rapide rattrapage de la surface terrière chez les premiers par rapport à ces derniers. La FIGURE 17 montre l'évolution des surfaces terrières de chaque placette en fonction du temps. Il faut bien garder en tête le fait que les surfaces terrières initiales n'étaient pas les mêmes chez les traités et les témoins, y compris au sein d'une même parcelle. L'absence de données concernant la proportion en essences commerciales et non commerciales dans les arbres dévitalisés entraîne une impossibilité à connaître la surface terrière initiale sur les placettes traitées.

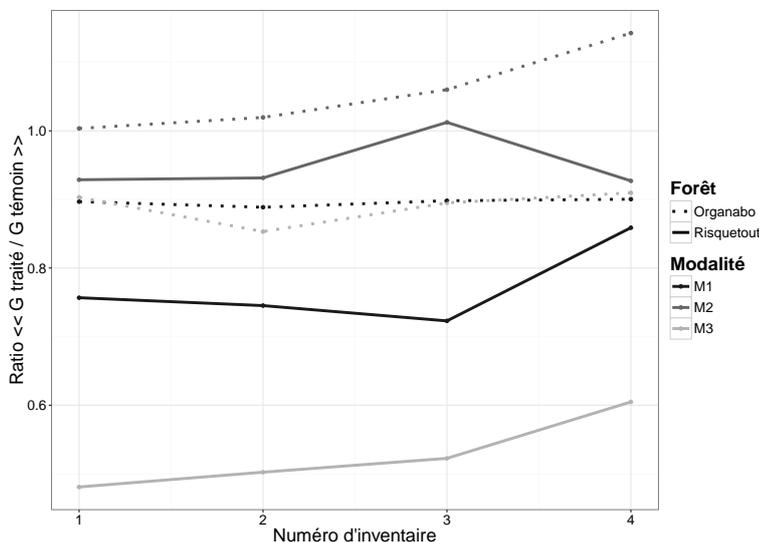
Pour la suite, dans un souci de simplification, les inventaires seront considérés comme étant réguliers. Pour rappel, il a précédemment été mentionné qu'ils couvraient des périodes allant de 3 à 7 ans alors qu'ils étaient théoriquement effectués tous les 4 ans.

FIGURE 17 – Évolution de la surface terrière en fonction du temps (par inventaire) pour chaque parcelle



Si ce graphe permet d’avoir des valeurs de surface terrière pour chaque placette, il ne permet pas de visualiser aisément la différence de croissance en surface terrière entre témoins et traités. Pour remédier à ce problème, une solution peut être, par parcelle, d’analyser l’évolution du ratio $\frac{G_{\text{placette traitée}}}{G_{\text{placette témoin}}}$. Ainsi, si le ratio augmente avec le temps, cela se traduit par le fait que la surface terrière des placettes traitées augmente plus vite que celle des placettes témoins. C’est ce qui a été fait dans la FIGURE 18 en page 35.

FIGURE 18 – Évolution du ratio de surface terrière entre traités et témoins en fonction du temps

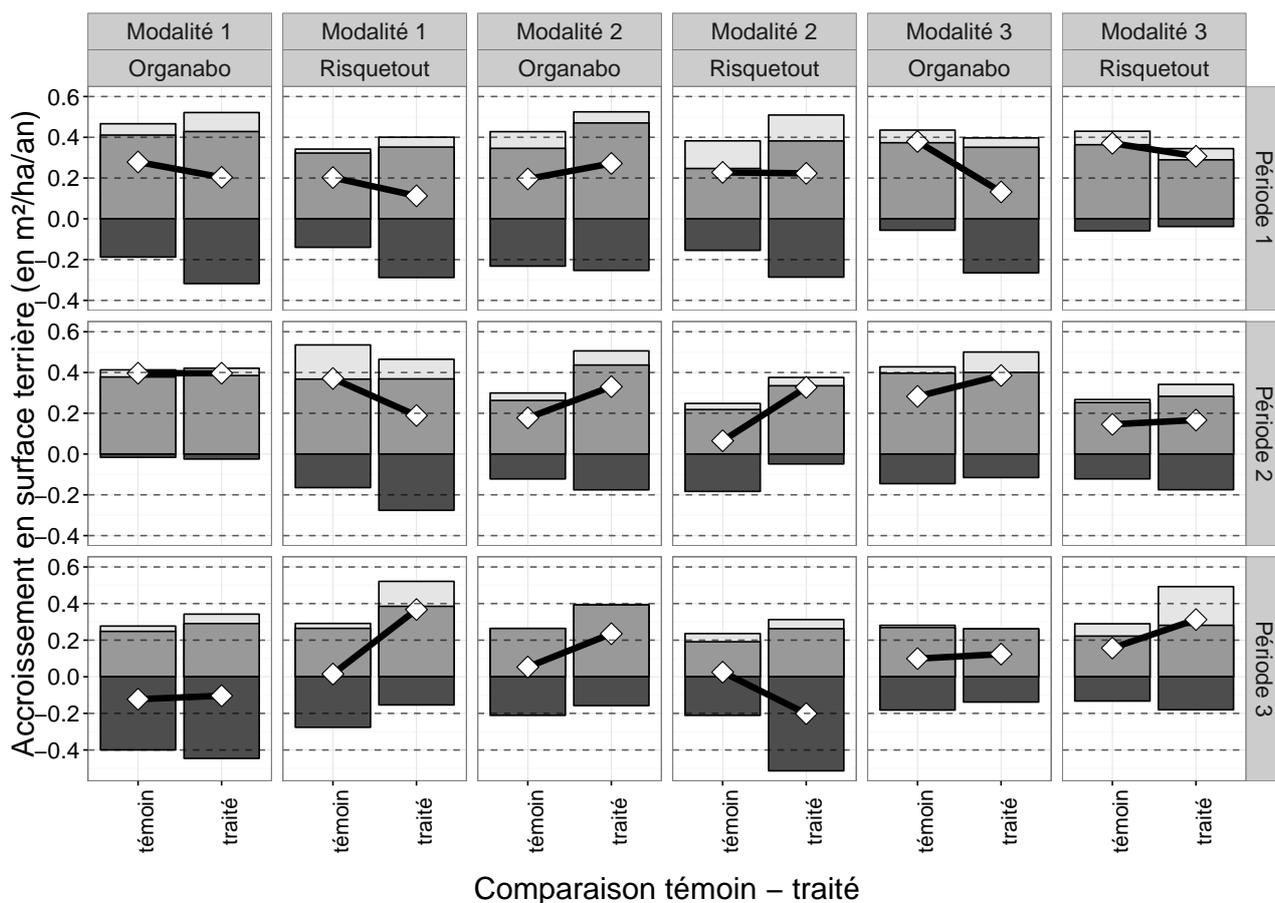


Ce qui se ressort de la FIGURE 18 est l’augmentation du ratio en période 3 (i.e. entre les inventaires 3 et 4) pour trois parcelles : Ris. 14, Ris. 05 et Org. 09. Ces augmentations concernent donc tous types de forêt et tous types de modalité. La parcelle Ris. 08 se démarque par une réaction inverse : la croissance en surface terrière semble très inférieure dans la placette traitée. Nous tenterons d’en trouver l’explication ultérieurement. Concernant les périodes 1 et 2, il n’y a pas de grosse variation (sauf pour la Ris. 08 de nouveau).

Conclusion, à part en dernière période et seulement pour trois parcelles, les placettes éclaircies n’ont pas une croissance globale en surface terrière supérieure aux placettes témoins. Pourquoi ? Nous allons tenter d’apporter une réponse à cette question.

Dans la sous-partie précédente, tout le travail a été effectué sur les arbres vivants uniquement. Or, la croissance en surface terrière, qui est une somme et non plus une moyenne comme c’était le cas pour les croissances en diamètre, englobe également les notions de recrutement (l’ensemble des arbres qui atteignent 10 cm de diamètre à un inventaire alors qu’ils ne les faisaient pas à l’inventaire précédent) et de mortalité (ensemble des arbres qui meurent entre deux inventaires). De fait, puisque les éclaircies – bien que par dévitalisation, ce qui limite les dégâts – entraînent la mort de certains arbres, les placettes traitées peuvent être dotées d’une mortalité bien plus élevée que les placettes témoins. Une autre hypothèse concerne les recrutements : si tous les juvéniles favorisés par les éclaircies sont des non-commerciaux, alors ils ne seront pas pris en compte dans le calcul de la surface terrière. Ce dernier fait pourrait aussi expliquer que la surface terrière des placettes traitées ne s’envole pas comme on pourrait s’y attendre. La FIGURE 19 ci-dessous a été tracée dans le but d’explorer ces deux hypothèses.

FIGURE 19 – Moyennes annuelles de recrutement (gris clair), de mortalité (gris foncé), croissance (gris moyen) et de leur somme (losange blanc) en surface terrière, en fonction du temps



Cette FIGURE 19 permet d’analyser quantitativement les mortalités, recrutements et croissance en surface terrière pour chaque placette et pour chaque période. Les losanges blancs correspondent à la production totale en surface terrière : il s’agit de la somme des trois variables citées précédemment. Les segments noirs dans chaque

case permettent d'illustrer la différences entre le losange du témoin, à gauche dans la case, et le losange du traité, à droite. Ainsi, si le segment est croissant, la production de la placette traitée est supérieurs à la production de la placette témoin.

Plusieurs choses ressortent très nettement de cette FIGURE 19 :

- En première période, c'est-à-dire 4 ans après l'éclaircie, les placettes traitées ont globalement la même production que les placettes témoins (modalités 1 et 2). La plus grande mortalité est alors compensée par une plus grande croissance. Dans le cas de la modalité 3, les résultats sont différents : la croissance n'est pas plus élevée, ce qui est probablement dû au fait que beaucoup d'arbres commerciaux ont été retirés pour cette modalité ;
- En période 2, les mortalités des traités restent globalement plus élevées que les mortalités des témoins, de même que les croissances. La modalité 2 de Risquetout est une exception mais la période 3 ne confirme pas ces résultats de la période 2 ;
- En période 3, les placettes Org. 06 traitée et témoin (modalité 1), ainsi que la placette traitée de Ris. 08 (modalité 2) montrent une importante mortalité (de 0,4 à 0,5 m²/ha/an en moyenne sur la période). Ces mortalités très importantes sont difficiles à expliquer.

Ainsi, les dévitalisations, qui devaient n'engranger que des dégâts limités du fait de leur mécanisme (mort sur pied et non abattage), ont induit une grande mortalité. L'objectif est maintenant d'étudier cette mortalité, afin de voir si elle aurait pu être évitée.

3.4.2 Une forte mortalité imprévisible

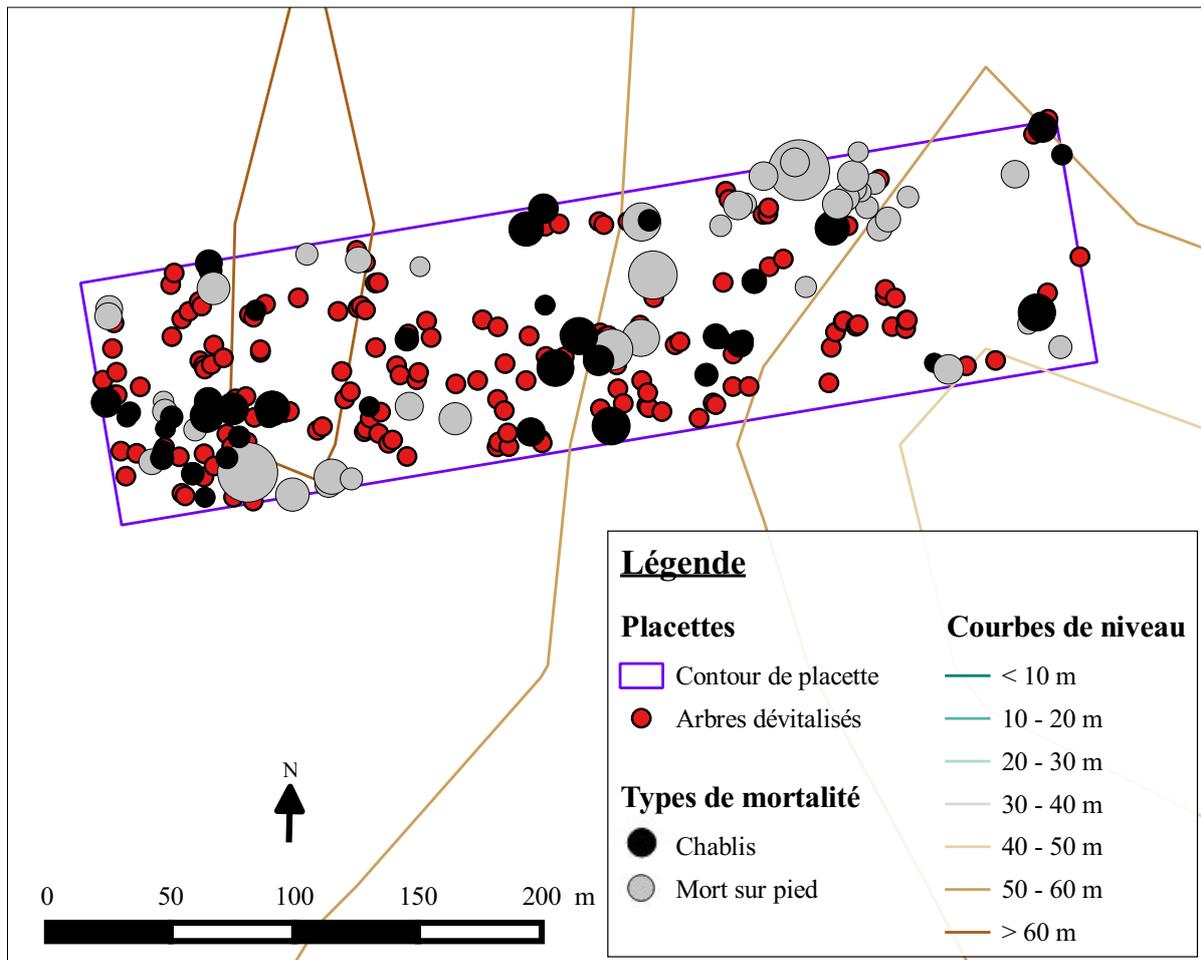
La mortalité est donc un paramètre qui mérite d'être creusé. En effet, s'il est possible de dégager des tendances chez les arbres morts (localisation, diamètre, espèce), on peut imaginer le forestier jouer sur celles-ci pour la limiter. Par exemple (fictif), s'il est mis en évidence que les Fabaceae de 40 cm de diamètre subissent un stress trop important et meurent sur pied suite à une éclaircie trop proche spatialement, il est inutile de dévitaliser des arbres à leur profil.

La mortalité post-éclaircie a été étudiée sous quatre angles : la localisation, le type, et les structure et composition des arbres touchés.

RÉPARTITION

Il est intéressant d'aborder la répartition de la mortalité afin de déterminer des conditions de dévitalisation à éviter. Par exemple, on pourrait supposer que dévitaliser trop d'arbres autour de deux arbres-cibles de diamètres moyens à gros entraîne des chablis primaires et secondaires ; ou encore, que les dévitalisations créent des couloirs de déstabilisation pour les peuplements, entraînant leur chute en cascade. La FIGURE 20 ci-dessous est un exemple d'analyse spatiale qualitative, sur la placette Ris. 05 (modalité 1). Les autres placettes sont détaillées en ANNEXE F, page 65.

FIGURE 20 – Répartition de la mortalité en période 1 sur la placette Ris. 05

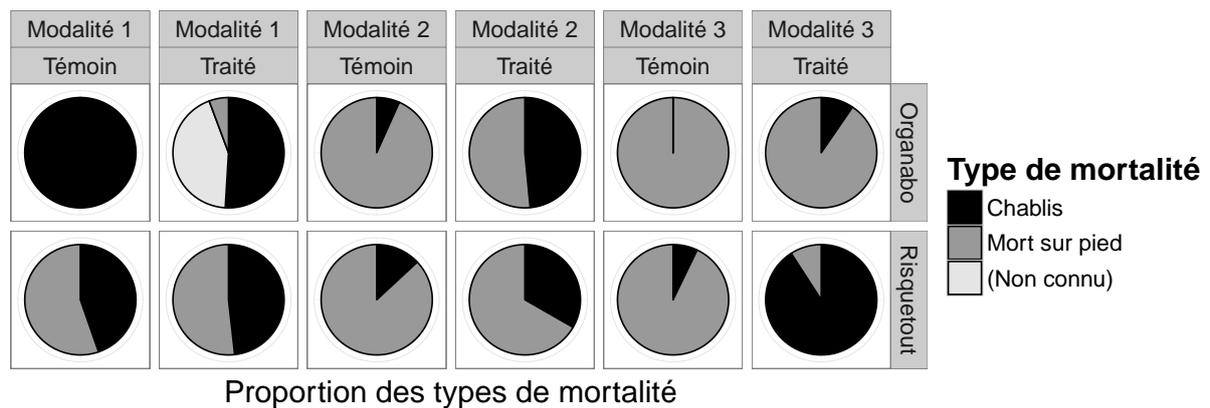


La carte de la FIGURE 20 ne met pas en valeur de tendance particulière. La zone de plus basse altitude, à l'est, correspond très probablement à la zone de bas-fond de la placette ; il n'y a pas de répartition selon ce type de milieu (bas-fond ou non). Toutes les combinaisons sont observées : des agrégats de chablis et arbres morts sur pied aux arbres ponctuels morts sur pied. Cette étude permet donc de conclure que la localisation topographique des dévitalisations n'a pas d'influence sur la mortalité, si ce n'est que plus il y a de dévitalisés à un point donné, plus cette mortalité ponctuelle est élevée. Des tests spatialisés existent néanmoins pour vérifier cette assertion, mais ils n'ont pas encore été réalisés au moment de la rédaction de ce mémoire.

TYPE

L'intérêt d'étudier séparément les arbres morts sur pied et les arbres tombés en chablis est de mesurer l'impact de leur mort sur leurs voisins : si l'on montre un lien entre éclaircie et forte proportion de chablis, on peut remettre en question les éclaircies, car les chablis créent des dégâts importants sur le peuplement résiduel. La FIGURE 21 de la page suivante présente la proportion de chaque type de mortalité pour chaque parcelle.

FIGURE 21 – Comparaison traité – témoin des types de mortalité en période 1



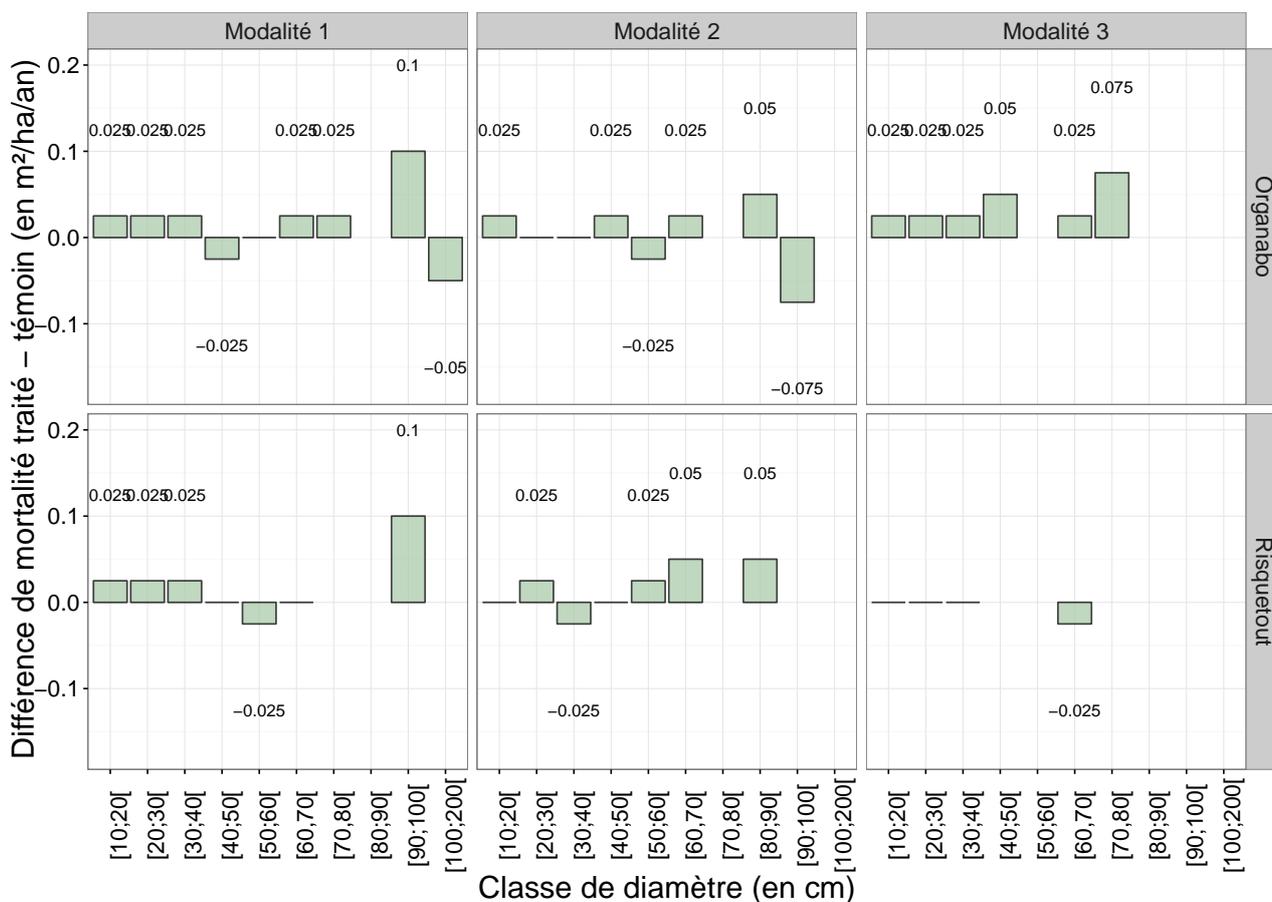
Le type « non connu » correspond à des arbres notés comme « morts par exploitation ». La précédente exploitation ayant eu lieu plusieurs années auparavant, on ne peut pas conclure sur la signification de cette notation. Cela concerne une seule placette, la placette traitée d'Org. 06, et uniquement la période 1. En regard de la placette témoin, il serait cohérent de placer ce bloc de 23 arbres concernés en chablis ; mais en l'absence de confirmation, ils seront laissés en « non connus ».

D'après cette FIGURE 21, il est aisé de conclure que les mortalités induites par les dévitalisation sont plutôt du type chablis. Les arbres éclaircis étant dévitalisés, ce ne sont pas eux qui, en chutant, pourraient entraîner ces chablis. Cependant, ils déstabilisent suffisamment le peuplement pour les créer. Malgré tout, la proportion de chablis n'est pas non plus aberrante (sauf pour la placette Ris. 14), ce qui ne remet *a priori* pas en cause les éclaircies.

STRUCTURE

La structure a été étudiée en analysant la différence du nombre de tige par hectare participant à la mortalité entre traités et témoins. Le résultat est présenté sur la FIGURE 22 de la page suivante. Il aurait également été intéressant de le convertir en surface terrière, mais cela n'a pas été réalisé.

FIGURE 22 – Différence de mortalité (en surface terrière, m²/ha) entre placettes traitées et témoins, pour la période 1



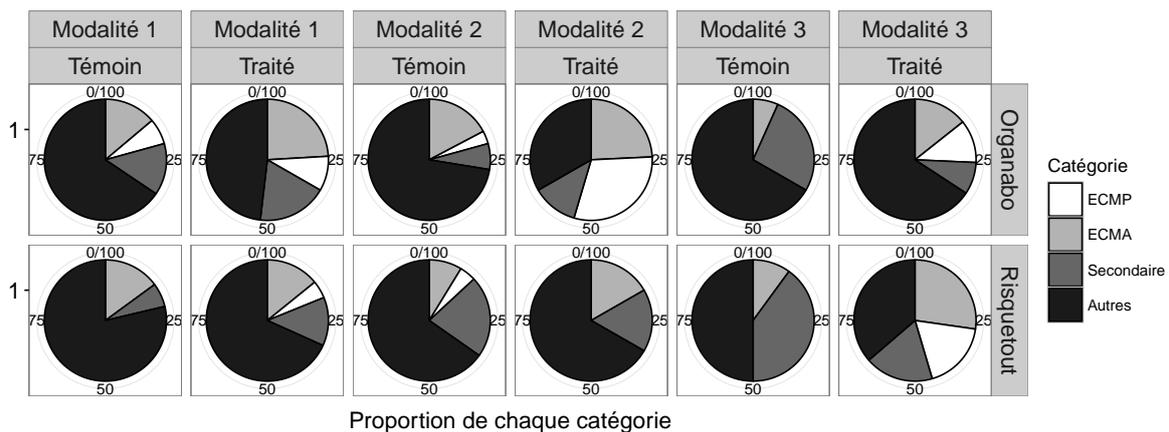
Cette FIGURE 22 montre que ce sont les petits diamètres (10 – 30 cm) qui sont majoritairement touchés. Une remarque peut être faite sur la modalité 3, quelle que soit la forêt : cette modalité présente les plus grandes intensité et possède, paradoxalement, les mortalités les plus limitées.

Enfin, si l'on raisonne à court terme, on peut conclure que le capital en gros diamètres est peu touché et qu'il y aura toujours des arbres exploitables à récolter à la rotation suivante.

COMPOSITION

Les dévitalisations augmentent-elles la mortalité chez les essences les plus commerciales ? Une réponse est apportée par la FIGURE 23 en page 41.

FIGURE 23 – Proportion de chaque type d'essences (commerciales uniquement) dans la mortalité



Ces camemberts (proportion en nombre de tiges par hectare) mettent en valeur le résultat suivant : les essences commerciales majeures sont plus touchées en proportion que les essences secondaires ou « autres ». Ainsi, non seulement les éclaircies entraînent une mortalité plus grande sur les placettes traitées que sur les placettes témoins, mais en outre ces mortalités touchent en proportion plus d'essence commerciale majeure. Cependant, mis en lien avec la structure étudiée à la page précédente, on peut supposer que ce sont de petits diamètres d'ECM qui sont touchés, et que le stock est suffisamment grand pour absorber cet effet. De plus, ce résultat pouvait être attendu dans la mesure où l'éclaircie étant réalisée au profit des ECMP, ce sont elles qui subissent le plus la crise « d'isolement » induisant la mortalité après éclaircie.

SYNTHÈSE

Pour conclure cette sous-partie sur la mortalité, on pourrait synthétiser les quatre angles d'approche comme suit. Tout d'abord, la mortalité post-éclaircie est spatialement imprévisible : d'importantes concentrations d'arbres dévitalisés entraînent de fortes mortalités, mais les agrégats de mortalité ne sont pas répartis selon, par exemple, des couloirs de mortalité. Ensuite, on peut noter que la proportion de chablis est très importante dans cette mortalité. Ce ne sont cependant pas forcément les arbres à plus gros diamètres qui se déracinent. Pour continuer sur des aspects de structure, il est clairement apparu que les petits arbres sont plus touchés que les gros, en nombre de tige par hectare. Cela est probablement notamment dû au fait qu'ils sont bien plus nombreux. Enfin, les essences commerciales majeures sont plus touchées sur les placettes traitées que sur les placettes témoins. Il est légitime de se demander si ces essences commerciales majeures sont celles au profil desquelles les dévitalisations ont été réalisées : en effet, si les éclaircies au profit d'arbres-cibles entraînent la mort de ces derniers, leur intérêt est remis en cause.

Ainsi, la forte mortalité en période 1 semble inévitable. Dans tous les cas, elle sera importante et il faudra en tenir compte. De fait, une nouvelle question vient aussitôt à l'esprit : si cette mortalité est obligatoire dans les premières années suivant l'éclaircie, est-elle au moins compensée par les croissances en diamètre plus grandes ? Si oui, au bout de combien de temps ? Les éclaircies permettent-elles de diminuer les temps de rotation entre deux coupes ?

3.4.3 Bilan : la mortalité est-elle finalement compensée ?

Dans toute cette sous-partie, le raisonnement s'appuiera sur les données de la placette Ris. 14 traitée. En effet, c'est la seule placette pour laquelle un inventaire spécifique des arbres dévitalisés est disponible. Ainsi, il est aisé de déterminer la surface terrière en essences commerciales parmi les arbres dévitalisés. Cette surface terrière est égale à 7,31 m²/ha, dont 0,48 m²/ha d'ECM : la plupart des arbres dévitalisés étaient des wapa courbaril et des wapa falcata (respectivement *Eperua grandiflora* et *E. falcata*), c'est-à-dire des arbres de catégorie « Autres ».

D'un autre côté, on connaît pour chaque période la production annuelle moyenne de la placette en essences commerciales. En période 1, celle-ci est de 0,31 m²/ha/an, en période 2, de 0,16 m²/ha/an, et enfin en période 3, de 0,31 m²/ha/an de nouveau. En pondérant par la durée de chaque période – 3, 4 et 7 ans successivement – il est possible de calculer la production annuelle moyenne sur toute la période depuis la mise en place du dispositif. Celle-ci est de 0,20 m²/ha/an (0,05 m²/ha pour les simples ECM).

Partant de ces deux données, il est désormais aisé de calculer le temps que mettra la placette à renouveler le capital de surface terrière qui a été supprimé lors de la dévitalisation. Cette durée est calculée de la manière suivante :

$$\text{temps de retour} = \frac{\text{surface terrière dévitalisée}}{\text{production annuelle moyenne}},$$

où la surface terrière dévitalisée est en m²/ha et la production annuelle moyenne, en m²/ha/an. Après calcul, on trouve un temps de retour en surface terrière de 36 ans environ. À titre de comparaison, le temps de retour d'une forêt tempérée irrégulière à l'équilibre est de 25 ans en moyenne. Cette durée de 36 ans peut ainsi être considérée comme courte pour une FTH. Les ECM, quant à elles, ont retrouvé leur capital en surface terrière en 9 ans. Ce dernier chiffre peut notamment s'expliquer par le fait que très peu d'ECM ont été dévitalisées, donc retirées du capital, alors que toutes les ECM restantes ont bénéficié de la dynamisation provoquée par les éclaircies.

Cependant, cette faible valeur est tout de même à nuancer. D'abord, elle ne concerne qu'une seule placette. Avoir les données spécifiques des dévitalisations des cinq autres placettes aurait permis d'avoir un plus large panel de résultats et de pouvoir les comparer, notamment en fonction de l'intensité appliquée. À ce propos, l'intensité appliquée à la placette Ris. 14 est la plus élevée : 45 % de la surface terrière. Il serait intéressant de tester d'autres intensités, afin de voir si des croissances en diamètre moins dynamisées compensent également des mortalités plus faibles.

Ensuite, un autre point de discussion concerne les données utilisées pour le calcul. En effet, la production annuelle moyenne a été calculée sur les trois périodes à disposition uniquement, c'est-à-dire au plus 14 ans après le premier inventaire. Or, on peut supposer que les effets des éclaircies vont se tasser dans le temps, impliquant une production annuelle moyenne de plus en plus faible jusqu'au niveau du témoin – bien que l'on puisse présager un pic de recrutement à un moment donné dû à la dynamisation des actuels juvéniles. Le tassement évoqué est d'ailleurs déjà en cours, comme on l'a vu avec la figure FIGURE 6 en page 22. Cet autre fait pourrait aussi tendre en faveur d'un temps de retour plus long et surtout, si le tassement de l'effet des éclaircies se produit avant la fin de ce temps de retour, elles perdent tout leur intérêt temporel – celui de réduire les temps de rotation.

Le capital en surface terrière des essences commerciales sera donc compensé au bout d'une trentaine d'années, mais ces résultats sont actuellement à utiliser avec précaution du fait du manque de répétition et de recul.

4 INTÉRÊT DES ÉCLAIRCIES ET PERSPECTIVES

S I les éclaircies présentent un indéniable gain de croissance pour les peuplements, notamment concernant les essences exploitées à l'heure actuelle, il est important de les remettre dans le contexte forestier.

4.1 Réflexion autour de l'intérêt des éclaircies en FTH

Il est intéressant de discuter la légitime question de l'intérêt des éclaircies, au regard des difficultés d'installation et de la forte mortalité qu'elles impliquent.

Un premier aspect de l'intérêt des éclaircies concerne la filière forêt-bois de Guyane. Actuellement, l'objectif de production de bois d'oeuvre annuel est de 80 000 m³ grume (*Sylviculture pour la production de bois d'oeuvre des forêts du Nord de la Guyane* (2016) [19]). Or, on a vu que ce volume est principalement réalisé sur les ECMP, voire quelques ECMA. Les éclaircies pourraient être utilisées à des fins de contrôle de la composition spécifique des peuplements commerciaux, afin d'augmenter la proportion de ces ECM. Cependant, il faut tout de même mentionner que cela poserait d'autres questions, telles que celle de la richesse spécifique : observera-t-on une chute de cette dernière du fait de l'expansion des ECM ?

Un second point de réflexion concerne une réalité de plus en plus mentionnée dans la littérature forestière : l'adaptation aux changements climatiques. En effet, en FTH, ceux-ci se manifestent notamment par des périodes sèches plus longues (Aubry-Kientz *et al.* (2015) [2]), donc des stress hydriques plus importants. Cela aboutit entre autres à une diminution de la croissance et à une augmentation de la mortalité (Bonal *et al.* (2016) [4]). De nombreuses études ont d'ores et déjà visé à améliorer notre connaissance de la réaction de telle ou telle espèce à ces changements. Par exemple, (Fargeon *et al.* (2016) [12]) ont étudié la réaction 14 espèces commerciales (dont les six ECMP auxquelles on s'est intéressé dans la partie précédente) au stress hydrique. Les résultats concernent la mortalité et la croissance en diamètre. Des pistes peuvent ainsi être explorées, mais il est nécessaire de prendre du recul par rapport à celles-ci :

- **Mortalité** : le goupi et le gonfolo rose résistent le mieux, suivis de l'angélique, du balata franc et du grignon franc, et enfin du gonfolo gris. Il est difficile d'agir sur ce facteur via les dévitalisations, mais il est toujours possible de mentionner le fait qu'il semble préférable de ne pas trop éclaircir autour du gonfolo gris, les éclaircies entraînant un stress supplémentaire ;
- **Croissance** : la croissance en diamètre est plus affectée chez le balata franc et l'angélique, que chez les autres ECMP. Les dévitalisations permettant de jouer sur ce paramètre, il est envisageable de favoriser la dévitalisation de ces deux espèces plus « fragiles » en vue de diminuer leur stress hydrique et, de fait, de compenser leur chute de croissance en diamètre.

Les éclaircies seraient donc un bon levier pour orienter la sylviculture en vue non seulement du développement de la filière bois en Guyane, mais aussi pour faire face à une augmentation de la période sèche avec les changements climatiques en cours.

4.2 **Mais : des éclaircies impossible à mettre en place actuellement**

À l'heure actuelle, les éclaircies par dévitalisation semblent impossible à mettre en place en Guyane car l'utilisation de l'herbicide employé (et de n'importe quel autre herbicide) n'est plus autorisée en forêt. L'idéal serait donc de trouver une alternative à l'herbicide, plus respectueuse de l'environnement, mais qui permettrait tout de même la dévitalisation chimique des arbres. Cette alternative n'existe pas à l'heure actuelle. On peut néanmoins se permettre de réfléchir à d'autres solutions que la dévitalisation chimique.

ALTERNATIVE I

Une première option pourrait être de reproduire de nouveau les mêmes éclaircies, mais par travail mécanique uniquement et non plus mécanique *et* chimique. La question de la faisabilité et du coût d'un tel procédé est alors la principale source de blocage de cette solution : sans produit chimique, les entailles de dévitalisations (assimilables à des annellations) doivent être plus larges pour être sûr qu'elles entraînent la mort de l'arbre à retirer.

Cependant, mon étude a permis de dégrossir l'effet des éclaircies sur différents diamètres et différentes espèces. On pourrait par exemple réaliser des éclaircies uniquement pour certaines essences : les ECMP, pour satisfaire la demande en bois d'oeuvre, ou les ECMA, afin d'anticiper une éventuelle future demande. Ainsi, en affinant de plus en plus la sylviculture, il est possible d'aboutir à des protocoles de travaux sylvicoles plus légers, impliquant donc un nombre d'arbres à dévitaliser plus faible, et donc une optimisation des coûts de ces travaux.

ALTERNATIVE II

Une seconde option pourrait être d'avoir recours à une éclaircie avec abatteuse, couplée ou non à l'exploitation à faible impact (EFI). Cependant, la notion de « faible impact » pourrait alors être remise en cause : ajouter des abattages d'éclaircie en plus des abattages d'exploitation impliquerait la création d'ouvertures de canopée plus importantes, de fortes mortalités dans le peuplement commercial résiduel, voire l'ouverture de nombreux cloisonnements supplémentaires. Le travail d'éclaircies au profit d'arbres-cibles, assimilables à des tiges d'avenir mises en réserve dans l'EFI, impliquerait également de mettre en place des abattages très dirigés pour de nombreux arbres, avec des risques de dégradation de l'arbre-cible...et donc d'avoir abattu « pour rien ». Une solution pourrait alors être de ne cibler que de petits – moyens diamètres à retirer : il y en aurait un peu plus et les effets sur la diminution de la concurrence peut-être plus légers, mais les dégâts seraient en théorie également plus faibles.

D'un autre côté, la filière bois-énergie de la Guyane étant en plein essor, les arbres éclaircis par abattage pourraient être de fait valorisés en bois-énergie malgré leur non-commercialisation en tant que bois d'oeuvre, compensant alors les coûts importants provoqués par les éclaircies.

Enfin, si le raisonnement est porté sur une séparation temporelle de l'exploitation et de l'éclaircie, la question de l'entretien des pistes et des cloisonnements d'exploitation se pose. En effet, ceux-ci se referment très

rapidement après l'exploitation, et des coûts supplémentaires seraient engendrés par un passage au milieu de la rotation. Une alternative pourrait être de pratiquer plusieurs éclaircies au cours de cette rotation, ce qui limiterait les coûts d'entretien mais engendrerait d'autres questions, telles que celle du renouvellement d'espèces pionnières non commerciales, ou encore celle de l'éventuelle diminution de richesse spécifique que cela impliquerait.

BILAN

Ces alternatives doivent être étudiées avec le recul nécessaire : les résultats présentés, notamment pour le modèle, ne concernent que huit à douze placettes de 4 ha en moyenne dont la moitié n'ont pas été traitées, et qui sont localisées sur deux massifs forestiers qui ne représentent pas toutes les forêts du DFP. Enfin et surtout, elles doivent être absolument et systématiquement couplées à des études économiques, car la gestion forestière actuelle se déroule dans un cadre économique de restrictions et chaque action sylvicole doit être rigoureusement justifiée.

4.3 Poursuite de l'acquisition de connaissances : quel avenir pour les forêts-pilotes ?

La présente étude fait état des lieux du dispositif des forêts-pilotes entre 15 et 20 ans après leur installation. Il a été observé une dynamisation de la croissance en diamètre des placettes traitées par rapport aux placettes témoins, et ce même après cette longue période. Des temps de retour ont été calculés, voués à évoluer en fonction du tassement de l'effet des éclaircies sur le long terme.

Ce tassement des effets de dévitalisation ne sont pas encore atteint. Dans le but de poursuivre la présente étude et de suivre l'évolution du dispositif jusqu'à la disparition totale des effets des éclaircies, il est indispensable de continuer la réalisation d'inventaires réguliers. Si ces inventaires se révèlent être assez coûteux, ils composent une remarquable base de données qui permettra, sur le long terme, d'améliorer de plus en plus finement la sylviculture en forêt guyanaise. Une estimation de la durée de dynamisation avant tassement pourrait être faite en utilisant les placettes de Paracou, qui ont subi une exploitation en 1986 – 1987, c'est-à-dire une dizaine d'années avant la mise en place des forêts-pilotes.

Des autres dispositifs étudiant d'ores et déjà la régénération et le recrutement plus en détail, il n'est pas nécessaire de compléter voire d'alourdir le protocole de relevé des forêts-pilotes de ce point de vue là. Cependant, en termes d'améliorations des inventaires des placettes, on peut mentionner le relevé en plein pour les espèces non commerciales en plus des essences commerciales. C'est ce qui a déjà été fait sur les placettes traitée et témoin de la parcelle Ris. 14 en cette année 2016, et qu'il serait intéressant d'étendre à toutes les placettes du dispositif lors des prochains inventaires.

Ainsi, la poursuite des inventaires et leur enrichissement avec les espèces non commerciales pourraient permettre, sur le long terme, d'améliorer encore nos connaissances sur les dynamiques forestières liées aux éclaircies en forêt tropicale humide.

CONCLUSION

Faisant suite à l'étude intermédiaire de 2008, le travail qui s'achève par ces quelques lignes de conclusion a été très riche en apports de nouvelles connaissances, en réflexion sur la sylviculture en Guyane et sur la manipulation de grands inventaires pour en extraire les informations dont le forestier a besoin pour la gestion courante de ses forêts.

Si les éclaircies ne sont plus envisageables à l'heure actuelle, il ne faut pas pour autant oublier leurs bénéfices. Le contexte actuel, contexte de changements rapides dans la gestion des forêts de Guyane du fait des changements globaux (anthropiques comme climatiques), va probablement amener à un besoin de repenser la sylviculture des forêts tropicales humides de Guyane, et il est possible que la mise en place de tels traitements sylvicoles soient un jour de nouveau d'actualité.

En attendant, dans la continuité des travaux effectués à Paracou et de mon étude, il est indispensable de poursuivre la recherche sur les dispositifs d'éclaircies, afin de mieux appréhender les dynamiques forestières qui en résultent et de pouvoir anticiper des changements de sylviculture le jour où ils se produiront.

RÉFÉRENCES

- [1] ARETS E.M.M.J. Long-term responses of populations and communities of trees to selective logging in tropical rain forests in Guyana. *Diversity*, vol. 13 : 192 pages, 2005.
- [2] AUBRY-KIENTZ M., ROSSI V., WAGNER F., and HÉRAULT B. Identifying climatic drivers of tropical forest dynamics. *Biogeosciences*, vol. 12 (n° 19) : pages 5583–5596, 2015.
- [3] BEDEL F. and DURIEU DE MADRON L. Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine : le dispositif de M’Baïki en République Centrafricaine (1982-1995). : 81 pages, 1998.
- [4] BONAL D., BURBAN B., STAHL C., WAGNER F., HÉRAULT B., and LEBAN J.-M. The response of tropical rainforests to drought—lessons from recent research and future prospects. *Annals of Forest Science*, vol. 73 (n° 1) : pages 27–44, 2016.
- [5] BRUNAUX O., DEMENOIS J., LECOEUR N., and GUITET S. Directive régionale d’aménagement - Région Nord Guyane. volume , pages pages 1–302. 2009.
- [6] CAVALERI M.A., REED S.C., SMITH W.K., and WOOD T.E. Urgent need for warming experiments in tropical forests. *Global Change Biology*, vol. 21 (n° 6) : pages 2111–2121, 2015.
- [7] CORLETT R.T. Impacts of warming on tropical lowland rainforests. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 26 (n° 11) : pages 606–613, 2011.
- [8] DE GRAAF N.R., POELS R. LH, and VAN ROMPAEY R. SAR. Effect of silvicultural treatment on growth and mortality of rainforest in Surinam over long periods. *Forest Ecology and Management*, vol. 124 (n° 2-3) : pages 123–135, 1999.
- [9] DEMENOIS J., GOURLET-FLEURY S., FUHR M., and JOURGET J.-G. Sylviculture en forêt tropicale humide guyanaise. *Revue Forestière Française*, (n° spécial) : pages 273–290, 2003.
- [10] DUPUY B. Effet de deux types d’éclaircie en forêt dense ivoirienne. *Bois et forêts des tropiques*, vol. 253 (n° 3) : pages 5–19, 1997.
- [11] DUPUY B. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. *Serie FORAFRI*, (n° 4) : 387 pages, 1998.
- [12] FARGEON H., AUBRY-KIENTZ M., BRUNAUX O., DESCROIX L., GUITET S., ROSSI V., and HÉRAULT B. Vulnerability of commercial tree species to water stress in logged forests of the Guiana shield. *Forests*, vol. 105 (n° 7) : pages 1–21, 2016.
- [13] FAVRICHON V. Classification des espèces arborées en groupes fonctionnels en vue de la réalisation d’un modèle de dynamique de peuplement en forêt guyanaise. *Revue d’écologie (La Terre et la Vie)*, vol. 49 : pages 379–403, 1994.
- [14] FERRY B., FREYCON V., and PAGET D. Genèse et fonctionnement hydrique des sols sur socle cristallin en Guyane. *Revue Forestière Française*, (n° spécial) : pages 37–59, 2003.

- [15] FREYCON V., SABATIER D., PAGET D., and FERRY B. Influence du sol sur la végétation arborescente en forêt guyanaise : état des connaissances. *Revue Forestière Française*, (n° spécial) : pages 60–73, 2003.
- [16] GUITET S., BLANC L., TROMBE P.J., and LEHALLIER B. Traitements sylvicoles en forêt tropicale guyanaise : bilan de dix ans d'expérimentations. *Bois et forêts des tropiques*, vol. 301 : pages 7–19, 2009.
- [17] GUITET S. and BRUNAUX O. Rapport final projet « DYGEPOP ». : 98 pages, 2012.
- [18] GUITET S., BRUNAUX O., DE GRANVILLE J.J., GONZALES S., and RICHARD-HANSEN C. Catalogue des habitats forestiers de Guyane. page 120 pages, 2015.
- [19] GUITET S., BRUNAUX O., and TRAISSAC S. Sylviculture pour la production de bois d'oeuvre des forêts du Nord de la Guyane. (Avril) : 178 pages, 2016.
- [20] HÉRAULT B., OUALLET J., BLANC L., WAGNER F., and BARALOTO C. Growth responses of neotropical trees to logging gaps. *Journal of Applied Ecology*, vol. 47 (n° 4) : pages 821–831, 2010.
- [21] NGUYEN-THE N., FAVRICHON V., SIST P., HOUDE L., and FAUVET N. Dynamique de la forêt mixte à diptérocarpacées de basse altitude avant et après traitement sylvicole. *Bois et forêts des tropiques*, vol. 259 (n° 1) : pages 25–44, 1999.
- [22] PEÑA-CLAROS M., FREDERICKSEN T.S., ALARCÓN A., BLATE G.M., CHOQUE U., LEAÑO C., LICONA J.C., MOSTACEDO B., PARIONA W., VILEGAS Z., and PUTZ F.E. Beyond reduced-impact logging : Silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest Ecology and Management*, vol. 256 (n° 7) : pages 1458–1467, 2008.
- [23] PEÑA-CLAROS M., PETERS E.M., JUSTINIANO M.J., BONGERS F., BLATE G.M., FREDERICKSEN T.S., and PUTZ F.E. Regeneration of commercial tree species following silvicultural treatments in a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, vol. 255 (n° 3-4) : pages 1283–1293, 2008.
- [24] PETROKOFISKY G., SIST P., BLANC L., DOUCET J.L., FINEGAN B., GOURLET-FLEURY S., HEALEY J.R., LIVOREIL B., NASI R., PEÑA-CLAROS M., PUTZ F.E., and ZHOU W. Comparative effectiveness of silvicultural interventions for increasing timber production and sustaining conservation values in natural tropical production forests. A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, vol. 4 (n° 1) : pages 1–7, 2015.
- [25] PUETTMANN K.J. Silvicultural Challenges and Options in the Context of Global Change : "Simple" Fixes and Opportunities for New Management Approaches. *Journal of Forestry*, vol. 109 (n° 6) : pages 321–331, 2011.
- [26] SIST P., GOURLET-FLEURY S., and NASI R. IUFRO international conference report : What future is there for tropical forest silviculture ? *Bois et forêts des tropiques*, vol. 310 (n° 4) : pages 3–9, 2011.

PERSONNES RESSOURCES DE L'ÉTUDE

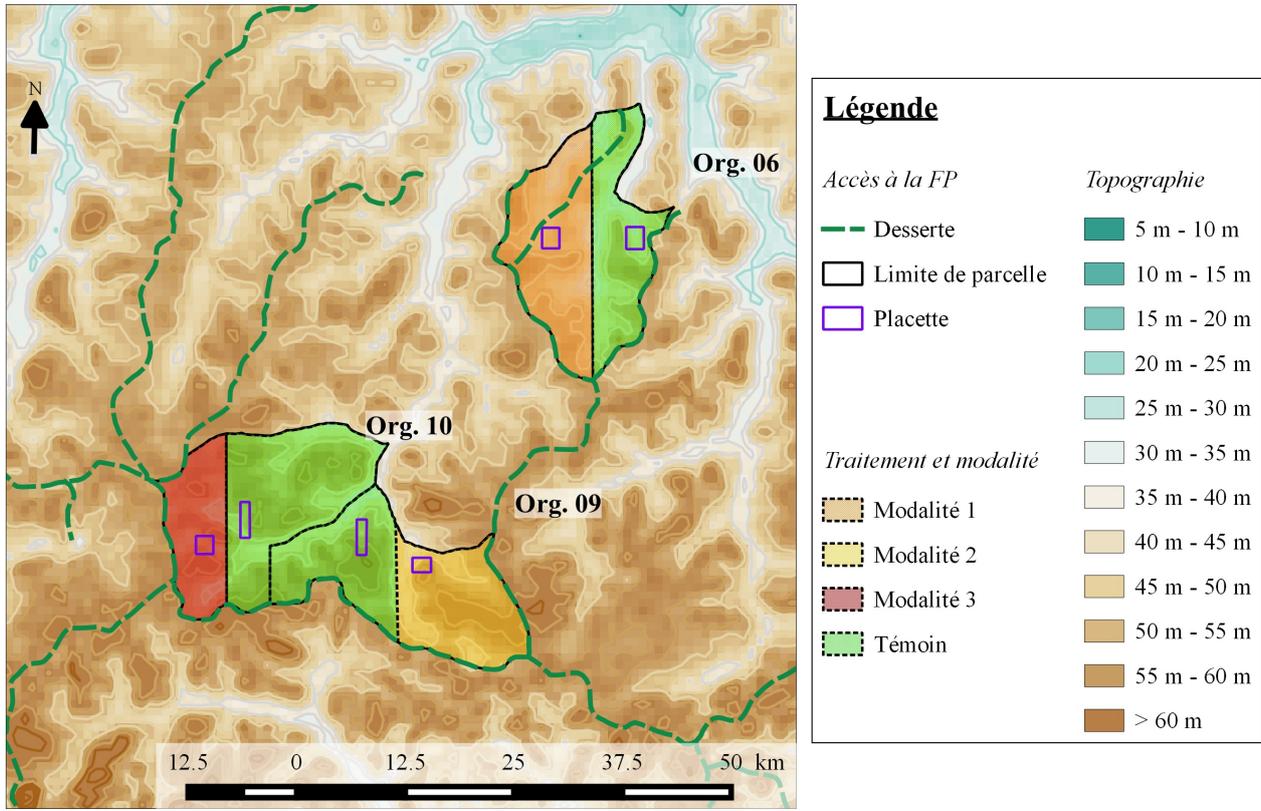
NOM, prénom	Fonction, VILLE	Rôle dans l'étude	Adresse mail	Numéro de téléphone
DESCROIX, Laurent	Responsable pôle RDI – ONF, CAYENNE	Tuteur	laurent.descroix@onf.fr	05 94 25 53 95
HÉRAULT, Bruno	Chercheur Cirad – UMR EcoFoG, KOUROU	Tuteur	bruno.herault@cirad.fr	05 94 32 92 05
TRAISSAC, Stéphane	Chercheur AgroParisTech – UMR EcoFoG, KOUROU	Enseignant-référent	stephane.traissac@ecofog.gf	05 94 32 92 95
BEZARD, Vincent	Assistant R&D – ONF, CAYENNE	Référent pour les inventaires	vincent.bezard@onf.fr	06 94 44 22 97
GUITET, Stéphane	Chercheur Cirad – UMR AMAP, MONTPELLIER	Ancien responsable du pôle RDI de Cayenne, a réalisé l'étude de 2008	stephane.guitet@cirad.fr	04 67 61 71 87
PLANCHERON, Françoise	Chargée de projet environnement – ONF, MENDE	A réalisé le suivi de l'installation des forêts-pilotes	francoise.plancheron@onf.fr	04 66 65 63 24

TABLE DES ANNEXES RÉPÉTÉE

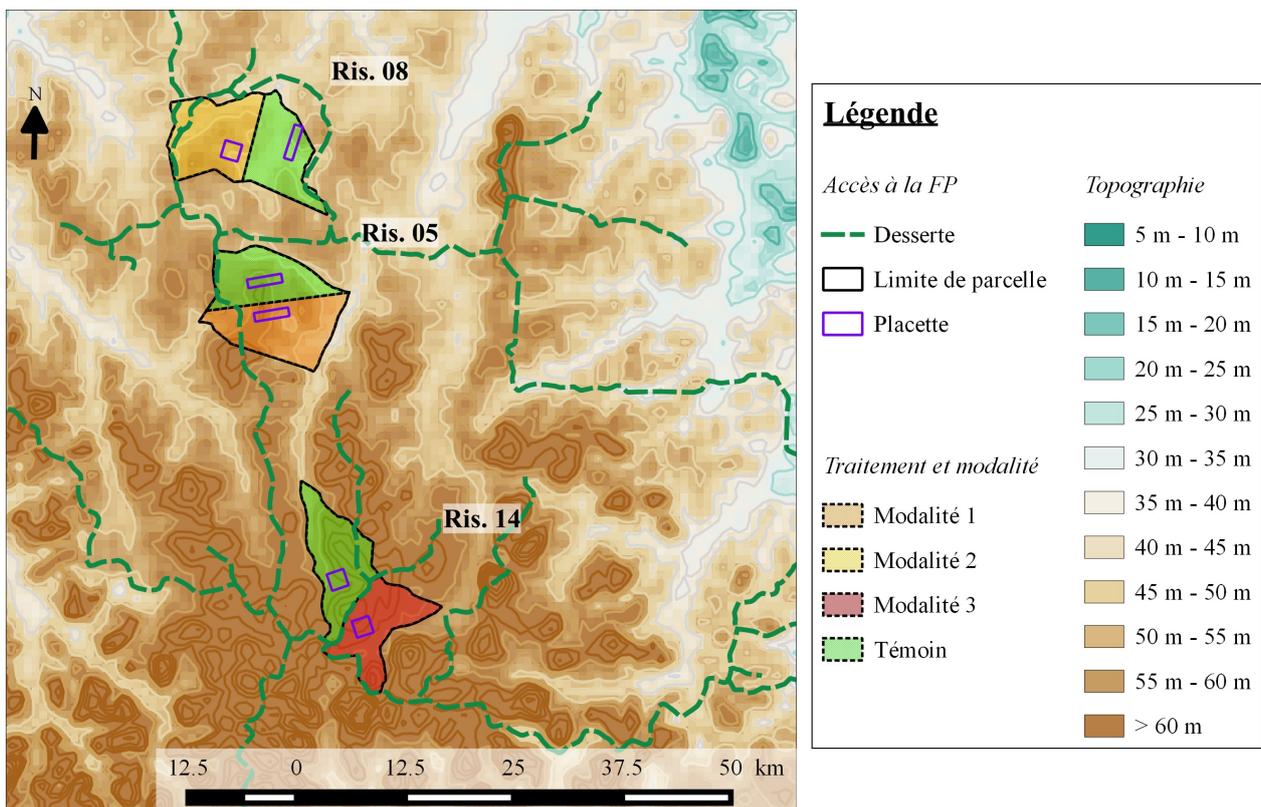
ANNEXE A – LOCALISATION DES PLACETTES AU SEIN DE CHAQUE FORÊT-PILOTE.	51
ANNEXE B – LISTE DES ESSENCES ET CATÉGORIES COMMERCIALES.	53
ANNEXE C – SCHÉMAS ET EXPLICATIONS DES TROIS MODALITÉS	57
ANNEXE D – PRÉSENTATION DES MODÈLES DE CROISSANCES.	59
ANNEXE E – RECHERCHE D’OPTIMA D’ÉCLAIRCIE.	61
ANNEXE F – RÉPARTITION SPATIALE DE LA MORTALITÉ EN PÉRIODE 1	65

ANNEXE A – LOCALISATION DES PLACETTES SUR CHAQUE FORÊT-PILOTE

ORGANABO



RISQUETOUT



ANNEXE B – LISTE DES ESSENCES ET CATÉGORIES COMMERCIALES

Ordre alphabétique selon le nom vernaculaire

Catégorie	Nom vernaculaire	Famille	Genre espèce
ECMP	Amarante	Fabaceae	<i>Peltogyne paniculata</i>
ECMP	Angélique	Fabaceae	<i>Dicorynia guianensis</i>
ECMP	Balata franc	Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata</i>
ECMP	Gonfolo gris	Vochysiaceae	<i>Ruizterania albiflora</i>
ECMP	Gonfolo rose	Vochysiaceae	<i>Qualea rosea</i>
ECMP	Goupi	Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i>
ECMP	Grignon	Lauraceae	<i>Sextonia rubra</i>
ECMA	Adugue	Fabaceae	<i>Swartzia arborescens</i>
ECMA	Amourette	Moraceae	<i>Brosimum guianense</i>
ECMA	Bagasse	Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i>
ECMA	Boco	Fabaceae	<i>Bocoa prouacensis</i>
ECMA	Bois grage	Protaceae	<i>indet. Protaceae indet.</i>
ECMA	Bois serpent	Fabaceae	<i>Zygia racemosa</i>
ECMA	Bugu bugu	Fabaceae	<i>Swartzia polyphylla</i>
ECMA	Carapa	Meliaceae	<i>Carapa surinamensis</i>
ECMA	Cèdre	Lauraceae	<i>Ocotea argyrophylla</i>
ECMA	Cèdre cannelle	Lauraceae	<i>Licaria martiniana</i>
ECMA	Cèdre indet.	Lauraceae	<i>Indet. indet.</i>
ECMA	Cœur dehors	Fabaceae	<i>Diploptropis purpurea</i>
ECMA	Courbaril	Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>
ECMA	Ébène rouge	Bignoniaceae	<i>Tabebuia impetiginosa</i>
ECMA	Ébène verte	Fabaceae	<i>Platymiscium pinnatum</i>
ECMA	Jaboti	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>
ECMA	Manil	Clusiaceae	<i>Moronobea coccinea</i>
ECMA	Manil marécage	Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i>
ECMA	Moutouchi montagne	Fabaceae	<i>Swartzia indet.</i>
ECMA	Mutende kwali	Vochysiaceae	<i>Vochysia guianensis</i>
ECMA	Panakoko	Fabaceae	<i>Swartzia panacoco</i>
ECMA	Parcouri	Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i>
ECMA	Saint martin jaune	Fabaceae	<i>Hymenolobium flavum</i>
ECMA	Saint martin rouge	Fabaceae	<i>Andira coriacea</i>
ECMA	Satiné rubané	Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i>

(suite)

Catégorie	Nom vernaculaire	Famille	Genre espèce
Secondaire	Acacia franc	Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>
Secondaire	Adai weko	Fabaceae	<i>Inga sertulifera</i>
Secondaire	Alimiao	Fabaceae	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>
Secondaire	Anangosi	Combretaceae	<i>Buchenavia grandis</i>
Secondaire	Asao	Fabaceae	<i>Albizia pedicellaris</i>
Secondaire	Baaka mapa	Apocynaceae	<i>Couma guianensis</i>
Secondaire	Balata blanc	Sapotaceae	<i>Micropholis indet.</i>
Secondaire	Balata pomme	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>
Secondaire	Buguni	Fabaceae	<i>Inga alba</i>
Secondaire	Diaguidia	Fabaceae	<i>Tachigali melinonii</i>
Secondaire	Gaan moni	Burseraceae	<i>Trattinnickia rhoifolia</i>
Secondaire	Gangi udu	Fabaceae	<i>Tachigali paniculata</i>
Secondaire	Gedu	Fabaceae	<i>Tachigali indet.</i>
Secondaire	Inkasa	Fabaceae	<i>Vataireopsis surinamensis</i>
Secondaire	Kumanti udu	Apocynaceae	<i>Aspidosperma indet.</i>
Secondaire	Kwali	Vochysiaceae	<i>Qualea indet.</i>
Secondaire	Maho cigare	Lecythidaceae	<i>Couratari multiflora</i>
Secondaire	Matawai gedu	Fabaceae	<i>Tachigali paraensis</i>
Secondaire	Sali	Burseraceae	<i>Tetragastris indet.</i>
Secondaire	Simarouba	Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>
Secondaire	Taapu tiki	Cardiopteridaceae	<i>Dendrobangia boliviana</i>
Secondaire	Wandekole	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron amazonicum</i>
Secondaire	Yayamadou	Myristicaceae	<i>Virola indet.</i>
« Autre »	Ampuku weko	Fabaceae	<i>Inga indet.</i>
« Autre »	Babun weko	Fabaceae	<i>Inga lomatoxylla</i>
« Autre »	Bofo udu	Humiriaceae	<i>Sacoglottis cydonioides</i>
« Autre »	Canari macaque	Lecythidaceae	<i>Lecythis zabucajo</i>
« Autre »	Chawari	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i>
« Autre »	Copaya	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>
« Autre »	Dodomisinga	Fabaceae	<i>Parkia nitida</i>
« Autre »	Gaïac de cayenne	Fabaceae	<i>Dipteryx indet.</i>
« Autre »	Kaiman udu	Salicaceae	<i>Laetia procera</i>
« Autre »	Kobe	Malvaceae	<i>Sterculia indet.</i>
« Autre »	Maho rouge	Lecythidaceae	<i>Lecythis indet.</i>
« Autre »	Moni	Burseraceae	<i>Protium indet.</i>
« Autre »	Tosopasa	Myristicaceae	<i>Iryanthera hostmannii</i>
« Autre »	Wapa	Fabaceae	<i>Eperua falcata</i>
« Autre »	Wapa courbaril	Fabaceae	<i>Eperua grandiflora</i>
« Autre »	Weko	Fabaceae	<i>Inga stipularis</i>

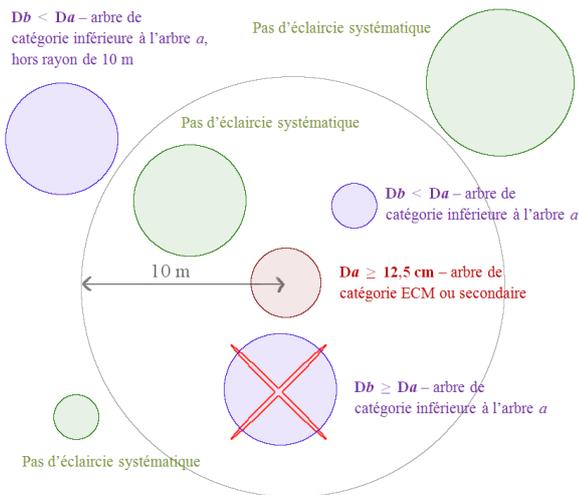
Ordre alphabétique selon le nom scientifique

Catégorie	Famille	Genre espèce	Nom vernaculaire
ECMP	Fabaceae	<i>Dicorynia guianensis</i>	Angélique
ECMP	Fabaceae	<i>Peltogyne paniculata</i>	Amarante
ECMP	Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i>	Goupi
ECMP	Lauraceae	<i>Sextonia rubra</i>	Grignon
ECMP	Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata</i>	Balata franc
ECMP	Vochysiaceae	<i>Qualea rosea</i>	Gonfolo rose
ECMP	Vochysiaceae	<i>Ruizterania albiflora</i>	Gonfolo gris
ECMA	Bignoniaceae	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ébène rouge
ECMA	Clusiaceae	<i>Moronobea coccinea</i>	Manil
ECMA	Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i>	Parcouri
ECMA	Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i>	Manil marécage
ECMA	Fabaceae	<i>Andira coriacea</i>	Saint martin rouge
ECMA	Fabaceae	<i>Bocoa prouacensis</i>	Boco
ECMA	Fabaceae	<i>Diploptropis purpurea</i>	Cœur dehors
ECMA	Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Courbaril
ECMA	Fabaceae	<i>Hymenolobium flavum</i>	Saint martin jaune
ECMA	Fabaceae	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Ébène verte
ECMA	Fabaceae	<i>Swartzia arborescens</i>	Adugue
ECMA	Fabaceae	<i>Swartzia indet.</i>	Moutouchi montagne
ECMA	Fabaceae	<i>Swartzia panacoco</i>	Panakoko
ECMA	Fabaceae	<i>Swartzia polyphylla</i>	Bugu bugu
ECMA	Fabaceae	<i>Zygia racemosa</i>	Bois serpent
ECMA	Lauraceae	<i>Indet. indet.</i>	Cèdre indet.
ECMA	Lauraceae	<i>Licaria martiniana</i>	Cèdre cannelle
ECMA	Lauraceae	<i>Ocotea argyrophylla</i>	Cèdre
ECMA	Meliaceae	<i>Carapa surinamensis</i>	Carapa
ECMA	Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i>	Bagasse
ECMA	Moraceae	<i>Brosimum guianense</i>	Amourette
ECMA	Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i>	Satiné rubané
ECMA	Protaceae	<i>indet. Protaceae indet.</i>	Bois grage
ECMA	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>	Jaboti
ECMA	Vochysiaceae	<i>Vochysia guianensis</i>	Mutende kwali

(suite)

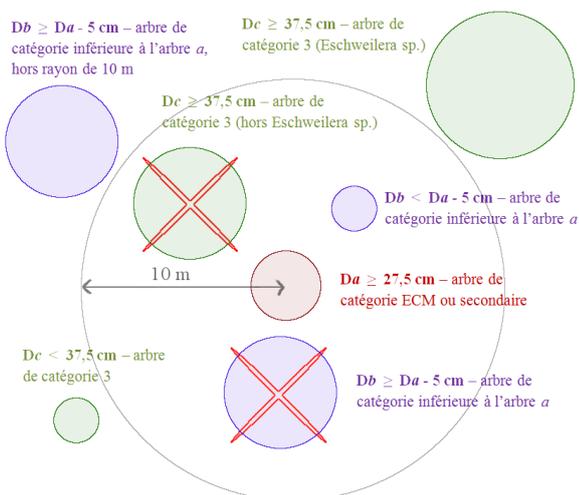
Catégorie	Famille	Genre espèce	Nom vernaculaire
Secondaire	Apocynaceae	<i>Aspidosperma indet.</i>	Kumanti udu
Secondaire	Apocynaceae	<i>Couma guianensis</i>	Baaka mapa
Secondaire	Burseraceae	<i>Tetragastris indet.</i>	Sali
Secondaire	Burseraceae	<i>Trattinnickia rhoifolia</i>	Gaan moni
Secondaire	Cardiopteridaceae	<i>Dendrobangia boliviana</i>	Taapu tiki
Secondaire	Combretaceae	<i>Buchenavia grandis</i>	Anangosi
Secondaire	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron amazonicum</i>	Wandekole
Secondaire	Fabaceae	<i>Albizia pedicellaris</i>	Asao
Secondaire	Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Acacia franc
Secondaire	Fabaceae	<i>Inga alba</i>	Buguni
Secondaire	Fabaceae	<i>Inga sertulifera</i>	Adai weko
Secondaire	Fabaceae	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>	Alimiao
Secondaire	Fabaceae	<i>Tachigali indet.</i>	Gedu
Secondaire	Fabaceae	<i>Tachigali melinonii</i>	Diaguidia
Secondaire	Fabaceae	<i>Tachigali paniculata</i>	Gangi udu
Secondaire	Fabaceae	<i>Tachigali paraensis</i>	Matawai gedu
Secondaire	Fabaceae	<i>Vataireopsis surinamensis</i>	Inkasa
Secondaire	Lecythidaceae	<i>Couratari multiflora</i>	Maho cigare
Secondaire	Myristicaceae	<i>Virola indet.</i>	Yayamadou
Secondaire	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	Balata pomme
Secondaire	Sapotaceae	<i>Micropholis indet.</i>	Balata blanc
Secondaire	Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	Simarouba
Secondaire	Vochysiaceae	<i>Qualea indet.</i>	Kwali
« Autre »	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Copaya
« Autre »	Burseraceae	<i>Protium indet.</i>	Moni
« Autre »	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i>	Chawari
« Autre »	Fabaceae	<i>Dipteryx indet.</i>	Gaïac de cayenne
« Autre »	Fabaceae	<i>Eperua falcata</i>	Wapa
« Autre »	Fabaceae	<i>Eperua grandiflora</i>	Wapa courbaril
« Autre »	Fabaceae	<i>Inga indet.</i>	Ampuku weko
« Autre »	Fabaceae	<i>Inga lomatophylla</i>	Babun weko
« Autre »	Fabaceae	<i>Inga stipularis</i>	Weko
« Autre »	Fabaceae	<i>Parkia nitida</i>	Dodomisinga
« Autre »	Humiriaceae	<i>Sacoglottis cydonioides</i>	Bofo udu
« Autre »	Lecythidaceae	<i>Lecythis indet.</i>	Maho rouge

ANNEXE C – SCHEMAS ET EXPLICATIONS DES TROIS MODALITES



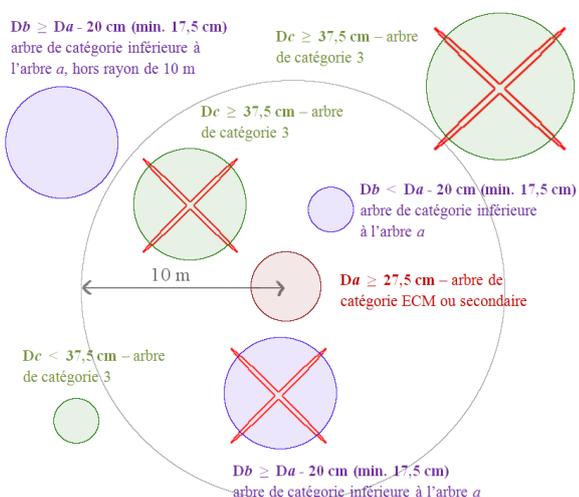
Modalité 1

- Da : diamètre de l'arbre-cible, une ECM ou une essence secondaire. $Da \geq 12,5$ cm ;
- Db : diamètre des arbres de catégories inférieure à l'arbres a . Si le diamètre est supérieur à Da , et l'arbre localisé dans un rayon de 10 m, dévitaliser.



Modalité 2

- Da : diamètre de l'arbre-cible, une ECM ou une essence secondaire. $Da \geq 27,5$ cm ;
- Db : diamètre des arbres de catégories inférieure à l'arbres a . Si le diamètre est supérieur à $Da - 5$ cm, et si l'arbre localisé dans un rayon de 10 m, dévitaliser ;
- Dc : diamètre des arbres non commerciaux. Si le diamètre est supérieur à 37,5 cm (57,5 cm à Organabo), dévitaliser quelle que soit la distance à l'arbre-cible *sauf* si le genre est Eschweilera.



Modalité 3

- Da : diamètre de l'arbre-cible, une ECM ou une essence secondaire. $Da \geq 27,5$ cm ;
- Db : diamètre des arbres de catégories inférieure à l'arbres a . Si le diamètre est supérieur à $Da - 20$ cm (avec un minimum de 17,5 cm), et si l'arbre localisé dans un rayon de 10 m, dévitaliser ;
- Dc : diamètre des arbres non commerciaux. Si le diamètre est supérieur à 37,5 cm, dévitaliser quelle que soit la distance à l'arbre-cible.

ANNEXE D – PRÉSENTATION DES MODÈLES DE CROISSANCES

L'objectif de cette annexe est de présenter le modèle utilisé en page 31, concernant la croissance en diamètre. Comme mentionné dans le corps du texte, c'est la variable nombre d'arbres seule qui a été retenue pour représenter l'effet des éclaircies sur la croissance en diamètre. Les valeurs des paramètres sont détaillées pour chaque modèle.

EFFET ALÉATOIRE CLASSE DE DIAMÈTRE

$$Acc.DBH_k = (\mu + \mu_k) + \alpha_1 * DBH + \alpha_2 * \log(DBH) + \alpha_3 * parc + \alpha_4 * duree + (\alpha_5 + \alpha_{5_j}) * nb.dev + (\varepsilon + \varepsilon_k)$$

où $Acc.DBH_k$ est la croissance en diamètre de la classe de diamètre k , α_n ($n \in [1; 5]$) les paramètres des effets fixes (respectivement DBH : le diamètre, $\log(DBH)$: logarithme du diamètre, $parc$: la parcelle, $duree$: la durée depuis l'éclaircie et $nb.dev$: le nombre d'arbres dévitalisés), μ l'estimateur de la moyenne des croissances en diamètre, α_{5_k} le paramètre de l'effet de la classe de diamètre k sur la croissance en diamètre, μ_k l'estimateur de la moyenne des croissances en diamètre pour la classe de diamètre k , ε l'erreur des effets fixes et enfin ε_k l'erreur de l'effet aléatoire de la classe de diamètre k .

Paramètres et probabilités critiques des effets fixes :

Facteur	Paramètre	Proba. critique	Seuil
(intercept)	-0,164	-	-
nb.dev	0,0261	2,404e-10	***
DBH	-0,003	0,002464	**
log(DBH)	0,202	1,015e-10	***
parc	-	< 2,2e-16	***
duree	-0,0109	< 2,2e-16	***

Tous les paramètres sont significatifs au seuil de 0,1 % (***) sauf le diamètre, qui l'est au seuil de 1 % (**). Les valeurs des paramètres pour les parcelles Org. 09, Ris. 10 et Ris. 14 sont égales à 0,077, 0,065 et -0,004 respectivement.

Paramètres de l'effet aléatoire classe de diamètre :

Classe	(Intercept)	nb.dev	Classe	(Intercept)	nb.dev
[10 ; 17,5[	-0,010	0,003	[62,5 ; 70[	0,013	-0,004
[17,5 ; 25[	0,002	-0,001	[70 ; 77,5[	0,008	-0,003
[25 ; 32,5[	0,014	-0,005	[77,5 ; 85[	0,009	-0,003
[32,5 ; 40[	0,023	-0,008	[85 ; 92,5[	-0,007	0,002
[40 ; 47,5[	-0,025	0,008	[92,5 ; 100[	-0,006	0,002
[47,5 ; 55[	-0,015	0,005	≥ 100	0,008	-0,003
[55 ; 62,5[	-0,015	0,005			

EFFET ALÉATOIRE ESPÈCE

$$Acc.SP_j = (\mu' + \mu'_j) + \alpha'_1 * DBH + \alpha'_2 * \log(DBH) + \alpha'_3 * parc + \alpha'_4 * duree + (\alpha'_5 + \alpha'_{5j}) * nb.dev + (\varepsilon' + \varepsilon'_j),$$

où $Acc.SP_j$ est la croissance en diamètre de l'espèce j , α'_n ($n \in [1;5]$) les paramètres des effets fixes (respectivement DBH : le diamètre, $\log(DBH)$: logarithme du diamètre, $parc$: la parcelle, $duree$: la durée depuis l'éclaircie et $nb.dev$: le nombre d'arbres dévitalisés), μ' l'estimateur de la moyenne des croissances en diamètre, α'_{5j} le paramètre de l'effet de l'espèce j sur la croissance en diamètre, μ'_j l'estimateur de la moyenne des croissances en diamètre pour l'espèce j , ε' l'erreur des effets fixes et enfin ε'_j l'erreur de l'effet aléatoire de l'espèce j .

Paramètres et probabilités critiques des effets fixes :

Facteur	Paramètre	Proba. critique	Seuil
(intercept)	-0,201	-	-
nb.dev	0,0305	1,845e-13	***
DBH	-0,005	5,536e-07	***
log(DBH)	0,232	< 2,2e-16	***
parc	-	7,412e-15	***
duree	-0,0104	< 2,2e-16	***

Tous les paramètres sont significatifs au seuil de 0,1 % (***). Les valeurs des paramètres pour les parcelles Org. 09, Ris. 10 et Ris. 14 sont égales à 0,080, 0,046 et -0,005 respectivement.

Paramètres de l'effet aléatoire espèce :

Espèce	(Intercept)	nb.dev	Espèce	(Intercept)	nb.dev
Angélique	0,078	-0,014	Grignon	-0,093	-0,006
Baaka mapa	-0,167	-0,016	Jaboti	0,188	0,006
Balata blanc	0,115	-0,008	Kaiman udu	0,143	0,005
Balata franc	0,005	-0,012	Kobe	-0,057	-0,003
Balata pomme	-0,100	-0,002	Kumanti udu	-0,097	0,005
Bamba apisi	-0,154	-0,004	Maho cigare	-0,042	-0,024
Boco	-0,243	-0,012	Maho rouge	-0,173	-0,025
Bois serpent	-0,048	0,002	Manil	0,032	0,003
Canari macaque	-0,029	-0,005	Manil marécage	0,040	-0,001
Carapa	0,035	-0,013	Moni	-0,041	0,017
Cèdre indet,	0,018	-0,007	Panakoko	-0,057	-0,009
Chawari	-0,133	-0,002	Sali	-0,153	-0,008
Cœur dehors	0,020	0,001	Satiné rubané	-0,147	-0,007
Copaya	-0,011	0,019	Simarouba	0,326	0,028
Diaguidia	0,324	0,030	Taapu tiki	-0,177	0,009
Dodomisinga	0,335	0,022	Tosopasa	-0,198	0,007
Gaan moni	-0,038	0,010	Wapa	-0,113	0,012
Gonfolo gris	0,033	0,003	Wapa courbaril	0,030	-0,013
Gonfolo rose	0,145	0,020	Weko	0,259	-0,010
Goupi	0,001	0,001	Yayamadou	0,142	0,000

ANNEXE E – RECHERCHE D’OPTIMA D’ÉCLAIRCIE

Afin de déterminer l’existence éventuelle d’optima de nombre d’arbres et de surface terrière à dévitaliser, un terme logarithmique a été ajouté au modèle. De plus, dans le but de détailler ces optima par espèce et par classe de diamètre ([10 ; 30[, [30 ; 50[et [50 ; 70[, ces deux effets aléatoires ont été combinés dans le même modèle. Les deux optima étant déterminés séparément, nous sommes de nouveau en présence de deux modèles. Cette étude a été réalisée pour les six ECMP : angélique, balata franc, gonfolo gris, gonfolo rose, goupé et grignon franc.

MODÈLE NOMBRE D’ARBRES

$$Acc.nb_{j,k} = (\mu + \mu_{j,k}) + \alpha_n * X_n + (\alpha_5 + \alpha_{5_j} + \alpha_{5_k}) * nb.dev + \alpha_6 * \log(nb.dev) + (\varepsilon + \varepsilon_{j,k})$$

où $Acc.nb_{j,k}$ est la croissance en diamètre de l’espèce j de diamètre de classe k , $\mu_{j,k}$ l’estimateur de la moyenne des croissances en diamètre pour l’espèce j de classe de diamètre k , $\alpha_n * X$ le produit matricielle des paramètres α_n ($n \in [1; 4]$) et des variables X_n (DBH , $\log(DBH)$, $parc$ et $duree$) définis dans l’annexe précédente, α_{5_j} et α_{5_k} respectivement les paramètres des effets aléatoires de l’espèce j et de la classe de diamètre k , et $\varepsilon_{j,k}$ l’erreur associée aux effets aléatoires.

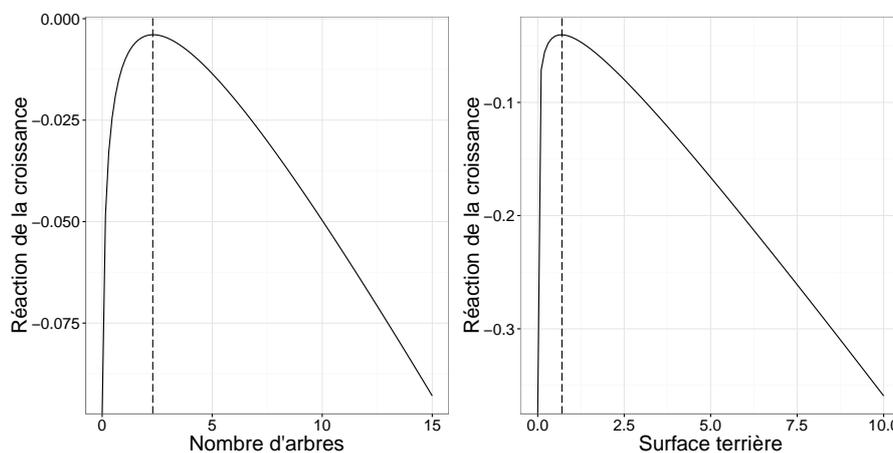
MODÈLE SURFACE TERRIÈRE

$$Acc.G_{j,k} = (\mu' + \mu'_{j,k}) + \alpha'_n * X_n + (\alpha'_5 + \alpha'_{5_j} + \alpha'_{5_k}) * G.dev + \alpha'_6 * \log(G.dev) + (\varepsilon' + \varepsilon'_{j,k})$$

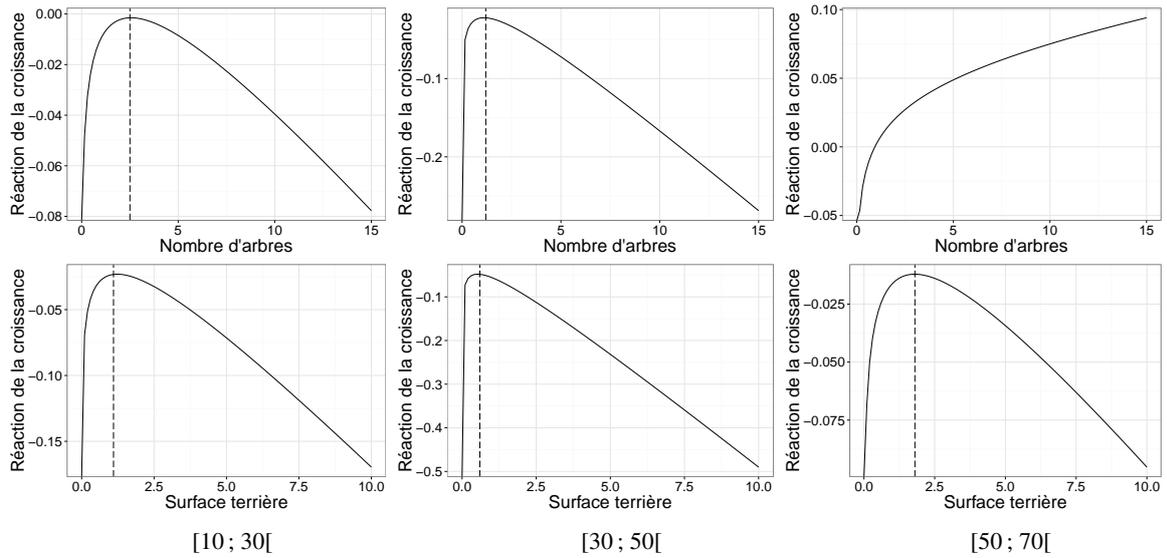
où $Acc.G_{j,k}$ est la croissance en diamètre de l’espèce j de diamètre de classe k , $\mu'_{j,k}$ l’estimateur de la moyenne des croissances en diamètre pour l’espèce j de classe de diamètre k , $\alpha'_n * X$ le produit matricielle des paramètres α'_n ($n \in [1; 4]$) et des variables X_n (DBH , $\log(DBH)$, $parc$ et $duree$) définis dans l’annexe précédente, α'_{5_j} et α'_{5_k} respectivement les paramètres des effets aléatoires de l’espèce j et de la classe de diamètre k , $G.dev$ la surface terrière à dévitaliser, $\log(G.dev)$ le logarithme de la surface terrière à dévitaliser et $\varepsilon'_{j,k}$ l’erreur associée aux effets aléatoires.

RÉSULTATS

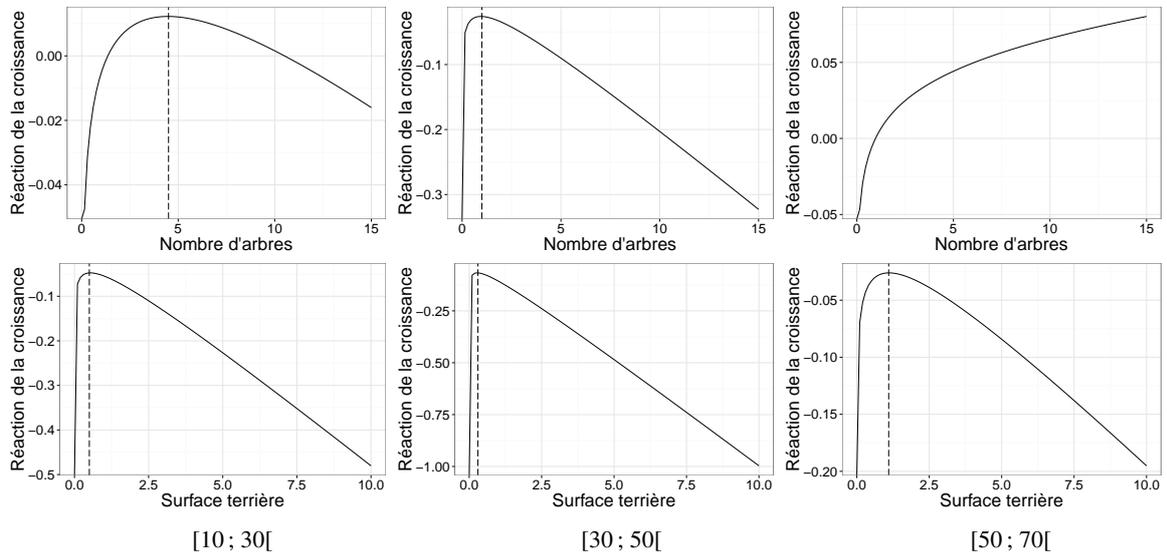
Les deux graphiques ci-dessous concernent les effets fixes, i.e. toutes essences et toutes classes de diamètres confondues. Les graphiques par effet aléatoire débutent à la page suivante.



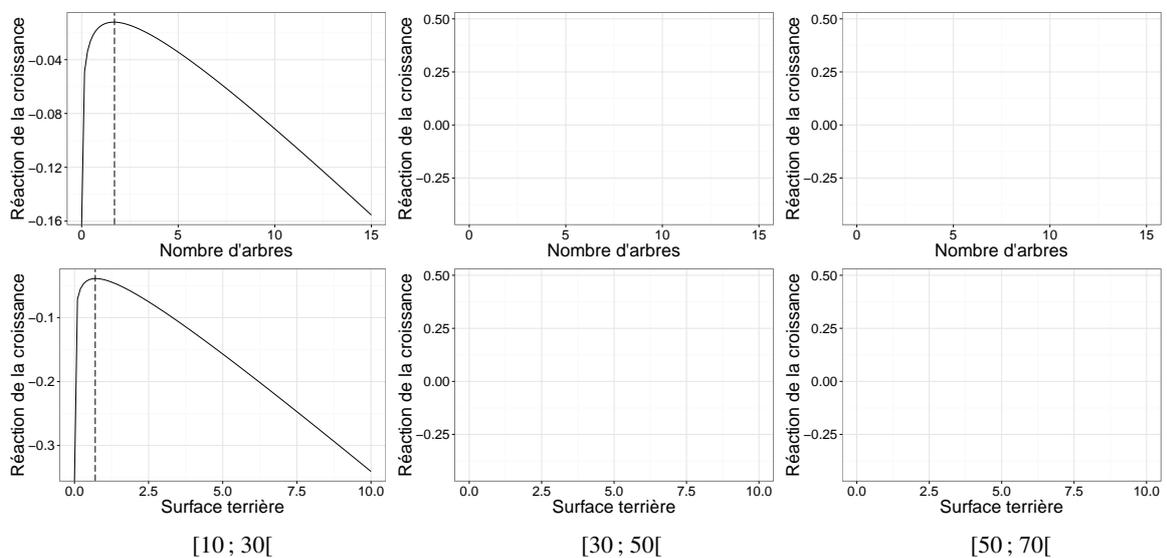
Cas de l'angélique :



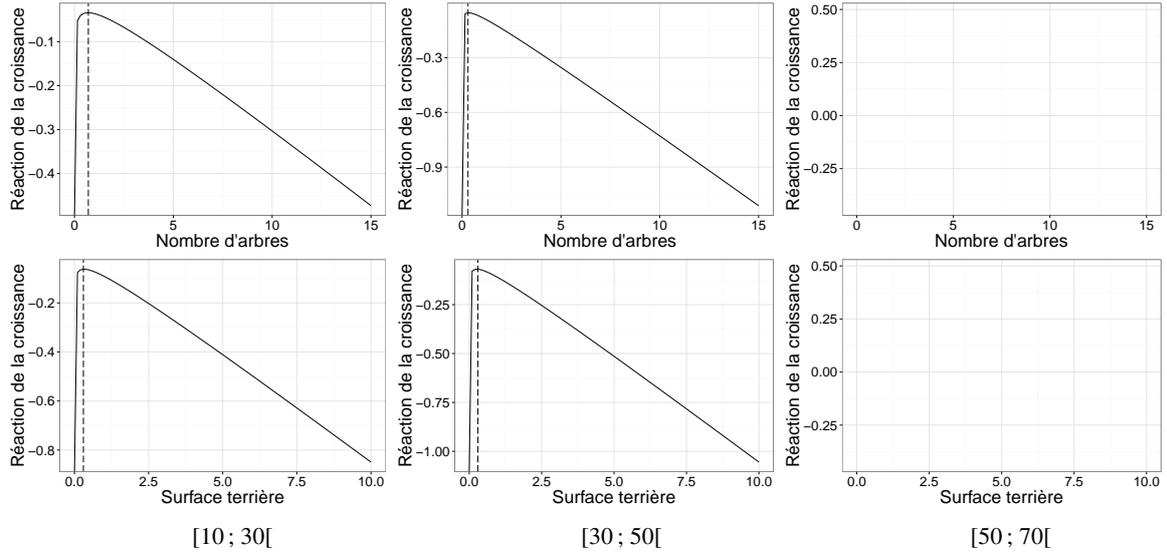
Cas du balata franc :



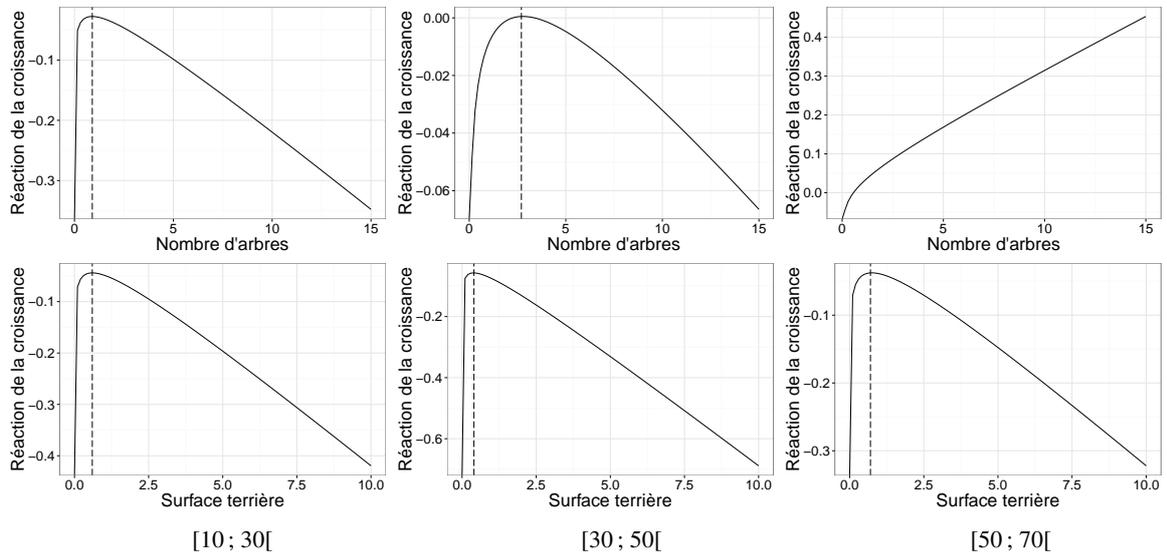
Cas du gonfolo gris :



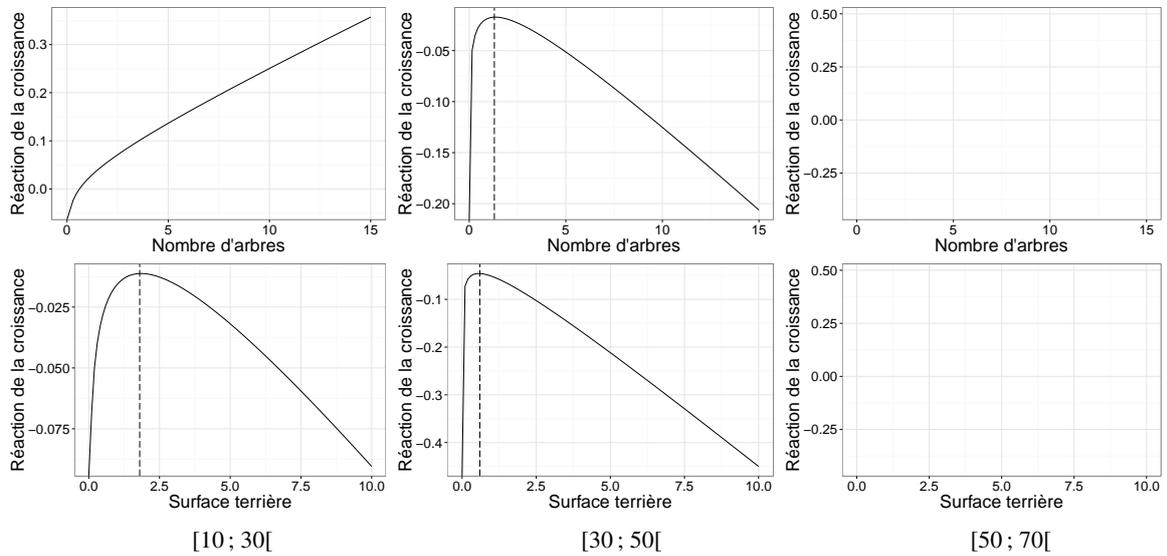
Cas du gonfolo rose :



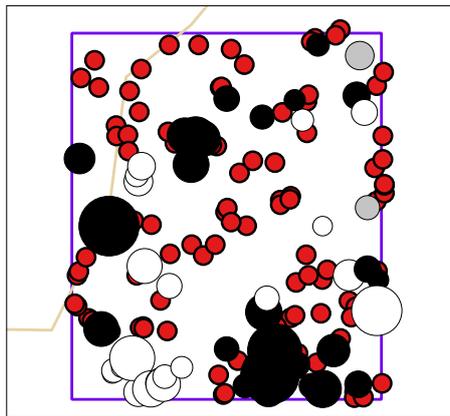
Cas du goupî :



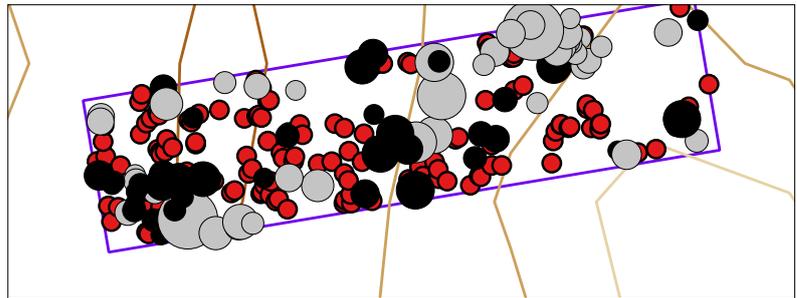
Cas du grignon :



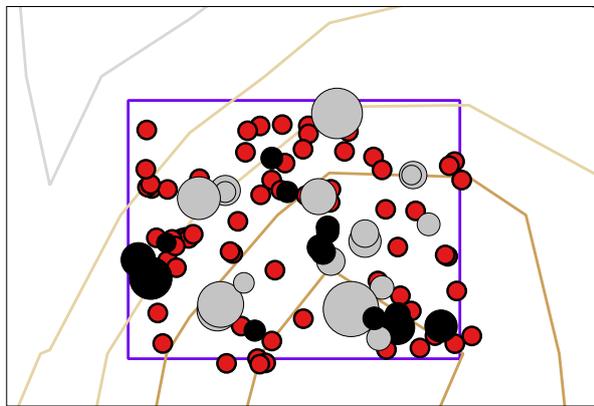
ANNEXE F – RÉPARTITION SPATIALE DE LA MORTALITÉ EN PÉRIODE 1



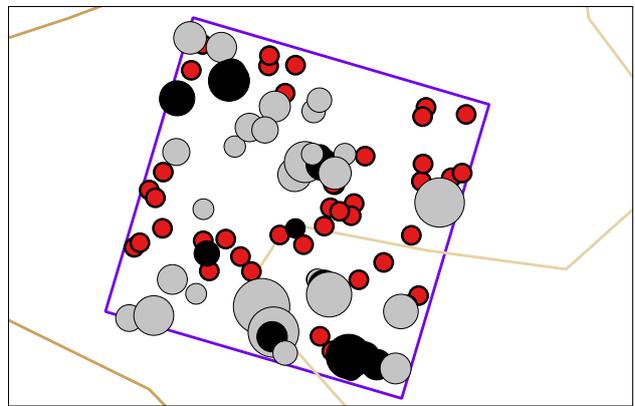
Modalité 1, Org.06



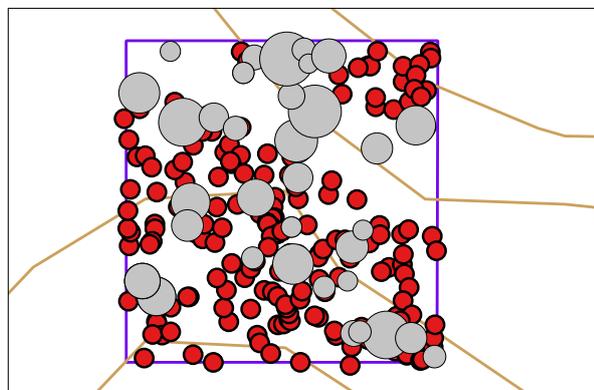
Modalité 1, Ris.05



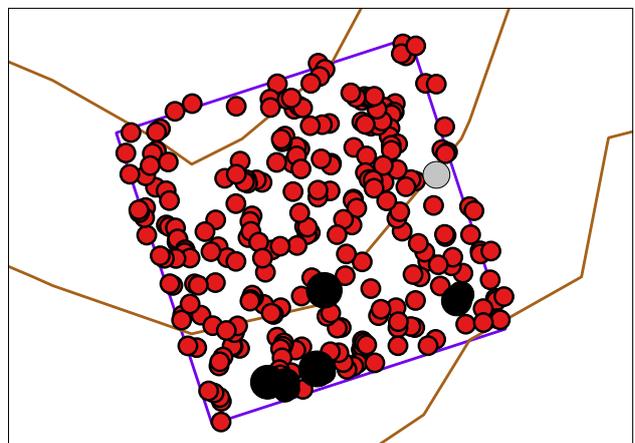
Modalité 2, Org.09



Modalité 2, Ris.08



Modalité 3, Org.10



Modalité 3, Ris.14

Légende

Placettes

-  Contour de placette
-  Arbres dévitalisés

Types de mortalité

-  Chablis
-  Mort sur pied
-  (Non connu)

Courbes de niveau

-  < 10 m
-  10 - 20 m
-  20 - 30 m
-  30 - 40 m
-  40 - 50 m
-  50 - 60 m
-  > 60 m

Répartition spatiale des types de mortalité

