



Groupe d'Etude  
et de Protection  
des Oiseaux en Guyane

MASTER EN SCIENCES – TECHNOLOGIES -SANTÉ

Mention : ECOLOGIE

Spécialité : Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités

*Etude et techniques d'épuisement de la banque de graines  
d'Acacia mangium*

*Camille Dezécache*



**Directeur(s) de stage :**

Anna Stier

Association GEPOG, 15 Avenue Pasteur, 97300 Cayenne

Mémoire soutenu le 24 juin 2013

# Remerciements

---

Merci d'abord à Anna Stier, Nyls de Pracontal et Alizée Ricardou pour leur confiance et pour m'avoir donné carte blanche dans le cadre de cette étude.

Merci à Stéphane Traissac pour avoir eu la gentillesse de participer à la plus éprouvante journée de terrain de ces six mois, à Vincent Blanfort et Jean-Christophe Roggy pour les nombreux prêts de matériel qui ont rendu possible ce travail.

Merci à Pierre Bouteiller du Lycée agricole de Matiti pour avoir accepté de fournir le combustible nécessaire à la réalisation de nos brûlis.

Merci également à Bruno Hérault pour ses conseils en statistiques, à Nicolas Garcin pour avoir donné de sa personne lors de quelques séries de prélèvements sur le terrain, à ma colocataire Anaïs pour son aide et ses remarques et enfin à Sophie pour sa relecture attentive de ce rapport.

## **Crédits photographiques :**

- Couverture et photographies p.45 : © Anna Stier, 2013
- Photographies pp.41-44 et 46-47 : © Camille Dezécache, 2013

# Table des illustrations

Figure 1 - Plan d'échantillonnage pour la première placette test. Trois combinaisons de prélèvements ont été analysées : 5 prélèvements (bleu), 9 prélèvements (bleu et rouge) et 17 prélèvements (ensemble des points) .....	9
Figure 2 - Kcor calculé sur la placette Test 1 pour un rayon compris entre 10 et 90 cm autour de chaque point. La ligne horizontale rouge représente un niveau d'autocorrélation spatiale nul ; la ligne noire le Kcor calculé ; et les lignes pointillées vertes l'intervalle de confiance à 95% .....	11
Figure 3 - Fréquence du nombre de graines observé par prélèvement (barres grises) et ajustement d'une distribution suivant une loi de Poisson de paramètre $\lambda = 1,72$ (points et lignes rouges) .....	12
Figure 4 - Niveau de précision ( $D = \text{erreur standard} / \text{moyenne}$ ) attendu sur la densité de graines mesurée en fonction du nombre de prélèvements effectués pour une densité de distribution des graines suivant une loi de Poisson de paramètre $\lambda = 1,72$ . Les axes sont en échelle log .....	13
Figure 5 - Nombre de prélèvements nécessaires pour obtenir une densité minimale détectable de graines donnée avec 95% de chance ( $Q_{\min-95}$ ) pour une densité de distribution des graines suivant une loi de Poisson de paramètre $\lambda = 1,72$ . Les droites rouges pointillées montrent qu'avec 10 prélèvements, le $Q_{\min-95}$ vaut environ 60 gr/m <sup>2</sup> .....	14
Figure 6 - Carte de la parcelle d'étude et zoom sur le bosquet traité (les 60 points de prélèvements sont indiqués en gris) ..	20
Figure 7 - Schéma de la répartition des placettes dans le bosquet étudié. Chaque placette s'inscrit dans un carré de 2 m de côté. Rouge : brûlis double, Orange : brûlis simple, Vert : travail du sol, Gris : contrôle. La haie d'acacias adultes est située à gauche (Ouest) de la grille et est représentée par les cases vides .....	21
Figure 8 - Représentation graphique du patron de distribution des graines le long des différents transects, « Maison campus » (a), CIRAD1 (b), FCamp1 (c) et Parcelle1 (d). Le point 0 sur l'axe des abscisses correspond à l'arbre mère considéré. Le nombre de graines présentes dans chaque prélèvement a été rapporté au m <sup>2</sup> . Les points et lignes en couleur montrent la variation des moyennes de chacun des dix réplicats effectués à chaque distance donnée. Les points noirs marquent les valeurs de densité de graines réellement mesurées. Le nombre de « pétales » autour de chacun de ces points montre le nombre de réplicats présentant la même densité de graines. La droite verticale pointillée correspond à la distance de projection du houppier. Le DBH de chaque arbre mère est également précisé sur chaque graphique .....	25
Figure 9 - Distribution moyenne des densités de graines pour chaque transect (a) et leurs prédictions pour les modèles à 3 (b), 5 (c) et 12 (d) paramètres (moyennes en pointillés et prédictions en traits pleins). Pour le modèle b), la courbe noire représente les prédictions du modèle commun à tous les transects. Les lettres a, b, c et d associées à chaque modèle renvoient à la colonne « Code » du Tableau 5. ....	26
Figure 10 - Amplification de la courbe de distribution des graines le long d'un transect provoquée par une hausse du DBH (rouge) ou de la distance de projection du houppier (vert) par rapport aux valeurs initiales (noir). Les valeurs utilisées sont fictives. ....	27
Figure 11 - Suivi du nombre de germinations observées au sein des 20 placettes brûlées, de 0 à 48 jours après la date du brûlis. Ce nombre est indiqué en plantules par placette de 4m <sup>2</sup> , il convient de le diviser par quatre pour obtenir le nombre de germinations par m <sup>2</sup> . ....	29
Figure 12 - Représentations en 3D des prédictions du modèle ZIP (nombre de repousses par placette de 4m <sup>2</sup> ) pour les placettes non-brûlées ("contrôle" et "travail du sol") (a) et brûlées (b). L'axe des X correspond à la distance (en unités de distance, de l'Ouest vers l'Est) à la haie d'acacias (représentée par la droite pointillée verte). L'axe des Y correspond à la distance (en unités de distance, du Nord au Sud) à partir de l'extrémité Nord du bosquet (représentée par la droite pointillée orange) .....	31
Figure 13 - Représentations en 3D du nombre de repousses par placette de 4m <sup>2</sup> observé pour les placettes « contrôle » (a), « travail du sol » (b) et brûlées (c). L'axe des X correspond à la distance (en unités de distance, de l'Ouest vers l'Est) à la haie d'acacias (représentée par la droite pointillée verte). L'axe des Y correspond à la distance (en unités de distance, du Nord au Sud) à partir de l'extrémité Nord du bosquet (représentée par la droite pointillée orange) .....	32
Figure 14 - Schémas représentatifs de l'effet attendu d'une hausse du DBH (a) ou de la distance de projection du houppier (b) sur le patron de dispersion des graines le long d'un transect .....	36

# Table des matières

Remerciements.....	2
Table des illustrations .....	3
Introduction .....	6
Etat de l'art .....	7
Etude préliminaire.....	9
1. 1 <sup>ère</sup> parcelle test : densité des graines dans le sol.....	9
2. Tests d'autocorrélation spatiale .....	10
3. Densité de répartition des graines et hypothèses théoriques.....	12
Matériels et Méthodes.....	15
1. Site d'étude.....	15
2. Etude de la dispersion d' <i>A. mangium</i> .....	15
a. Protocole de prélèvement et traitement des échantillons.....	15
b. Modélisation de la densité des graines dans le sol autour des individus isolés .....	17
3. Techniques d'épuisement de la banque de graines d' <i>A. mangium</i> .....	18
a. Etude de la densité de graines dans le sol avant traitements .....	18
b. Protocole de traitement.....	20
c. Analyse statistique et modélisation .....	23
Résultats.....	24
1. Etude de la dispersion d' <i>A. mangium</i> autour d'arbres mères isolés.....	24
a. Représentation de la densité de graines le long des transects .....	24
b. Modélisation du patron de dispersion de l'espèce .....	25
2. Techniques d'épuisement de la banque de graines.....	28
a. Densité de graines dans le bosquet d'étude avant traitement.....	28
b. Résultats du suivi des germinations après traitement.....	28
c. Dynamique de repousse post-brûlis.....	29
d. Modélisation de la germination après traitement : modèle ZIP .....	30

Discussion et perspectives .....	33
1. Effet du brûlis sur la germination des graines d' <i>A. mangium</i> .....	33
2. Capacité du brûlis à épuiser la banque de graines du sol .....	34
3. Surfaces à traiter .....	34
4. Recommandations afin d'épuiser la banque de graines .....	35
5. Modèle de dispersion des graines et effet du DBH et de la forme du houppier .....	35
Conclusion et recommandations .....	37
Bibliographie .....	39
Annexes .....	41
1. Feuilles, inflorescences et gousses d' <i>A. mangium</i> .....	41
2. Sous-bois à <i>A. mangium</i> .....	42
3. Bosquet d'étude avant .....	43
4. ... et après coupe et disposition des placettes .....	44
5. Progression d'un brûlis .....	45
6. Repousse de moins d'une semaine sur une placette brûlée .....	46
7. Enfouissement de la végétation d'origine sous la litière d' <i>A. mangium</i> .....	47

# Introduction

---

Dans un contexte d'attention croissante portée à l'enjeu de la protection de la biodiversité, la problématique des invasions biologiques apparaît comme une problématique majeure. Ces dernières constitueraient en effet une des principales causes d'érosion de cette biodiversité avec la destruction des habitats et la fragmentation des écosystèmes (PNUE 2005; Soubeyran 2008). Les écosystèmes insulaires des DOM-TOM, faisant partie des points chauds de la biodiversité mondiale (Mittermeier et al. 1998) et représentant une part importante de la biodiversité française, sont très affectés par l'essor de populations d'espèces exotiques (Soubeyran 2008). Le cas de la Guyane, seul territoire français d'outre-mer situé sur le continent sud-américain, est à ce titre très particulier. Recouverte à plus de 90% par une forêt tropicale humide parmi les plus riches en biodiversité et les moins fragmentées au monde (Olivier Gargominy 2003), la quasi-totalité de ce territoire forestier semble, de la même manière que d'autres forêts primaires, peu sensible aux espèces invasives (Cronk & Fuller 1995). A l'inverse, les savanes sèches et humides guyanaises sont des espaces très fragmentés et de faible superficie, pouvant être assimilés à des îlots au sein d'une matrice constituée de forêt et de zones urbaines, et pourraient donc être très sensibles aux invasions biologiques (Soubeyran 2008). Situées sur des sols alluvionnaires suffisamment fertiles pour l'agriculture, elles représentent seulement 0,3% du territoire mais environ 20% des espèces protégées en Guyane (Delnatte & Meyer 2011). Cependant, elles ont vu se naturaliser des populations de 165 espèces exotiques dont deux sont jugées particulièrement problématiques : *Melaleuca quinquenervia* et *Acacia mangium* (Delnatte & Meyer 2011; Soubeyran 2008).

L'espèce *A. mangium* (voir la photographie des feuilles, inflorescences et gousses en Annexes 1, p.41), originaire d'Asie du Sud-est, est l'une des espèces à croissance rapide les plus implantées dans les plantations forestières en Asie et dans le Pacifique (Griffin et al. 2011; Krisnawati et al. 2011). En Guyane, elle a été introduite intentionnellement lors du Plan Vert initié dans les années 70, pour l'utilisation dans la réhabilitation de sols<sup>1</sup> grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, pour la production de charbon de bois ou l'ornement (Delnatte & Meyer 2011). Les individus peuvent croître jusqu'à 2,5 m par an en Guyane (ONF 2004), sur une grande variété de sols (Delnatte & Meyer 2011). Une épaisse litière se dépose en sous-bois (voir la photographie d'un sous-bois à *A. mangium* en Annexes 2, p.42), limitant le recrutement d'espèces indigènes et pouvant favoriser la propagation des feux (*Ibid.*). Dans les plantations indonésiennes, ils peuvent produire tout au long de l'année près de 40 kg de graines par hectare et par an, correspondant à environ 4 millions de graines par hectare et par an

---

<sup>1</sup> Notamment dans d'anciens sites miniers

(Saharjoa & Watanabe 2000). Ces nombreuses graines peuvent rester à l'état dormant durant plusieurs dizaines d'années (Sabiiti & Wein 1987), d'où la formation d'une banque de graines très massive dans le sol. Or, les repousses atteignent très rapidement l'âge adulte et produisent à leur tour des graines après parfois seulement 18 mois (Krisnawati et al. 2011). L'élimination des individus adultes est une étape indispensable mais ne permet donc pas, à elle seule, d'éliminer l'espèce. De ce fait, l'étude de la banque de graines du sol et de l'épuisement de celle-ci sont des problématiques très importantes dans le but d'éradiquer l'espèce des zones envahies (Gibson et al. 2011; Wilson et al. 2011).

Ces problématiques sont au cœur de cette étude conduite avec le GEPOG (Groupe d'Etude et de Protection des Oiseaux en Guyane) au sein du programme Life+ Cap DOM, programme européen visant à favoriser la protection des oiseaux et des habitats menacés des Départements d'Outre-mer. Au sein de ce programme, l'action « Savanes » vise plus particulièrement à caractériser ces écosystèmes très variés et peu connus, à en identifier les espèces clés et indicatrices de leur état de conservation, ainsi qu'à émettre des recommandations sur les techniques de lutte contre les espèces invasives qui s'y développent. Concernant la banque de graines d'*A. mangium*, deux questions principales sont posées :

- quel est le patron de dispersion des graines de l'espèce ? Caractériser celui-ci est indispensable afin de mettre au point des techniques pertinentes de lutte ;
- comment épuiser la banque de graines d'*A. mangium* présente dans le sol ?

## Etat de l'art

De nombreuses espèces d'Acacia ont montré leur caractère invasif dans les zones méditerranéennes et tropicales, d'où la nécessité d'intégrer la littérature concernant *A. mangium* autant que les autres espèces invasives de ce genre très homogène du point de vue du cycle de vie, en particulier en ce qui concerne les Acacias du Sud-est asiatique et d'Australie (Wilson et al. 2011). Comme la plupart des espèces d'Acacias, *A. mangium* se disperse de façon principalement autochore (dépôt des graines par gravité), bien que ses graines puissent également être déplacées par les véhicules ou le long des cours d'eau (Delnatte & Meyer 2011; Jasson 2005). Une dispersion par les oiseaux est également possible (Davidson & Morton 1984).

Sous le couvert des adultes dans les milieux naturels envahis ou en plantation, la densité de graines dans le sol peut atteindre plusieurs dizaines de milliers de graines par m<sup>2</sup> pour *A. saligna* (Jasson 2005; Strydom et al. 2012). La majorité de ces graines se retrouve proche de la surface, parfois près de 90% dans les dix premiers centimètres de sols, mais certaines graines peuvent être présentes à des profondeurs de plus de 30 cm (Strydom et al. 2012). Le taux de germination des graines

prélevées dans le sol est généralement faible. Dans le cas de l'espèce *A. sieberiana*, des chiffres de l'ordre de 10% sont avancés (Sabiiti & Wein 1987). Le passage du feu est par contre connu pour activer fortement cette germination et pourrait constituer un des moteurs du succès colonisateur des Acacias (*Ibid.*), tout en offrant des perspectives intéressantes pour l'épuisement de leur banque de graines (Jasson 2005). Dans le but de réaliser des plantations, il est d'ailleurs conseillé d'ébouillanter les graines avant les semis (Krisnawati et al. 2011).

En plus de l'usage du feu, d'autres techniques sont plus généralement préconisées dans la lutte contre les espèces invasives. En Polynésie française, dans le cadre de la lutte contre le miconia (*Miconia calvescens*) en particulier, un arrachage manuel systématique a été mis en œuvre pendant des dizaines d'années (J.-Y. Meyer, com. pers.). L'extraction de la litière ou des premiers centimètres de sol (décapage) permettent également d'enlever une part importante de la banque de graines du sol (Wilson et al. 2011; Cohen et al. 2008). La solarisation (pose d'une bâche de plastique sur le sol) permettrait également de favoriser l'expression de la banque de graines du sol par une élévation de la température (Cohen et al. 2008). Au contraire, l'apport de terre au dessus du sol contaminé permet d'enfouir les graines plus profondément et limiter l'expression de la banque de graines en attendant que leur viabilité ne finisse par diminuer (Wilson et al. 2011). Cependant toutes ces méthodes sont coûteuses et parfois difficiles à mettre en place sur le terrain ou dans des zones peu accessibles. Elles sont par ailleurs dépendantes de grands programmes d'éradication et peu adaptées à une mise en œuvre à petite échelle par des particuliers.

L'objectif de ce stage est donc de fournir les bases d'une lutte simple et peu coûteuse contre l'espèce *A. mangium* dans les milieux ouverts, naturels et anthropisés, de Guyane. La mise en place de transects partant d'arbres mères isolés a permis de mettre en évidence le patron de dispersion des graines et les surfaces à traiter dans le cadre de programmes éventuels d'épuisement de la banque de graines de cette espèce. La modélisation de la densité des graines dans le sol à proximité des adultes a ensuite été nécessaire afin de permettre une généralisation à l'échelle du territoire. Puis, l'efficacité du brûlis et de la perturbation superficielle du sol dans leur capacité à favoriser la germination des graines et donc d'épuisement de la banque du sol a été étudiée. Ces méthodes ont été privilégiées car elles sont peu coûteuses, simple à mettre en place et très ancrées dans les pratiques agricoles locales.

Avant rédaction d'un protocole définitif, une étude préliminaire a été entreprise afin d'en savoir davantage sur la distribution des graines d'*A. mangium* dans le sol. A partir des données récoltées et de méthodes théoriques, un protocole d'étude a été établi. Cette phase préliminaire a eu lieu dans la même parcelle d'étude que celle évoquée au Matériels et Méthodes 1. p.15.



# Etude préliminaire

---

## 1. 1<sup>ère</sup> parcelle test : densité des graines dans le sol

Pour avoir une première idée de la densité de graines d'*A. mangium* dans le sol, ainsi que de la meilleure manière de les extraire, des prélèvements ont été effectués à la tarière à main (diamètre de 8 cm, profondeur de 15 cm) sous un bosquet d'*A. mangium* juvéniles (absence de gousse, diamètre des arbres inférieur à 5 cm). Au total, 17 prélèvements ont été effectués sur une placette de 1m x 1m. Chaque prélèvement a ensuite été tamisé à 4 mm (élimination des éléments grossiers), puis 1,85 mm (l'ensemble des graines a été récupéré lors de cette étape), puis 1 mm (aucune graine n'a été récupérée à ce stade). Le nombre de graines par prélèvement a ensuite été rapporté à l'échelle d'1m<sup>2</sup>.

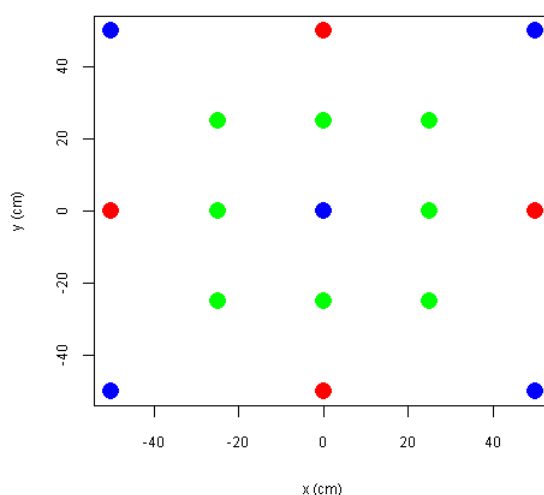


Figure 1 - Plan d'échantillonnage pour la première placette test. Trois combinaisons de prélèvements ont été analysées : 5 prélèvements (bleu), 9 prélèvements (bleu et rouge) et 17 prélèvements (ensemble des points)

Le nombre de graines par prélèvement rapporté au m<sup>2</sup> varie de 0 à 1194 graines / m<sup>2</sup>. Trois assemblages de points ont été effectués (Figure 1 ci-dessus) afin d'étudier l'effet de l'effort d'échantillonnage sur la densité de graines calculée. Les résultats de ces prélèvements sont présentés ci-dessous (Tableau 1 ci-dessous) :

Tableau 1 - Densité moyenne de graines mesurée (graines / m<sup>2</sup>) et écart-type pour un nombre croissant de prélèvements effectués

Nombre de prélèvements analysés	Densité de graines (graines/m <sup>2</sup> )
5	557 ± 327
9	442 ± 311
17	375 ± 344

On constate que la densité moyenne de graines mesurée dépend fortement du nombre de prélèvements effectués. Cependant, pour toutes les combinaisons de prélèvements, l'écart-type est très grand ce qui traduit une grande hétérogénéité de la répartition des graines dans le sol. Du fait de cette répartition très hétérogène et de l'impossibilité d'effectuer des prélèvements exhaustifs, il existe un risque important de surestimer ou de sous-estimer la moyenne et la variabilité de la densité des graines dans le sol.

#### A l'issue de ce premier test :

- on considère que le tamisage à 4 puis 1,85 mm est suffisant pour extraire la totalité des graines présentes dans les prélèvements ;

- au vu de la grande variabilité des résultats, il est difficile de définir un nombre de prélèvements minimum capable de capter la moyenne et la variabilité de la densité des graines du sol. On a donc cherché à maximiser l'effort d'échantillonnage, en tenant compte des contraintes techniques et du temps imparti dans le cadre de cette étude.

## **2. Tests d'autocorrélation spatiale**

Dans le but de compléter ce premier test d'échantillonnage, un second test a été mené sur deux placettes de 2m x 2m. Afin de mettre en évidence une surface idéale d'échantillonnage, il était nécessaire de déterminer une distance entre deux prélèvements minimisant l'autocorrélation spatiale (corrélation entre les valeurs d'une variable pour des mesures géographiquement voisines). Quinze prélèvements par placette ont été effectués à l'aide d'une tarière à main identique à celle utilisée pour la première placette test. Le plan d'échantillonnage a été généré à l'aide du logiciel R (R Core Team 2013)

en vue d'obtenir un grand nombre de classes de distance entre paires de prélèvements, condition nécessaire pour réaliser le test d'autocorrélation spatiale.

Le protocole de tamisage suivi a été le même que pour la première placette test. Le coefficient de corrélation  $K_{cor}$  (Goreaud 2000) a été calculé pour chaque classe de distance à l'aide de la fonction  $kmfun()$  (package *ads*) du logiciel R (R Core Team 2013). Une valeur du  $K_{cor}$  proche de 0 traduit une absence d'auto-corrélation spatiale. Un intervalle de confiance à 99% a également été calculé (Figure 2 pour l'exemple de la placette Test 1).

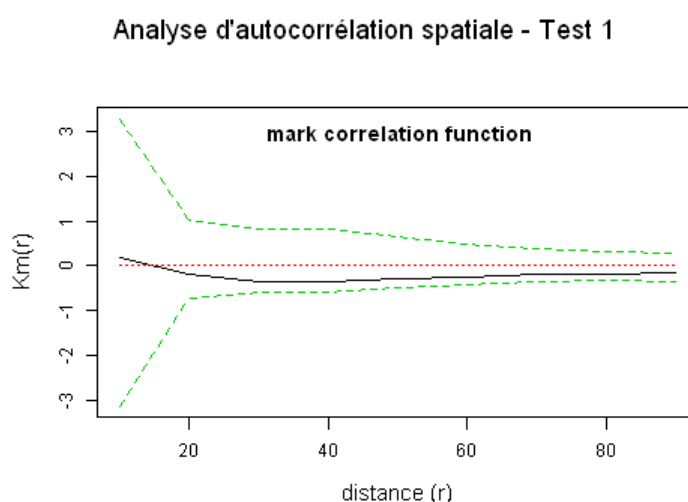


Figure 2 -  $K_{cor}$  calculé sur la placette Test 1 pour un rayon compris entre 10 et 90 cm autour de chaque point. La ligne horizontale rouge représente un niveau d'autocorrélation spatiale nul ; la ligne noire le  $K_{cor}$  calculé ; et les lignes pointillées vertes l'intervalle de confiance à 95%.

Cette figure traduit une absence d'autocorrélation spatiale dans un cercle de 10 à 90 cm de rayon autour de chaque point, puisque le  $K_{cor}$  calculé (ligne noire) ne s'écarte pas de la ligne horizontale rouge représentant un niveau d'autocorrélation spatiale nul. Le résultat obtenu pour la placette de test 2 est similaire. Il est possible que la répartition des graines soit agrégée à si petite échelle (amas de graines de quelques centimètres de diamètre autour des gousses au sol) qu'aucun agrégat ne puisse être identifié avec le dispositif de prélèvement utilisé et l'effort d'échantillonnage mis en œuvre dans le cadre de ce test préliminaire.

A l'issue de ces tests d'autocorrélation spatiale :

- aucune surface idéale d'échantillonnage n'a pu être déterminée. Pour des raisons pratiques, la tarière de 8 cm de diamètre utilisée pour ces tests a donc continué à être utilisée pour la suite des prélèvements ;

- l'autocorrélation spatiale est nulle quelle que soit la distance entre les prélèvements. Pour caractériser la banque de graines d'une zone donnée, on répartira donc de façon aléatoire les prélèvements sur l'ensemble de cette zone. Pour évaluer la banque de graines à une distance donnée d'un arbre le long d'un transect, on effectuera l'ensemble des prélèvements aléatoirement tout autour d'un point situé à cette distance, en veillant à rester le plus proche de ce point.

### 3. Densité de répartition des graines et hypothèses théoriques

Le fait que la distribution des graines dans le sol suive une loi de Poisson est souvent observé dans les études concernant la banque de graines (Benoit et al. 1989; Chauvell, B., Gasquez, J., Darmency 1989; Rahman et al. 1997). Cette hypothèse a été testée sur l'ensemble des 47 prélèvements effectués dans les trois placettes tests (ces trois placettes, situées sous des bosquets d'*A. mangium* juvéniles et proches d'individus adultes plantés à la même époque, ont été considérées comme semblables sur la base de ces critères). La distribution observée des graines au sein de chaque prélèvement a été comparée à une distribution théorique suivant une loi de Poisson (Figure 3) à l'aide de la fonction *goodfit()* du logiciel R (R Core Team 2013). La distribution a été ajustée par la méthode du maximum de vraisemblance ( $\lambda = 1,72$ ).

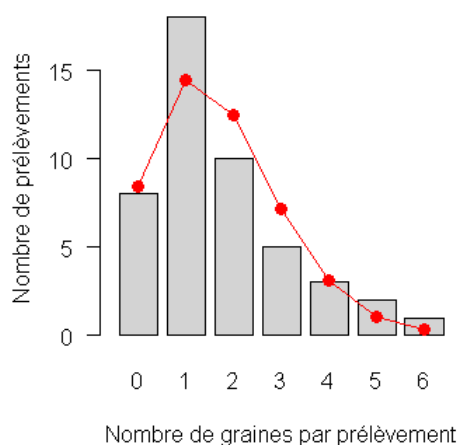


Figure 3 - Fréquence du nombre de graines observé par prélèvement (barres grises) et ajustement d'une distribution suivant une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = 1,72$  (points et lignes rouges).

La p-value du test de 0,56 (test du rapport de vraisemblance) ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle suivant laquelle la distribution observée du nombre de graines par prélèvement suit une loi de Poisson.

L'ajustement des données observées à une distribution théorique permet d'effectuer des analyses statistiques qui assurent l'établissement d'un protocole pertinent pour cette étude. Elliott (1997) a décrit comment estimer le nombre de prélèvements  $n$  nécessaires afin d'obtenir un niveau de précision ( $D = \text{Erreur standard} / \text{Moyenne}$ ) donné en fonction de la moyenne  $x$  et de la variance de la distribution théorique considérée (Thompson et al. 1997). Pour une distribution suivant une loi de Poisson, seule la moyenne compte :  $n = \frac{1}{D^2 \times x}$ .

Ce nombre de prélèvements a été calculé pour différentes valeurs de précision (Figure 4).  $D$  décroît avec le nombre de prélèvements, ce qui traduit une hausse de la certitude sur les données mesurées avec une augmentation du nombre de prélèvements effectués.

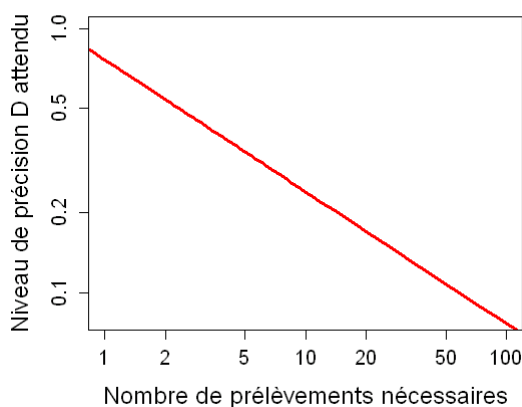


Figure 4 - Niveau de précision ( $D = \text{erreur standard} / \text{moyenne}$ ) attendu sur la densité de graines mesurée en fonction du nombre de prélèvements effectués pour une densité de distribution des graines suivant une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = 1,72$ . Les axes sont en échelle log.

Parallèlement, une méthode a été développée par Zar (1984) afin de déterminer (pour un dispositif expérimental donné) la densité minimale de graines détectable ( $Q_{\min}$ ) avec un degré de certitude déterminé, lorsque la distribution de ces graines suit une loi de Poisson. Concrètement, ce chiffre correspond à la densité minimale pour laquelle on peut espérer trouver au moins une graine de l'espèce considérée dans  $X\%$  des cas avec un nombre de prélèvements et une tarière donnée. Le nombre de prélèvements nécessaires pour obtenir une densité minimale détectable avec 95% de chance ( $Q_{\min-95}$ ) est présenté ci-dessous (Figure 5). Avec une hausse du nombre de prélèvements, on peut espérer rencontrer des graines présentes en plus faible densité dans le sol.

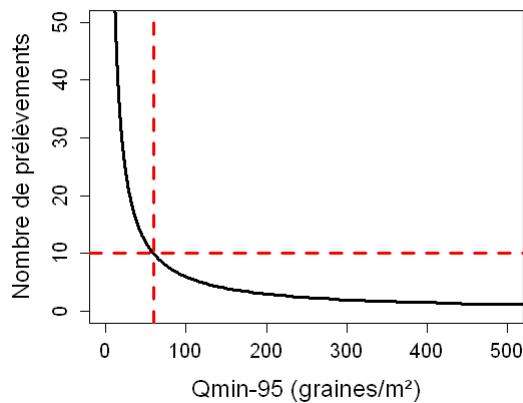


Figure 5 - Nombre de prélèvements nécessaires pour obtenir une densité minimale détectable de graines donnée avec 95% de chance (Qmin-95) pour une densité de distribution des graines suivant une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = 1,72$ . Les droites rouges pointillées montrent qu'avec 10 prélèvements, le Qmin-95 vaut environ 60 gr/m<sup>2</sup>.

Ces deux méthodes théoriques présentent un intérêt différent. La première, issue de Elliott (1997), permet de calculer un nombre de prélèvements nécessaires pour approcher un degré de précision donné. Elle est utile lorsque l'on cherche à déterminer une densité moyenne de graine dans le sol et sa variabilité sur un espace considéré comme homogène (voir Matériel et méthodes, étude de la densité de graines avant traitement). Si la densité de répartition des graines sur l'ensemble du bosquet suit une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = 1,72$ , on peut considérer qu'un nombre de prélèvements compris entre 50 et 100 permet d'apprécier avec une grande précision la densité des graines dans le sol.

La seconde méthode, issue de Zar (1984), bien que plus adaptée à des études de diversité spécifique de la banque de graines qu'à des analyses de densité de graines (Thompson et al. 1997), peut servir à déterminer un seuil de détectabilité / contamination par les graines d'*A. mangium* jugé pertinent. C'est le cas lorsque l'on cherche à déterminer jusqu'à quelle distance d'un arbre mère se dispersent les graines (voir Matériel et méthodes, Etude de la dispersion d'*A. mangium*). Cependant il faut garder à l'esprit que cette méthode concerne l'étude d'une zone considérée comme homogène, alors que d'un point de vue de la banque de graines, on s'attend à ce que la densité de graines dans le sol le long d'un transect diminue lorsqu'on s'éloigne de l'arbre mère. Dans le cadre de la zone concernée par ces tests préliminaires, le nombre de 10 prélèvements constitue un effort d'échantillonnage raisonnable et permet d'approcher le « coude » de la courbe (voir fig. 5, droites rouges pointillées), au-delà duquel un niveau de sensibilité supplémentaire ne peut s'acquérir que par un nombre de prélèvements bien supérieur.

# Matériels et Méthodes

---

## 1. Site d'étude

L'étude a été menée en Guyane française. Le climat y est de type tropical humide, avec une température moyenne annuelle de 26,5°C et un gradient de température faible entre le jour et la nuit ainsi qu'entre les différentes saisons (deux saisons sèches et deux saisons des pluies). La pluviométrie annuelle est forte (jusqu'à plus de 4000 mm / an) mais varie beaucoup au cours de ces saisons, avec des périodes d'engorgement permanent des sols et des périodes d'importantes sécheresses (Stahl et al. 2011). Les prélèvements et les traitements effectués dans le cadre de cette étude ont eu lieu à cheval sur la petite saison des pluies (mi-novembre à fin janvier), le petit été de mars (février à mi-mars) et la grande saison des pluies (fin mars à mi-août). Deux sites d'étude ont été privilégiés. Le premier, situé dans la zone agricole de Matiti, entre Kourou et Cayenne, sur le littoral guyanais, est une parcelle agricole abandonnée il y a environ 5 ans suite à un incendie, et partiellement envahie par l'espèce *A. mangium* (coordonnées syst. décimal : 5.050847,-52.585337). L'intérêt de cette parcelle est que les acacias ont pu se développer et se reproduire librement sans activité humaine ultérieure à la plantation des premiers individus. Le second est le campus agronomique de Kourou, comportant de nombreux individus d'*A. mangium* adultes isolés. Les pelouses de ce site sont tondues régulièrement mais les résidus de tonte laissés au sol en font une zone intéressante pour l'étude de la banque de graines de l'espèce.

## 2. Etude de la dispersion d'*A. mangium*

Il s'agissait, dans cette première partie, d'aboutir à un modèle permettant de décrire la répartition des graines autour d'arbres mères adultes isolés et la distance jusqu'à laquelle ces graines sont présentes dans le sol.

### a. Protocole de prélèvement et traitement des échantillons

Afin d'étudier le patron de dispersion des graines d'*A. mangium* autour d'arbres adultes (c'est-à-dire ayant atteint l'âge reproducteur), quatre transects ont été réalisés : un sur la parcelle d'étude et trois au campus agronomique de Kourou. Ces quatre transects sont indépendants et ont été réalisés chacun à partir d'individus isolés différents. Faisant l'hypothèse d'une dispersion essentiellement autochore des graines (Delnatte & Meyer 2011), la direction des vents a été négligée et les transects ont été réalisés dans différentes directions pour les différents arbres étudiés, afin de bénéficier d'une

distance libre suffisante entre les individus situés dans des bosquets et de mesurer la banque de graines d'un individu seul à chaque fois.

En plus de la distance depuis l'arbre mère, deux variables ont été mesurées : la distance à laquelle se projette le houppier (mesurée au double décimètre à partir de la base du tronc) et le DBH<sup>2</sup> (diamètre mesuré à hauteur de poitrine). Le DBH apporte une information sur l'âge de l'arbre et donc la durée de la présence de l'espèce invasive. La distance de projection du houppier est importante dans le cas d'une dispersion autochore, un arbre élancé verticalement pourra laisser tomber ses graines beaucoup moins loin qu'un individu élancé horizontalement, indépendamment de leurs âges respectifs. Par ailleurs, si des vents dominants forts peuvent tout de même influencer la dispersion des graines, on fait l'hypothèse que leur effet principal est indirect et qu'ils jouent d'abord sur la forme de l'arbre et donc sur la distance de projection du houppier.

Les transects avaient des longueurs différentes suivant la distance de projection du houppier de l'individu concerné et l'espace libre autour de cet individu. Dix prélèvements ont été effectués pour chaque distance, jusqu'à 15 cm de profondeur, à l'aide d'une tarière à main dont la gouge mesurait 8 cm de diamètre et 15 cm de longueur. Un descriptif récapitulatif de chaque transect est proposé ci-dessous (Tableau 2). Une fois les prélèvements effectués et séchés à l'air libre, ceux-ci ont été tamisés à 4 mm (élimination des éléments grossiers) puis à 1,85 mm (récupération des graines). Les graines de chaque sous-échantillon ont été comptées, étiquetées et conservées séparément au sec et à température ambiante.

Tableau 2 – Tableau récapitulatif des quatre transects étudiés, des prélèvements effectués et des variables mesurées

Transect	Lieu	Distance de projection du houppier (m)	DBH (cm)	Distances de prélèvement
Parcelle1	Parcelle d'étude, Matiti	4	18	1,5 – 3 – 6 m
FCamp1	Campus agronomique de Kourou	7	29	2 – 4,5 – 7 – 9,5 m
CIRAD1	Campus agronomique de Kourou	12	29	2 – 4,5 – 7 – 9,5 – 12 – 14,5 m
Maison Campus	Campus agronomique de Kourou	12	62	2 – 4,5 – 7 – 9,5 – 12 – 14,5 - 17 – 22 m

<sup>2</sup> Un protocole de mesure du DBH est disponible à l'adresse suivante : <http://phytosphere.com/treeord/measuringdbh.htm>



## b. Modélisation de la densité des graines dans le sol autour des individus isolés

Suite à la réalisation de ces transects, la densité des graines dans le sol à partir des arbres mères a été modélisée à l'aide du logiciel R (R Core Team 2013). S'agissant de données de comptage, des modèles généralisés de type Poisson (fonction de lien log) ont été utilisés. Un modèle de base a été construit en prenant compte de la tendance du patron de distribution des graines à suivre une parabole inversée (on parlera toujours par la suite de parabole inversée bien qu'il s'agisse d'un abus de langage pour une variable suivant une loi de Poisson) : pour cela les paramètres « Distance » et « Distance<sup>2</sup> » ont été utilisés. Par la suite, les paramètres supplémentaires (DBH et distance de projection du houppier) ont été ajoutés, en veillant a priori à constater graphiquement une corrélation entre les résidus du modèle à N-1 paramètres avec les valeurs prises par le N<sup>ème</sup> paramètre. A posteriori, une procédure de type *stepwise* a été utilisée avec la fonction *step()* (R Core Team 2013) pour étudier la possibilité de simplifier le modèle dans un souci de parcimonie sans perdre trop en précision, sur la base du critère AIC (Akaike 1974).

Les trois modèles de types GLM Poisson sont décrits ci-dessous, avec :  $Y_{dj}$  la densité de graines à la distance  $d$  de l'arbre-mère  $j$  ;  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  et  $\omega$  les coefficients de la régression ;  $\varepsilon$  le terme d'erreur ;  $\lambda_d$  le paramètre de la régression de Poisson à la distance  $d$  ;  $DBH_j$  et  $Dist\_proj\_houppier_j$  respectivement le DBH et la distance de projection du houppier de l'arbre-mère  $j$ . Pour le troisième modèle, le terme  $\gamma_j$  résume l'ensemble des interactions entre les paramètres  $d$ ,  $d^2$ ,  $DBH_j$  et  $Dist\_proj\_houppier_j$ .

$$1) \begin{cases} Y_{dj} \sim \mathcal{P}(\lambda_d) \\ \exp(\lambda_d) = \mu + \alpha \times d + \beta \times d^2 + \varepsilon_d \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} Y_{dj} \sim \mathcal{P}(\lambda_{dj}) \\ \exp(\lambda_{dj}) = \mu + \alpha \times d + \beta \times d^2 + \delta(d^2 \times DBH_j) + \omega(d^2 \times Dist\_proj\_houppier_j) + \varepsilon_{dj} \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} Y_{dj} \sim \mathcal{P}(\lambda_{dj}) \\ \exp(\lambda_{dj}) = \mu + \alpha \times d + \beta \times d^2 + \delta \times DBH_j + \omega \times Dist\_proj\_houppier_j + \gamma_j + \varepsilon_{dj} \end{cases}$$

Il s'agissait dans un premier temps de prédire la moyenne de chacun des dix réplicats par distance le long des différents transects à l'aide de ces GLM. Par la suite, enfin de prendre en compte la variabilité des mesures de densités entre réplicats et la dépendance des prélèvements issus d'un même

transect, un modèle mixte à effets aléatoires a été construit. Cependant, une erreur due à un déficit de rang affichée par le logiciel R et possiblement due à un jeu de données insuffisant a empêché la réalisation de ce modèle.

### **3. Techniques d'épuisement de la banque de graines d'*A. mangium***

Cette seconde partie visait, après avoir mis en évidence le patron de dispersion des graines de l'espèce, à étudier l'effet de différents traitements (contrôle, travail du sol, brûlis) sur la germination de la banque de graines du sol.

#### **a. Etude de la densité de graines dans le sol avant traitements**

Préalablement à la réalisation des traitements, un bosquet dense de jeunes *A. mangium* a été identifié, couvrant une surface totale d'environ 400 m<sup>2</sup>. La grande majorité des arbres étaient des juvéniles, mais quelques individus montraient la présence d'inflorescences ou de gousses peu nombreuses prouvant qu'ils avaient atteint l'âge adulte il y a peu de temps. Cette zone était située en bordure d'une haie d'*A. mangium* adultes séparant deux parcelles. Ce bosquet a été considéré comme homogène d'un point de vue de la végétation aérienne (individus sensiblement de même hauteur et donc a priori d'âge proche) et l'hypothèse a été émise qu'il en était de même pour la banque de graines sur l'ensemble de sa surface, malgré l'hétérogénéité à très petite échelle déjà évoquée dans la partie « Etude préliminaire ». Le prélèvement de 15 échantillons dans une zone similaire lors de l'étude préliminaire indiquait par ailleurs que des graines étaient bien présentes dans le sol de ce bosquet, malgré la présence d'individus traduisant une première phase de germination déjà écoulée.

La méthodologie pour cette phase est basée sur les cas d'études de la densité de la banque de graines d'espèces présentant des caractéristiques proches en ce qui concerne la dimension des graines qui détermine en partie la capacité de dispersion de celles-ci (Tableau 3). La nombreuse littérature traitant de la diversité de la banque de graines a été exclue pour cette partie de l'étude dans la mesure où la détection de la présence de certaines espèces et la mesure de la densité de graines pour une espèce donnée sont deux problématiques très différentes (Thompson et al. 1997).

Tableau 3 - Résumé de l'étude bibliographique des protocoles de prélèvements présentés dans des études de la banque de graines d'espèces semblables. Le protocole pour la présente étude (GEPOG, 2013) est dans la ligne grisée

Etude	Espèce	Taille des graines	Dimension de la zone d'étude	Nombre de prélèvements	Profondeur du prélèvement	Volume d'un prélèvement	Volume total de prélèvement
Jasson 2005	<i>Acacia saligna</i>	3x6 mm	?	30	30 cm	0,59 L	17,7 L
Sabiiti & Wein 1987	<i>Acacia sieberiana</i>	3x5 mm	700 m <sup>2</sup>	40	4 cm	?	?
Strydom et al. 2012	<i>Acacia saligna</i>	3x6 mm	1250 m <sup>2</sup>	60	40 cm	1 L	60 L
<b>GEPOG, 2013</b>	<b><i>Acacia mangium</i></b>	<b>2-3x3-5 mm</b>	<b>Env. 400 m<sup>2</sup></b>	<b>60</b>	<b>15 cm</b>	<b>0,75 L</b>	<b>45 L</b>

Soixante prélèvements géo-référencés ont été effectués à la tarière à main (8 cm de diamètre, 15 cm de profondeur), comme pour l'étude préliminaire puisque les analyses d'autocorrélation spatiale n'ont pas permis de mettre en évidence une surface idéale d'échantillonnage. Deux sous-échantillons ont été distingués suivant leur profondeur (15-10 cm et 10-0 cm) et emballés séparément pour chaque prélèvement, afin d'étudier la répartition verticale des graines dans le sol de ce bosquet. Les prélèvements ont été effectués aléatoirement dans la zone d'étude, suivant un semi de points effectué à l'aide de la fonction *csr()* du package *splancs* (Rowlingson & Diggle 1993; R Core Team 2013). Cette méthode d'échantillonnage semble être mieux adaptée à des situations où les graines peuvent former des agrégats (ce qui est souvent le cas) qu'un plan d'échantillonnage régulier (Strydom et al. 2012). Les points ainsi générés ont ensuite été transformés en couche vectorielle à l'aide de la fonction *writeOGR()* du package *rgdal* (R Core Team 2013) puis transférés sur un GPS après conversion afin de permettre l'identification des sites de prélèvement sur le terrain. L'effort d'échantillonnage réalisé dans le cadre de la présente étude afin de caractériser la densité de la banque de graines sur les 15 premiers centimètres (0.11 L/m<sup>2</sup>) de ce bosquet est très supérieur à celle réalisée par Strydom et al. (2012) (0.018 L/m<sup>2</sup>). La carte de la parcelle, du bosquet étudié et des 60 points de prélèvements est présentée ci-dessous (Figure 6) :

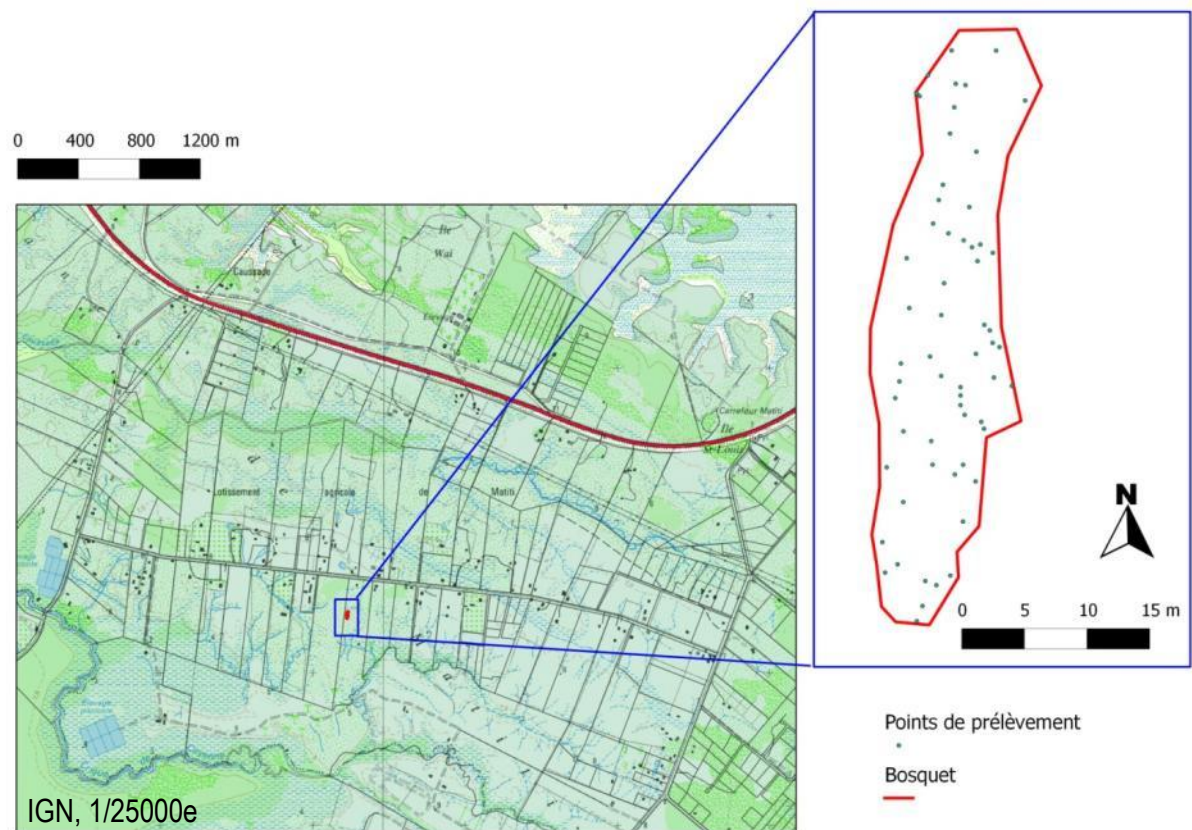


Figure 6 - Carte de la parcelle d'étude et zoom sur le bosquet traité (les 60 points de prélèvements sont indiqués en gris). © Camille Dezécache, 2013.

Ce chiffre de 60 prélèvements permettrait d'obtenir une précision telle que l'erreur standard vaille 10% de la moyenne d'après la méthode théorique présentée ci-dessus (Figure 4, p.13), sous l'hypothèse suivant laquelle la distribution des graines dans le sol suit une loi de Poisson de même paramètre sur toute la surface échantillonnée (paramètre par ailleurs identique à celui calculé à partir de l'étude préliminaire).

De la même manière que pour la première partie de l'étude, une fois les prélèvements effectués, ceux-ci ont été tamisés à 4 mm (élimination des éléments grossiers) puis à 1,85 mm (récupération des graines).

### b. Protocole de traitement

Une fois les sondages réalisés sur l'ensemble du bosquet, tous les individus ont été coupés à ras à la tronçonneuse ou à la machette (voir les photographies du bosquet avant et après coupe en annexes 3 et 4). L'arrachage a été évité pour des raisons techniques et afin de limiter les perturbations du sol. Quarante placettes de 2m x 2m ont été réparties sur l'ensemble de la zone (Figure 7) et ont été classées aléatoirement dans quatre groupes de dix placettes correspondant aux différents traitements :

- Contrôle ;
- Travail manuel du sol sur 15 cm (perturbation assimilée à ce qui se produirait en cas d'arrachage des arbustes) ;
- Deux brûlis consécutifs ;
- Deux brûlis consécutifs avec travail du sol avant le second brûlis (dont le but était d'étudier si le travail du sol permettait de favoriser la mise en contact des graines situées en profondeur avec le feu).

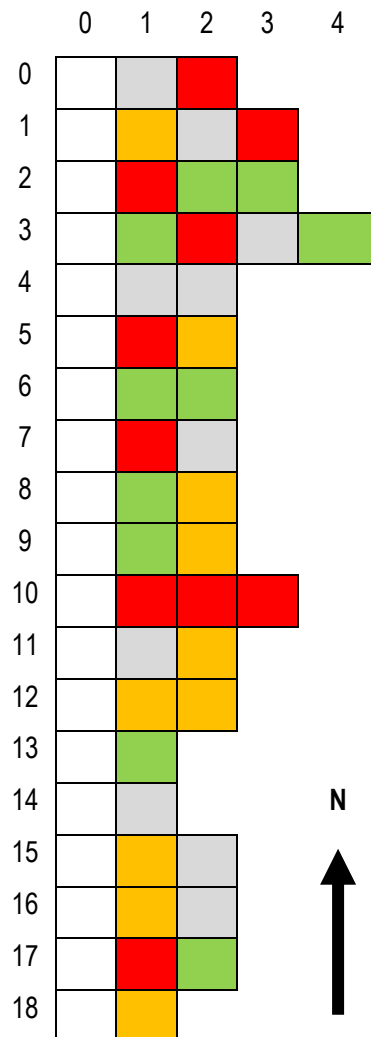


Figure 7 – Schéma de la répartition des placettes dans le bosquet étudié. Chaque placette s'inscrit dans un carré de 2 m de côté. Rouge : brûlis double, Orange : brûlis simple, Vert : travail du sol, Gris : contrôle. La haie d'acacias adultes est située à gauche (Ouest) de la grille et est représentée par les cases vides

La surface de 2 m x 2 m a été choisie afin de limiter l'effet de l'hétérogénéité locale au sein des placettes, tout en étant assez petite pour permettre un nombre de réplicats suffisant avec les moyens techniques et la surface disponibles. Une zone tampon d'environ 50 cm autour de chaque placette a été respectée afin de permettre le passage et d'éviter la propagation du feu et de la chaleur dans le sol entre placettes. Le calendrier général pour cette phase est présenté au Tableau 4. Le suivi résidait en

un comptage des jeunes pousses réalisé environ tous les trois jours (voir la photographie d'une plantule de moins d'une semaine en Annexes 6, p.46). Les plantules étaient arrachées au fur et à mesure afin d'éviter des erreurs de comptage des émergences en cas de mortalité entre les suivis.

Tableau 4 - Calendrier des traitements et du suivi des placettes

Placettes test	Brûlis	Brûlis + Travail du sol	Travail du sol	Contrôle
14-18 mars	Abattage, nettoyage et mise en place des placettes			
26-28 mars	Brûlis	Brûlis	Travail du sol	Contrôle
2 avril – 14 mai (tous les 3 jours environ)	Suivi	Suivi	Suivi	Suivi
20 mai	Brûlis	Travail du sol puis brûlis	-	-
	Suivi	Suivi	Suivi	Suivi

Le traitement « travail du sol » a été effectué manuellement à l'aide d'une houe sur une profondeur d'environ 15 cm. Les blocs de sol retournés ont été laissés tels quels et le sol a été peu décompacté.

Du foin a été utilisé comme combustible lors des brûlis afin de faciliter la prise du feu et d'utiliser des ressources disponibles localement, et en cohérence avec les milieux herbacés que constituent les savanes. La dose standard de combustible était un sac de 2 kg par placette (500 g / m<sup>2</sup>), correspondant selon Danthu et al. (2003) à un feu intense. Cependant, compte tenu de l'importante pluviométrie durant la période qui a précédé la première phase de brûlis, ainsi que de la grande épaisseur de la litière présente, la quantité de combustible utilisée a parfois été augmentée de 50% ou doublée afin d'obtenir la combustion au moins partielle de la litière. Le nombre d'unités brûlées a été noté pour chaque placette. Lors des seconds brûlis un seul sac de 2 kg a été utilisé pour chaque placette. En effet, la quasi-totalité de la litière s'était consommée lors du premier brûlis, le second feu allait réchauffait donc directement le sol. Des photographies d'un brûlis sont présentées en Annexes 5, p.45.

Par manque de recul dans le suivi des repousses après la seconde phase de brûlis, les 20 placettes ayant été brûlées (10 avec retournement du sol et 10 sans retournement du sol avant le second brûlis) ont été regroupées au sein d'un même groupe de traitement « brûlis ». Les analyses statistiques concernées et mentionnées ci-après n'intègrent donc que trois traitements (contrôle, travail du sol et brûlis) et les suivis effectués avant la date du second brûlis.

### c. Analyse statistique et modélisation

Un test de Mann-Whitney, adapté à des comparaisons de moyennes d'échantillons non-appariés sans hypothèse de normalité de la répartition des données, a été utilisé afin de comparer le nombre d'émergences constatées pour chaque traitement.

Ces émergences ont ensuite été modélisées sur l'ensemble du bosquet d'étude. Un modèle de type « *Zero Inflated Poisson* » (ZIP) a été utilisé. Il combine deux lois différentes au sein d'un même modèle :

- d'un côté, une loi binomiale produit des probabilités de « succès » (d'émergence) et d'« échec » (d'absence de germination) avec des probabilités  $p = 1 - q$  et  $q$ . Cette glm binomiale possède une fonction de lien *logit*, d'où la nécessité d'une transformation *inverse logit* des coefficients de la régression pour obtenir  $p$  et  $q$ . La fonction *inverse logit* vaut  $\frac{e^x}{1+e^x}$  et sera notée par la suite *inv.logit()* afin de simplifier l'écriture. Le calcul de la probabilité de germination  $p$  pour un traitement  $i$  est donc  $p_i = 1 - q_i = 1 - \text{inv.logit}(\alpha_i + \hat{\beta}_i^1 + \dots + \hat{\beta}_i^n)$  où  $\alpha_i$ ,  $\hat{\beta}_i^1$  et  $\hat{\beta}_i^n$  sont les estimateurs des coefficients de la régression binomiale pour ce traitement. Pour construire cette régression, le facteur « brûlis » a été utilisé, regroupant d'un côté les placettes brûlées et de l'autre les placettes non-brûlées (« contrôle » et « travail du sol ») ;

- d'un autre, une glm Poisson produit des comptages correspondant à un nombre d'émergences attendu sous cette loi. Les paramètres pris en compte dans cette régression sont X et Y, correspondant respectivement à une longitude et une latitude (données en unités de distance) mesurées sur la grille ajustée au bosquet étudié. Un paramètre  $X^2$  supplémentaire a été ajouté afin de prendre en compte la distribution des graines dans le sol suivant une parabole inversée et mise en évidence par les transects étudiés durant la première partie de cette étude. On fait l'hypothèse que le nombre d'émergences est une fonction du nombre de graines présentes dans le sol, qui lui-même est une fonction de la distance à l'arbre mère (ou ici à la haie d'acacias).

La multiplication de ce comptage par la probabilité de germination  $p_i$  donne la prédiction du modèle ZIP (en nombre d'émergences attendues) pour une placette donnée ayant subi ce traitement  $i$ . Les fonctions *wireframe()* et *cloud()* du package *lattice* (R Core Team 2013) ont permis une représentation graphique en trois dimensions des prédictions du modèle et des comptages de germinations effectués sur le terrain.

L'ensemble de ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2013).

# Résultats

---

## 1. Etude de la dispersion d'*A. mangium* autour d'arbres mères isolés

### a. Représentation de la densité de graines le long des transects

Les Figure 8 a) à d) montrent la densité de graines d'*A. mangium* dans le sol en fonction de la distance à l'arbre mère pour chaque transect. Les points et lignes colorés indiquent la moyenne du nombre de graines par m<sup>2</sup> pour une distance donnée. Les points noirs indiquent, eux, le nombre de graines rapporté au m<sup>2</sup> réellement compté dans chacun des dix réplicats effectués pour chaque distance. Lorsque plusieurs prélèvements pour une distance donnée ont permis de récolter un même nombre de graines, un ou des « pétale(s) » partant du point correspondant l'indiquent.

Pour chaque transect, on constate que le nombre moyen de graines par m<sup>2</sup> en fonction de la distance à l'arbre mère suit une parabole inversée plus ou moins écrasée. A la distance à laquelle s'arrête le houppier (lignes verticales pointillées sur les graphiques), on retrouve encore des graines dans le sol pour tous les transects. Cependant on observe qu'à cette distance la densité de graines suit systématiquement une courbe décroissante et tend vers 0 quelques mètres plus loin.

Par ailleurs, le nombre de graines du sol rapporté au m<sup>2</sup> est extrêmement variable pour une distance donnée : localement, elle peut varier de 0 à près 3000 gr/m<sup>2</sup>.



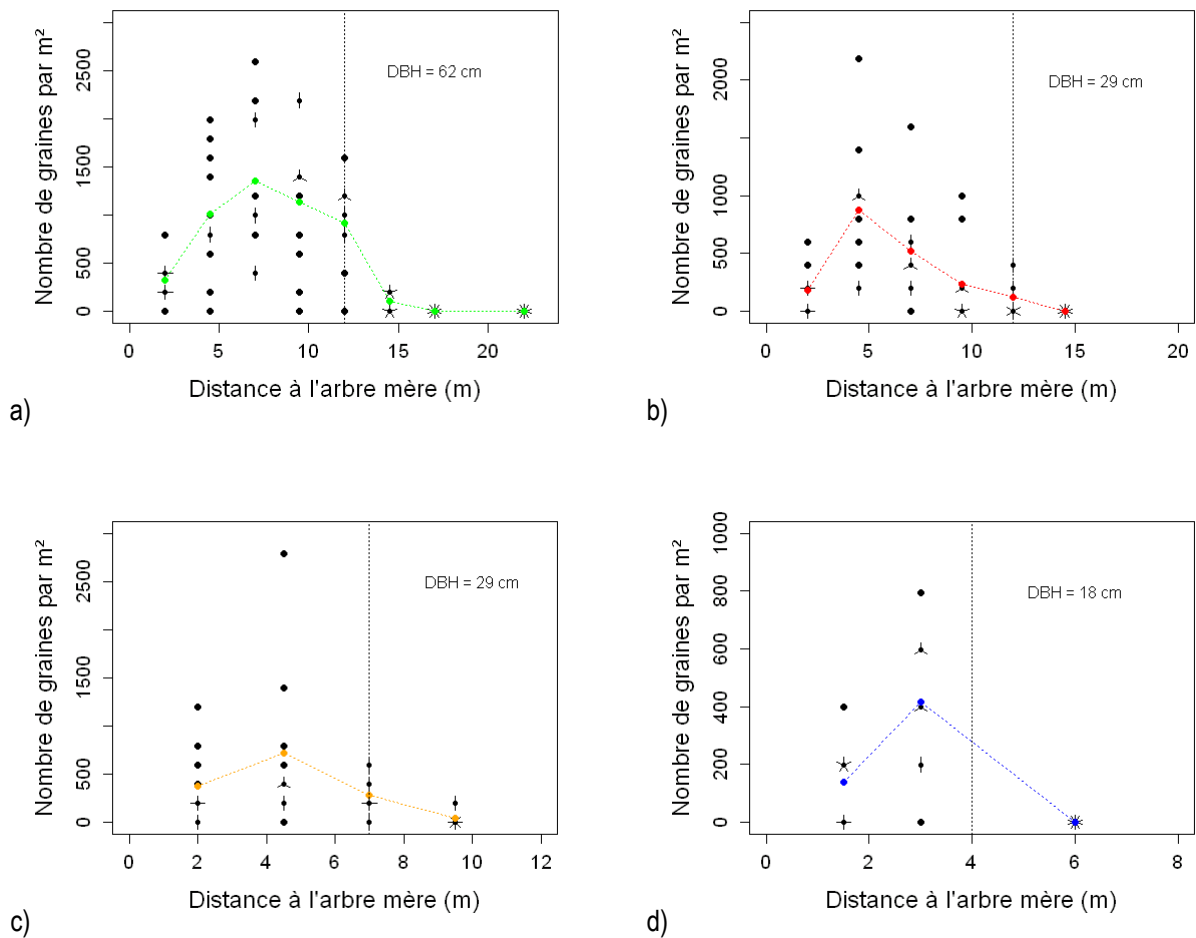


Figure 8 - Représentation graphique du patron de distribution des graines le long des différents transects, « Maison campus » (a), CIRAD1 (b), FCamp1 (c) et Parcelle1 (d). Le point 0 sur l'axe des abscisses correspond à l'arbre mère considéré. Le nombre de graines présentes dans chaque prélèvement a été rapporté au m². Les points et lignes en couleur montrent la variation des moyennes de chacun des dix réplicats effectués à chaque distance donnée. Les points noirs marquent les valeurs de densité de graines réellement mesurées. Le nombre de « pétales » autour de chacun de ces points montre le nombre de réplicats présentant la même densité de graines. La droite verticale pointillée correspond à la distance de projection du houppier. Le DBH de chaque arbre mère est également précisé sur chaque graphique.

## b. Modélisation du patron de dispersion de l'espèce

Un tableau récapitulatif des trois modèles de type GLM Poisson construits est présenté ci-dessous (Tableau 5) :

Tableau 5 – Descriptif des trois modèles de type GLM Poisson construits afin de modéliser la densité des graines le long de chaque transect. La formule correspondant à chaque modèle reprend la notation du logiciel R. La notation mathématique est présentée ci-dessus.

Code	Formule du modèle	AIC	Nombre de paramètres	Significativité des paramètres
b)	Densité_graines ~ Distance + I(Distance^2)	5679.8	3	Tous très significatifs (p-value < 0,001)
c)	Densité_graines ~ Distance + I(Distance^2) + I(Distance^2):DBH + I(Distance^2):Dist_proj_houppier	1190.8	5	Tous très significatifs (p-value < 0,001)
d)	Densité_graines ~ (Distance + I(Distance^2))*DBH*Dist_proj_houppier	613.05	12	Aucun significatif

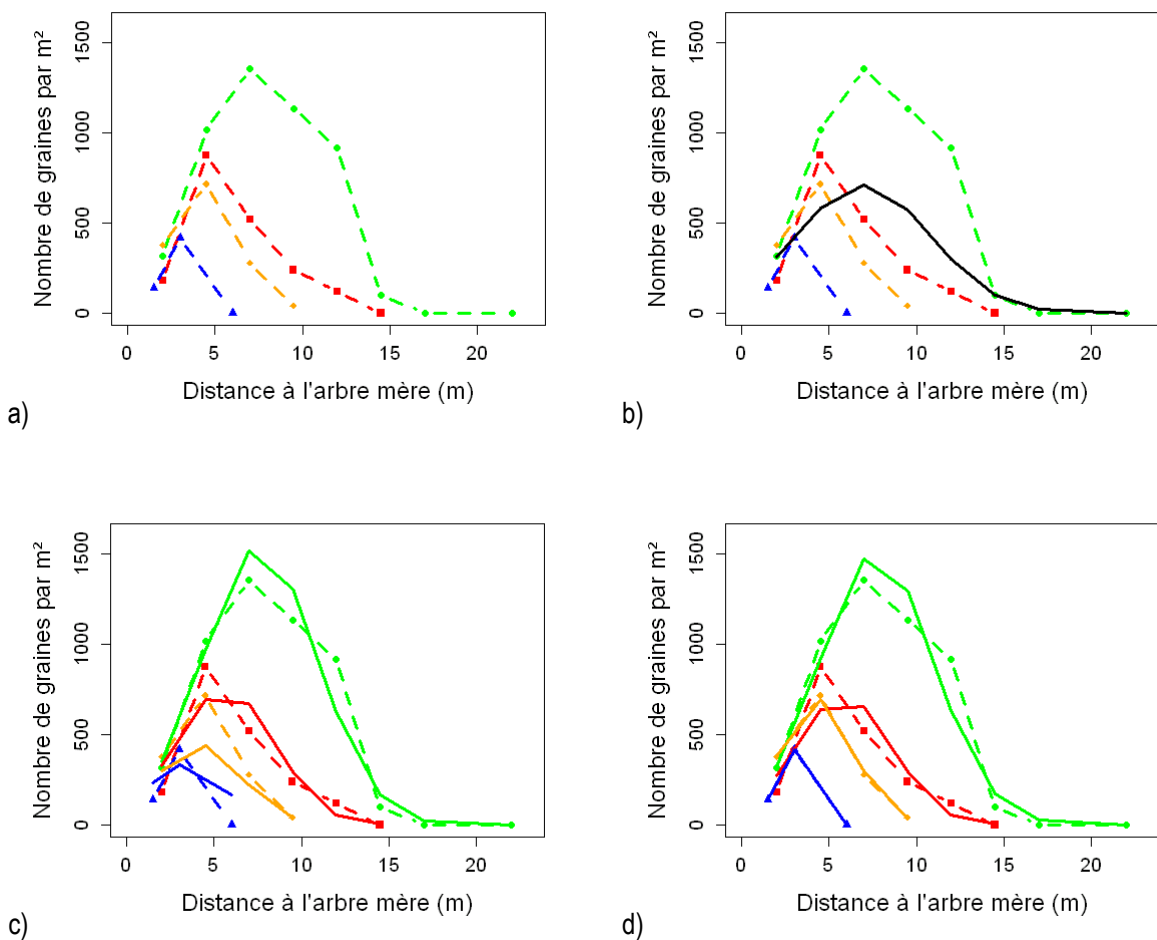


Figure 9 – Distribution moyenne des densités de graines pour chaque transect (a) et leurs prédictions pour les modèles à 3 (b), 5 (c) et 12 (d) paramètres (moyennes en pointillés et prédictions en traits pleins). Pour le modèle b), la courbe noire représente les prédictions du modèle commun à tous les transects. Les lettres a, b, c et d associées à chaque modèle renvoient à la colonne « Code » du Tableau 5.

La distribution moyenne de la densité de graines dans le sol pour chaque transect est reproduite ci-dessus (Figure 9 a).

Le modèle de base contenant pour seule variable explicative la distance à l'arbre mère (et le carré de cette distance pour second paramètre) permet de modéliser la tendance parabolique inverse de la densité de graines en fonction de la distance (Figure 9 b). Cependant, il ne permet pas de différencier les transects qui se distinguent par leur DBH et la distance de projection de leur houppier.

Le modèle le plus complet prenant en compte les trois variables (distance à l'arbre mère, DBH et distance de projection du houppier) et leurs interactions respectives prédit particulièrement bien la distribution des densités moyennes de graines (Figure 9 d) mais au prix d'une surparamétrisation qui induit une non-significativité des 12 paramètres en jeu, bien qu'une procédure de type *stepwise* n'entraîne la suppression d'aucun de ces paramètres.

Un modèle intermédiaire prenant en compte les trois variables et les interactions entre la variable DBH et le carré de la distance à l'arbre mère ainsi que la distance de projection du houppier et le carré de la distance à l'arbre mère permet un bon ajustement aux données (Figure 9 c) tout en étant plus parcimonieux et en économisant sept paramètres par rapport au modèle précédent. Les deux interactions évoquées ci-dessus permettent d'amplifier la forme de parabole inversée avec une hausse du DBH et/ou de la distance de projection du houppier (Figure 10 ci-dessous). Au coefficient estimé près, l'effet d'amplification provoqué par une hausse du DBH ou de la distance de projection du houppier est le même.

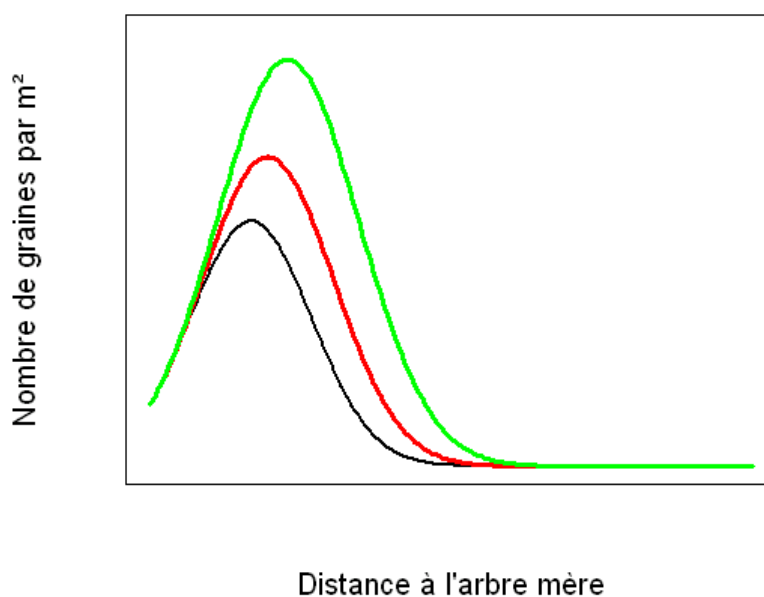


Figure 10 – Amplification de la courbe de distribution des graines le long d'un transect provoquée par une hausse du DBH (rouge) ou de la distance de projection du houppier (vert) par rapport aux valeurs initiales (noir). Les valeurs utilisées sont fictives.

## 2. Techniques d'épuisement de la banque de graines

### a. Densité de graines dans le bosquet d'étude avant traitement

A partir des 60 prélèvements de 15 cm de profondeur effectués avant traitement sur le bosquet d'étude, une densité de graines d'*A. mangium* dans le sol rapportée au m<sup>2</sup> a pu être calculée. Sa moyenne est de 172,5 gr./m<sup>2</sup> (écart-type : 275,4 gr./m<sup>2</sup>). Contrairement au cas de l'étude préliminaire, la densité de distribution des graines dans le sol s'éloigne significativement d'une loi de Poisson (test du rapport de vraisemblance, histogramme non présenté).

En ce qui concerne la distribution verticale des graines, 100% des graines ont été observées dans l'horizon 0-10 cm. Aucune graine ne semble donc être présente en dessous de 10 cm de profondeur.

### b. Résultats du suivi des germinations après traitement

Après 48 jours de suivi post-brûlis, aucune germination n'a été observée sur les placettes « contrôle ». Durant cette même période, une seule germination a été observée sur une des dix placettes « travail du sol ». Sur les vingt placettes brûlées, on a observé  $3,1 \pm 4,4$  plantules/m<sup>2</sup> (moyenne  $\pm$  écart-type). La variabilité de ce nombre de repousses est très grande : sur trois de ces vingt placettes, aucune germination ne s'est produite alors que sur une autre on a compté 81 plantules au total (correspondant à 20 plantules environ au m<sup>2</sup>). Le Tableau 6 ci-dessous récapitule les informations concernant les germinations pour chaque traitement à l'issue de ce suivi.

Tableau 6 – Bilan des germinations sur les différentes placettes d'étude

Traitement	Nombre de placettes	Moyenne (plantules/m <sup>2</sup> ) $\pm$ Ecart-type
Contrôle	10	0 <sup>a</sup>
Travail du sol	10	0 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>
Brûlis	20	3,1 $\pm$ 4,4 <sup>b</sup>

Le nombre de plantules ayant émergé dans les placettes brûlées est significativement supérieur à ce qui est observé pour les autres traitements ( $p$ -value < 0,001) d'après un test de Mann-Whitney adapté à la comparaison de deux échantillons non-appariés dans le cas où l'hypothèse de normalité n'est pas vérifiée.

Le nombre moyen de germinations par m<sup>2</sup> pour les placettes brûlées correspond à  $1,8 \pm 2,5\%$  de la densité moyenne de graines calculée au sein du bosquet d'étude.

### c. Dynamique de repousse post-brûlis

Le suivi régulier des germinations a permis de mettre en évidence la dynamique de repousses suite aux traitements effectués. On ne décrira ici que celle qui concerne les placettes ayant subi un brûlis, puisque ce sont les seules à montrer une activation de la germination après traitement. Les premières plantules ont émergé environ une semaine après le passage du feu. La deuxième semaine suivant le brûlis correspond à la phase de germination la plus active. A 13 jours, 61 ± 29% des plantules sont déjà sorties de terre. Par la suite, la vitesse de germination commence à décroître. A 20 jours, environ 95% des émergences se sont produites, et après un mois après le brûlis presque plus aucune germination ne semble se produire (Figure 11, l'axe des ordonnées représente le nombre de germinations par placette de 2 x 2 m. Il convient de diviser ces chiffres par 4 pour obtenir le nombre de plantules par m<sup>2</sup>). Cette dynamique semble similaire autant pour les placettes où peu de germinations sont constatées que pour celles où beaucoup de plantules émergent.

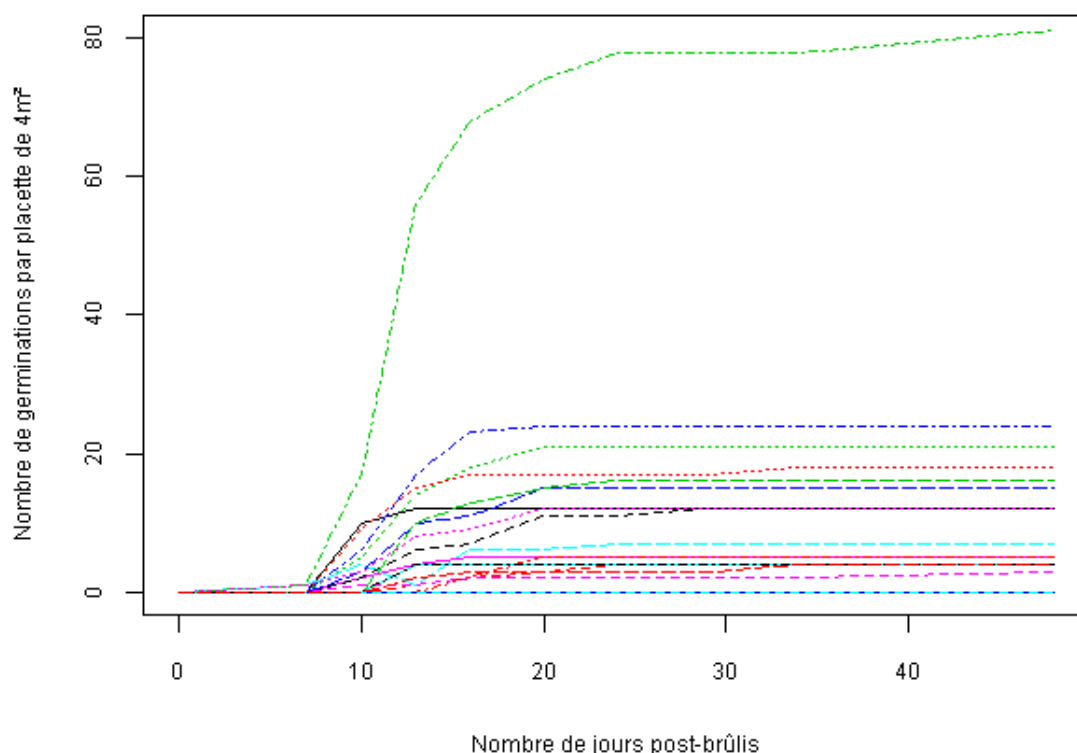


Figure 11 – Suivi du nombre de germinations observées au sein des 20 placettes brûlées, de 0 à 48 jours après la date du brûlis. Ce nombre est indiqué en plantules par placette de 4m<sup>2</sup>, il convient de le diviser par quatre pour obtenir le nombre de germinations par m<sup>2</sup>.

#### d. Modélisation de la germination après traitement : modèle ZIP

Le tableau récapitulatif des sorties pour ce modèle est présenté ci-dessous (Tableau 7). Tous les paramètres intégrés au modèle ZIP sont statistiquement très significatifs (z-test). La probabilité de germination pour les placettes non brûlées est estimée à partir du calcul suivant :  $P_0 = 1 - \text{inv.logit}(\text{intercept})$  et vaut 0,05. Pour les placettes brûlées, elle est estimée à partir de ce calcul :  $P_1 = 1 - \text{inv.logit}(\text{intercept} + \text{brulis1})$  et vaut 0,85. Le brûlis a donc un effet positif et très significatif sur la probabilité de germination au sein de chaque placette.

Tableau 7 - Sorties du logiciel R pour le modèle ZIP.

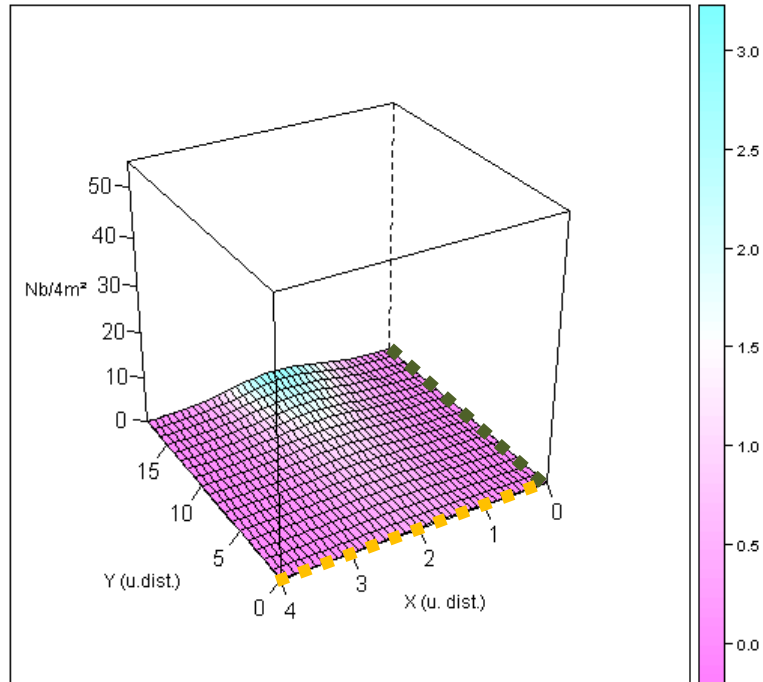
Formule :  $\text{nb\_germinations} \sim X + I(X^2) + Y \mid \text{brulis}$

<b>Coefficients du modèle de comptage (loi de Poisson avec lien log) :</b>			
	<i>Estimation</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>P-value</i>
<i>(Intercept)</i>	-3.11488	1.11112	0.00506 **
<i>X</i>	4.93802	0.96204	2.85e-07 ***
<i>I(X<sup>2</sup>)</i>	-1.19804	0.20498	5.07e-09 ***
<i>Y</i>	0.11450	0.01896	1.54e-09 ***
<b>Coefficients du « Zero-inflation model » (loi binomiale avec lien logit) :</b>			
	<i>Estimation</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>P-value</i>
<i>(Intercept)</i>	2.875	1.028	0.005175 **
<i>Brulis1</i>	-4.620	1.207	0.000129 ***

L'estimation des coefficients de la régression de Poisson est positive pour le paramètre X et négative pour le paramètre X<sup>2</sup>. Ceci traduit la tendance du nombre de germinations à suivre une parabole inversée lorsque les placettes sont disposées en s'éloignant de la haie d'acacias, comme décrit dans la partie précédent concernant l'étude des différents transects. Cette estimation est positive pour le coefficient Y, traduisant une hausse du nombre de germinations au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Sud du bosquet, parallèlement à la haie d'acacias.

Les représentations en 3D des prédictions du modèle pour les placettes non-brûlées (« contrôle » et « travail du sol », Figure 12 a) et les placettes brûlées (Figure 12 b) montrent bien les gradients Ouest-Est (parabole inversée partant de la haie d'acacias) et Nord-Sud (parallèlement à la haie d'acacias) qui influent sur le nombre de germinations observées au sein de chaque traitement. Pour les placettes « contrôle » et « travail du sol », les comptages prédits par la régression de Poisson sont compensés par une très faible probabilité de germination (5%), alors que pour les placettes brûlées la probabilité de germination est forte (85%).

a)



b)

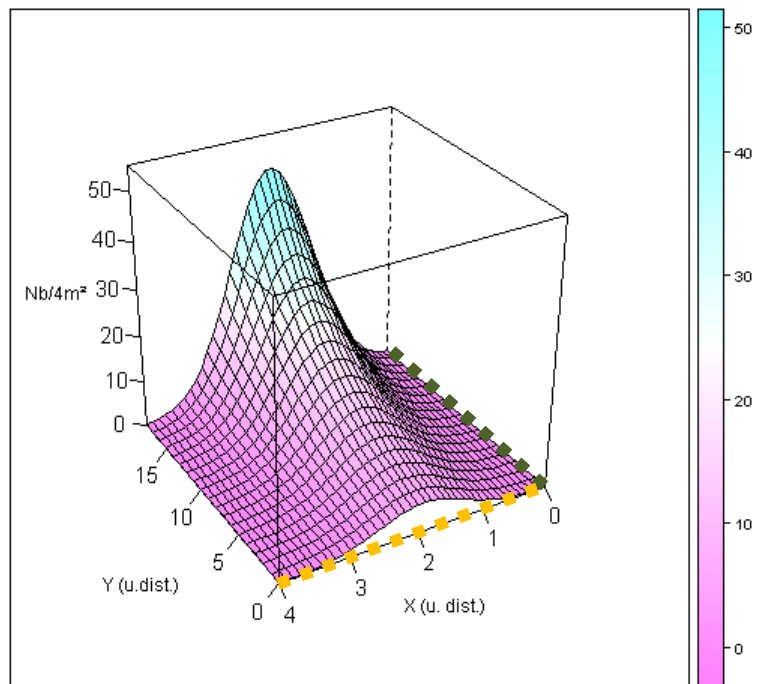


Figure 12 - Représentations en 3D des prédictions du modèle ZIP (nombre de repousses par placette de 4m<sup>2</sup>) pour les placettes non-brûlées ("contrôle" et "travail du sol") (a) et brûlées (b). L'axe des X correspond à la distance (en unités de distance, de l'Ouest vers l'Est) à la haie d'acacias (représentée par la droite pointillée verte). L'axe des Y correspond à la distance (en unités de distance, du Nord au Sud) à partir de l'extrémité Nord du bosquet (représentée par la droite pointillée orange).

Les données correspondant aux émergences réellement mesurées ont été disposées dans ce même espace en trois dimensions. Aucune germination n'a été constatée sur les placettes « contrôle » (Figure 13 a). Une seule germination a été observée pour les placettes « travail du sol » (Figure 13 b).

Concernant les placettes brûlées, les gradients Nord-Sud et Ouest-Est mis en évidence par le modèle sont visibles (Figure 13 c).

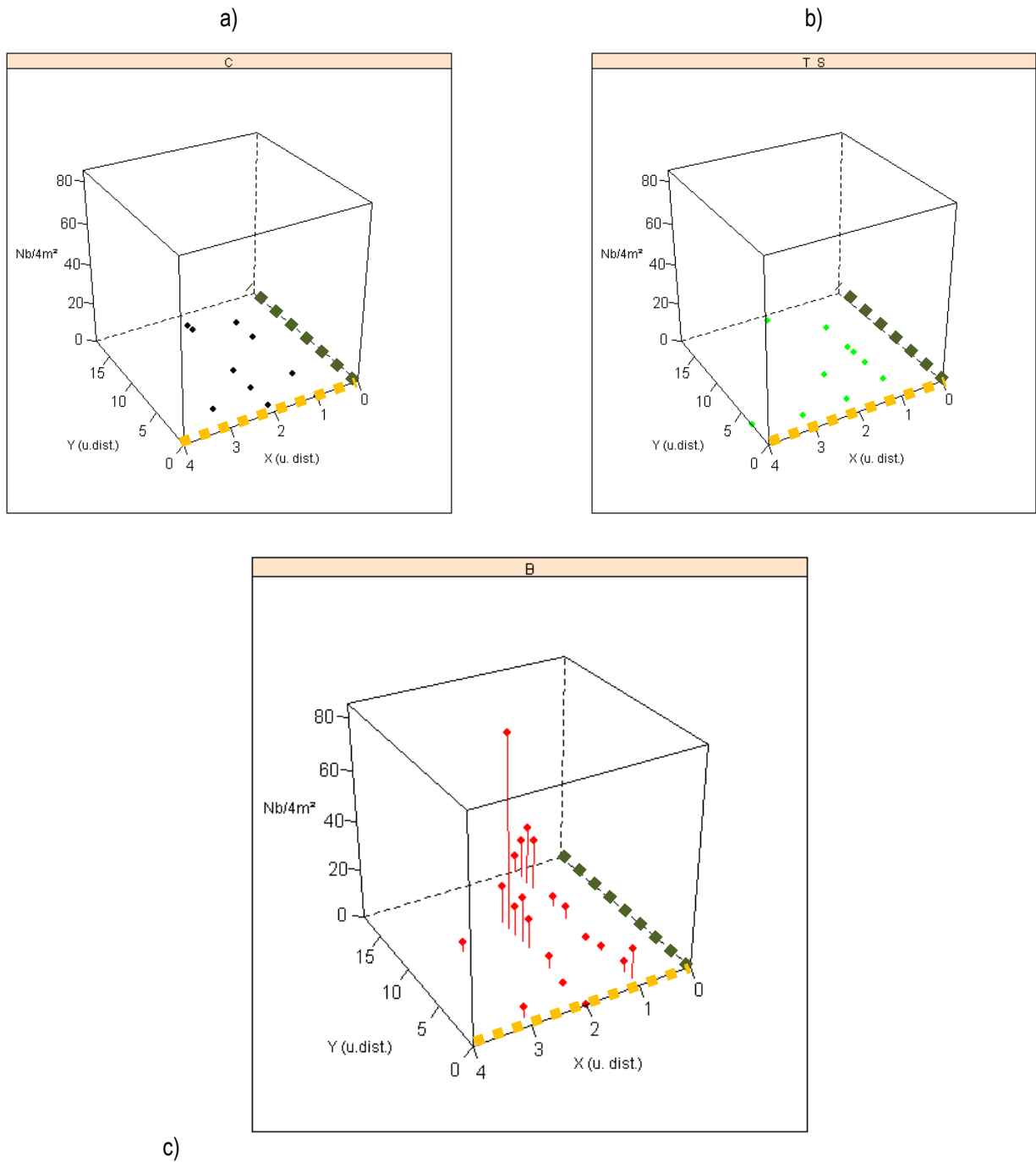


Figure 13 – Représentations en 3D du nombre de repousses par placette de 4m<sup>2</sup> observé pour les placettes « contrôle » (a), « travail du sol » (b) et brûlées (c). L'axe des X correspond à la distance (en unités de distance, de l'Ouest vers l'Est) à la haie d'acacias (représentée par la droite pointillée verte). L'axe des Y correspond à la distance (en unités de distance, du Nord au Sud) à partir de l'extrémité Nord du bosquet (représentée par la droite pointillée orange).



# Discussion et perspectives

---

## 1. Effet du brûlis sur la germination des graines d'*A. mangium*

Cette étude a montré un effet significatif du brûlis sur l'émergence des plantules d'*A. mangium*. Cependant, le nombre de germinations constatées reste très faible par rapport à la densité moyenne de graines calculée sur le site, de l'ordre de 1,8%.

Dans une étude à propos de l'espèce *A. sieberiana* (Sabiiti & Wein 1987), une moyenne de 167 germinations/m<sup>2</sup> a été observée pour une surface brûlée où la densité initiale des graines était d'environ 800 g/m<sup>2</sup>, contre 5 germinations/m<sup>2</sup> sur les surfaces non-brûlées. Ce chiffre représente 20,9% de la banque de graines initialement présente. La densité de graines était nulle en-dessous de 4 cm. En ce qui concerne la présente étude, aucune graine ne semble être présente sous 10 cm de profondeur, mais on ne dispose pas de davantage de précision sur la distribution verticale des graines pour les profondeurs comprises entre 0 et 10 cm. De ce fait, en plus d'un effet « espèces » qui peuvent réagir différemment au feu ou de l'impact de l'intensité du feu, la distribution verticale des graines peut également affecter le pourcentage d'émergences constatées par rapport au total des graines présentes. En effet, une banque de graines superficielle sera plus facilement stimulée par le feu qu'une banque de graines profonde.

Une autre étude par Jasson (2005) a observé de 19 à 59 émergences par m<sup>2</sup> pour des densités de graines respectivement de 6648 et 3158 g/m<sup>2</sup>, correspondant à 0,3% et 1,9% de la banque de graines totale pour *A. saligna*. Cependant, une comparaison de la banque de graines du sol des zones brûlées avec les zones intactes montre une réduction de la banque de graines totale de respectivement 75,7 et 52,7%. Le nombre d'émergences n'est donc pas nécessairement corrélé avec la réduction de la banque de graines. Un feu de forte intensité pourra provoquer aussi peu d'émergences qu'un feu de faible intensité, mais le premier détruira probablement plus de graines que le second.

Par ailleurs, le nombre d'émergences semble être fonction de la densité de graines présentes dans le sol et donc de la zone dans laquelle sont disposées les placettes. C'est ce que montrent les résultats du modèle ZIP prédisant un nombre de germinations suivant une forme de parabole inversée au fur et à mesure de l'éloignement vis-à-vis de la haie d'acacias, donc des arbres mères, de la même manière que ce qui a été observé le long des transects. Le gradient de germination Nord-Sud mis en évidence par ce modèle reste au contraire inexplicé. Des prélèvements de sol suivant une grille régulière plutôt qu'aléatoirement auraient éventuellement pu permettre de modéliser la distribution des

graines dans le sol du bosquet et d'expliquer ce plus faible nombre de germinations dans sa partie Nord. Cependant, il faut remarquer que les deux gradients sont influencés par la présence de la valeur extrême correspondant à l'émergence de plus de 81 plantules sur une des placettes.

## 2. Capacité du brûlis à épuiser la banque de graines du sol

Dans le cadre de la présente étude, le nombre de graines restantes dans le sol est donc inconnu et ne permet pas de chiffrer directement l'efficacité du brûlis en termes de réduction de la banque de graines. Une diminution moyenne de 1,8% du nombre de graines constatée par comptage des repousses est très modeste, cependant il est probable au vu des autres études que le pourcentage de graines détruites par le feu est très supérieur. Après la fin du suivi de la seconde phase de brûlis, il serait donc utile de réaliser des sondages sur chaque placette pour étudier la quantité de graines restantes dans le sol. Ce faisant, les graines carbonisées devraient être éliminées du comptage, des tests de germination pouvant être réalisés afin de vérifier leur non-viabilité.

Cependant, le brûlis pose également des problèmes si l'on se situe dans des espaces naturels à protéger. Son effet sur la banque de graines d'autres espèces n'a pas été pris en compte dans cette étude, pourtant il détruit très certainement les graines des espèces natives. De ce fait, tout projet d'épuisement par le feu de la banque de graines d'*A. mangium* devrait être associée à une tentative de restauration des zones traitées, à plus forte raison si certaines espèces à forte valeur patrimoniale s'y trouvent.

## 3. Surfaces à traiter

L'étude des transects a permis de confirmer la dissémination essentiellement autochore de l'espèce *A. mangium* (Delnatte & Meyer 2011). L'essentiel de la banque de graines se trouve sous le houppier et celle-ci décline très rapidement quelques mètres plus loin que la distance de projection du houppier. La faible capacité de dispersion de l'espèce rend assez aisée l'identification des zones à traiter d'autant plus que, sur le front d'avancée de l'espèce, la zone où se termine le houppier correspond à une zone de transition entre le sous-bois à *A. mangium*, où pratiquement aucune autre espèce ne pousse, et l'extérieur où la végétation herbacée est encore présente (voir la photographie en Annexes 2, p.42). Cette transition n'est pas brutale : plus on se rapproche du bosquet d'*A. mangium*, plus le dépôt de feuilles de l'espèce est important, jusqu'à parfois former un plancher au dessus des plantes herbacées (voir la photographie en Annexes 7 p.47). La surface où les graines sont présentes massivement peut donc être visualisée sur place et correspond au sous-bois lui-même et à l'espace de

quelques mètres qui l'entoure et où l'on observe une quantité très importante de débris végétaux issus des acacias voisins.

#### **4. Recommandations afin d'épuiser la banque de graines**

Une fois la zone à traiter délimitée, il faut bénéficier d'un combustible pour procéder au brûlis. La coupe à ras des individus adultes (phase également indispensable en cas de volonté d'éradiquer l'espèce d'une zone donnée) ainsi que le cas échéant des juvéniles les entourant, peut permettre de disposer du combustible suffisant pour procéder à un premier brûlis en saison sèche, en répartissant le bois sur l'ensemble de la zone. Si cette première phase de brûlis permet de favoriser la germination de nombreuses graines par m<sup>2</sup>, le fait de les laisser se développer pendant environ un an et demi permettrait d'obtenir une biomasse suffisante pour procéder à un deuxième brûlis à la saison sèche après abattage, soient deux ans après le premier passage du feu. Une période de 18 mois permet une accumulation maximale de biomasse en attendant que les repousses n'atteignent l'âge adulte. En cas de repousses après le second brûlis, il serait possible de répéter l'opération autant que nécessaire pour ne plus obtenir d'émergences après brûlis. L'étude de la capacité d'un travail superficiel du sol combiné au passage du feu à stimuler la germination des graines situées en profondeur est également en cours avec le suivi du second effectué dans le cadre de cette étude.

#### **5. Modèle de dispersion des graines et effet du DBH et de la forme du houppier**

Le modèle à 5 paramètres développé à partir des transects réalisés permet de prédire efficacement la densité des graines le long de ceux-ci et une distance à partir de laquelle cette densité est pratiquement nulle (et donc une surface à traiter autour des arbres). Reste cependant à vérifier sa validité pour des transects n'ayant pas servi à le calibrer. Des problèmes d'ajustement pourraient alors survenir. En effet, d'après ce modèle, au coefficient estimé près, l'effet d'amplification provoqué par une hausse du DBH ou de la distance de projection du houppier est le même (Figure 10, p.27).

Or on peut s'attendre à ce qu'ils aient en réalité deux effets différents :

- lorsqu'un arbre vieillit, son diamètre augmente. En supposant que la distance de projection de son houppier reste inchangée, il aura tendance à accumuler ses graines toujours au même endroit, provoquant une hausse du sommet de la distribution sans modification du mode de cette distribution (Figure 14 a) ;

- au contraire, si l'on considère deux arbres de même âge (même DBH), l'un vertical et l'autre très étalé horizontalement, le second aura tendance à disperser davantage ses graines dans l'espace que le premier. De ce fait, le sommet de la parabole inversée sera affecté, de même que son mode. Par ailleurs, elle sera bien plus étalée dans le second cas que dans le premier (Figure 14 b).

La forte corrélation entre DBH et distance de projection du houppier (un arbre âgé aura tendance à avoir un houppier plus grand et donc plus étalé) peut provoquer la confusion des effets des deux variables dans le modèle. Celui-ci risque donc d'être peu adapté à des cas extrêmes : pour un arbre jeune très étalé ou un arbre âgé très vertical par exemple.

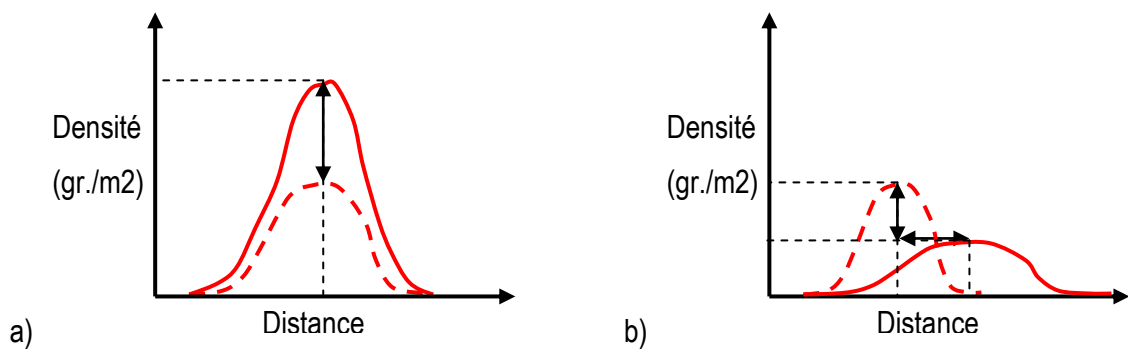


Figure 14 – Schémas représentatifs de l'effet attendu d'une hausse du DBH (a) ou de la distance de projection du houppier (b) sur le patron de dispersion des graines le long d'un transect.

# Conclusion et recommandations

---

Cette étude a permis de mettre en évidence la capacité du brûlis à stimuler la germination des graines d'*A. mangium* dans une savane envahie de Guyane française. Cette technique pourrait donc être prometteuse en vue d'épuiser la banque de graines de cette espèce, même si le bilan complet de son efficacité reste à déterminer puisque le nombre de graines détruites directement par l'effet du feu ou le nombre de graines restantes dans le sol n'ont pas été mesurés.

Le caractère essentiellement autochore de la dispersion de l'espèce a par ailleurs été confirmé. La banque de graines reste cantonnée à un espace dépassant de seulement quelques mètres le houppier des arbres. Ce caractère autochore est une chance pour la mise en place de projet de lutte contre cette espèce, dans la mesure où des dispositions prises très localement peuvent être très efficaces. Cependant, une dispersion résiduelle (accidentelle ou non) par le biais des transports ou des oiseaux reste possible, rendant nécessaire une vigilance accrue à l'échelle du territoire.

Bien que simple et peu coûteuse à mettre en place, la technique d'épuisement de la banque de graines par brûlis est néanmoins contraignante à appliquer et difficilement envisageable à de très larges échelles. Elle nécessite un suivi régulier afin d'éviter un effet contreproductif provoqué par la multiplication des repousses après le passage du feu, en cas d'abandon de la zone concernée. Cela pose également la question de la gestion des savanes littorales, qui brûlent (le plus souvent par l'action de l'Homme que naturellement) régulièrement en saison sèche.

S'agissant d'une espèce invasive utile, en particulier en ce qui concerne son utilisation comme bois-énergie, des programmes d'éradication coûteux pourraient être mal reçus par les populations locales, d'autant plus dans un contexte économique morose. Une politique de lutte a minima devrait donc débiter par l'identification de zones de savanes d'intérêt majeur à préserver. Au sein de ces zones et autour de celles-ci, en particulier le long des voies de circulation y menant, une vigilance accrue serait mise en place. Un suivi annuel avec arrachage systématique des juvéniles présents le cas échéant pourrait être suffisant, compte tenu de la durée de dix-huit mois nécessaires à la maturation de l'espèce, des mesures plus radicales telles que le brûlis n'étant appliquées que dans les cas où le stade adulte a déjà été atteint. Les talus de bords de routes pourraient constituer des voies de dispersion privilégiées pour l'*A. mangium* dont les individus, souvent plantés en bordure de parcelles, pourraient facilement se propager de proche en proche au-delà de celles-ci. Ils méritent donc une vigilance toute

particulière, d'autant que l'*A. mangium* n'est pas la seule espèce potentiellement invasive à pouvoir y transiter<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> On peut penser par exemple au kikuyu (*Brachiaria sp.*), principale plante fourragère exotique implantée dans les prairies et qui se développe très rapidement le long des voies de circulation ouvertes dans les zones déforestées au profit de l'élevage.

# Bibliographie

---

- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), pp.716–723.
- Benoit, D.L., Kenkel, N.C. & Cavers, P.B., 1989. Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. *Canadian Journal of Botany*, 67(10), pp.2833–2840. Available at: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/b89-364>.
- Chauvell, B., Gasquez, J., Darmency, H., 1989. Changes Of Weed Seedbank Parameters According To Species, Time And Environment. *Weed Res.*, 29, pp.213–219.
- Cohen, O. et al., 2008. Reducing Persistent Seed Banks of Invasive Plants by Soil Solarization : The Case of *Acacia saligna*. *Weed Science*, 56(6), pp.860–865.
- Cronk, Q.C.B. & Fuller, J.L., 1995. *Plants invaders. The threat to natural ecosystems. People and plants conservation manual.*, London: Chapman & Hall.
- Danthu, P. et al., 2003. Impact of bush fire on germination of some West African acacias. , 173, pp.1–10.
- Davidson, D.W. & Morton, S.R., 1984. Dispersal Adaptations of Some *Acacia* Species in the Australian Arid Zone. *Ecology*, 65(4), pp.1038–1051.
- Delnatte, C. & Meyer, J.-Y., 2011. Plant introduction, naturalization, and invasion in French Guiana (South America). *Biological Invasions*, 14(5), pp.915–927. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10530-011-0129-1> [Accessed March 8, 2013].
- Elliott, J.M., 1997. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Freshwater Biol. Assoc.*, 25, pp.1–156.
- Gibson, M.R. et al., 2011. Reproductive biology of Australian acacias: important mediator of invasiveness? *Diversity and Distributions*, 17(5), pp.911–933. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1472-4642.2011.00808.x> [Accessed June 11, 2013].
- Goreaud, F., 2000. *Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes.*
- Griffin, A.R. et al., 2011. Global uses of Australian acacias - recent trends and future prospects. *Diversity and Distributions*, 17(5), pp.837–847. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1472-4642.2011.00814.x> [Accessed May 30, 2013].
- Jasson, R., 2005. *Management of Acacia species seed banks in the Table Mountain National Park , Cape Peninsula , South Africa.*
- Krisnawati, H., Kallio, M. & Kanninen, M., 2011. *Acacia mangium Willd. Ecology, silviculture and productivity,*

- Mittermeier, R.A. et al., 1998. Biodiversity Hotspots and Major Tropical Wilderness Areas - Approaches to Setting Conservation Priorities. *Conservation Biology*, 12(3), pp.514–520.
- Olivier Gargominy, 2003. *Biodiversité et conservation dans les collectivités françaises d ' outre-mer* Planète Na., Comité français pour l'UICN.
- ONF, 2004. *Bilan des dispositifs de revégétalisation des sols miniers dégradés*, Cayenne.
- PNUE, 2005. Millennium Ecosystem Assessment (MEA).
- R Core Team, 2013. *R: A language and environment for statistical computing*, Vienna. Available at: <http://www.r-project.org/>.
- Rahman, A., James, T.K. & Waller, J.E., 1997. Soil sampling studies for estimation of weed seedbanks. , pp.447–452.
- Rowlingson, B. & Diggle, P., 1993. Splancs: spatial point pattern analysis code in S-Plus. *Computers and Geosciences*, 19, pp.627–655. Available at: <http://www.maths.lancs.ac.uk/~rowlings/Splancs/>.
- Sabiiti, E.N. & Wein, R.W., 1987. Fire and Acacia seeds: a hypothesis of colonization success. , 74(4), pp.937–946.
- Saharjo, B.H. & Watanabe, H., 2000. Estimation of litter fall and seed production of Acacia mangium in a forest plantation in South Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 130(1-3), pp.265–268.
- Soubeyran, Y., 2008. *Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d ' outre-mer Etat des lieux et recommandations* Planète Na. Comité français de l'UICN, ed.,
- Stahl, C. et al., 2011. Seasonal variations in stem CO<sub>2</sub> efflux in the Neotropical rainforest of French Guiana. *Ann. For. Sci.*, 68, pp.771–782.
- Strydom, M., Esler, K.J. & Wood, A.R., 2012. Acacia saligna seed banks : Sampling methods and dynamics , Western Cape , South Africa. *South African Journal of Botany*, 79, pp.140–147. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2011.10.007>.
- Thompson, K., Bakker, J.P. & Bekker, R.M., 1997. *The Soil Seed Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity*, Cambridge University Press.
- Wilson, J.R.U. et al., 2011. Risk assessment, eradication, and biological control: global efforts to limit Australian acacia invasions. *Diversity and Distributions*, 17(5), pp.1030–1046. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1472-4642.2011.00815.x> [Accessed March 27, 2013].
- Zar, J.H., 1984. *Biostatistical Analysis* Prentice H., Englewood.



# Annexes

---

## 1. Feuilles, inflorescences et gousses d'*A. mangium*



## 2. Sous-bois à *A. mangium*



### 3. Bosquet d'étude avant...



#### 4. ... et après coupe et disposition des placettes



## 5. Progression d'un brûlis



## 6. Repousse de moins d'une semaine sur une placette brûlée



## 7. Enfouissement de la végétation d'origine sous la litière d'*A. mangium*



# UNIVERSITÉ DES ANTILLES ET DE LA GUYANE

## FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES ET NATURELLES

### Résumé :

La problématique des espèces invasives est majeure dans le cadre des enjeux liés à la protection de la biodiversité. Les savanes du littoral guyanais constituent des espaces très fragmentés mais riches en biodiversité, situés dans des zones d'expansion agricole et urbaine. Cette fragmentation et la proximité avec les activités humaines les rendent très sensibles aux invasions biologiques. Une espèce en particulier, *Acacia mangium*, originaire du Sud-est asiatique, a montré une forte tendance invasive dans les zones ouvertes d'Amazonie. Jugée problématique en Guyane française, son extension est cependant encore suffisamment réduite pour pouvoir être contenue. L'objectif de cette étude est de fournir les bases d'une lutte simple et peu coûteuse contre cette espèce, en étudiant sa banque de graines et des techniques d'épuisement (travail superficiel du sol et brûlis) de celles-ci. Le mode de dispersion autochore de cette espèce a été confirmé, de même que la capacité du brûlis à stimuler la germination des graines. La coupe des adultes et le fait de les brûler sur place pourraient ainsi permettre de faire germer une partie de la banque de graines du sol. L'arrachage des repousses avant maturité (environ un an et demi plus tard) fournirait un combustible facilement disponible pour des brûlis ultérieurs, ceci jusqu'à épuisement total de la banque de graines. Cette technique est cependant contraignante et ne remplace pas la détection et l'endiguement précoces des invasions par *A. mangium*.

### Mots clés :

*Acacia mangium*, espèces invasives, banque de graines, savanes, brûlis, Guyane française.

### Abstract :

The problem of invasive species is crucial in the context of the protection of biodiversity. The savannas of the coast of French Guiana form very fragmented but rich in biodiversity areas, mainly located in zones of agricultural and urban expansion. This fragmentation and the proximity to human activities makes them very vulnerable to biological invasions. A particular species, *Acacia mangium*, native from South-east Asia, has shown a very strong invasive tendency in Amazonian open ecosystems. Considered as problematic in French Guiana, its extension is however still sufficiently reduced to be contained. The aim of this study is to provide the basis for a simple and cheap fight against this species, by studying its seed bank and exhausting techniques (shallow tillage, slash-and-burn) against it. The autochorous dispersal mode of *A. mangium* seeds was confirmed, as well as the ability of slash-and-burn to stimulate seed germination. Thus, the logging of adult individuals prior to burning could lead to the germination of part of the soil seed bank. Then, tearing down the juveniles before they reach maturity (around one and a half year later) would supply fuel for subsequent slash-and-burn, until complete exhaustion of the seed bank is reached. However, this technique is difficult to perform on large areas and cannot replace early detection and containment of invasions by *A. mangium*.

### Keywords :

*Acacia mangium*, invasive species, seed bank, savannas, slash-and-burn, French Guiana.