



Restauration active d'une forêt sèche : Pointe Maa.

**Analyse statistique des données collectées
de 2006 à 2008.**



Rapport n° 1/2009



Restauration active d'une forêt sèche : Pointe Maa.

Analyse statistique des données collectées de 2006 à 2008.

Rapport de Recherche

Catherine Bajzak
Arnaud Le Goff
Anthony Pain

Octobre 2009

Convention Programme Forêt Sèche/IAC 2009
Volet 2 – Restauration active – Action 2.3.2c



RESUME DE RAPPORT

TITRE, N° ET DATE DU RAPPORT : Restauration active d'une forêt sèche : Pointe Maa.
Analyse statistique des données collectées de 2006 à 2008.

AUTEUR : Catherine Bajzak, Arnaud Le Goff, Anthony Pain

CONVENTION : Convention Programme Forêt Sèche/IAC 2009 Volet 2 – Restauration active –
Action 2.3.2c

La zone de pointe Maa disposant de reliquats de Forêt sèche et de milieux ouverts a été sélectionnée pour conduire des opérations pilotes de restauration forestière par le Programme Forêt Sèche.

Sur une parcelle expérimentale de 9 600 m² mise en défens, des plants de 12 espèces issus de pépinières ont été mis en terre en 2006, 2007 et 2008 et les tranches de plantation de 2006 et 2007 ont été suivies de 2006 à 2008. Ce travail constitue un premier point sur une action de restauration active qui devra se prolonger dans le temps. Il apparaît que certaines des espèces utilisées sont mieux adaptées ou plus robustes dans cette phase d'implantation *in situ* : *Phyllanthus deplanchei* présente très peu de mortalités, *Premna serratifolia* présente une bonne croissance et peu de mortalités, de même que *Croton insularis* ; *Arytera arcuata* et *Arthroclianthus emarginatus* ont une croissance rapide mais un taux de mortalité élevé. Certaines espèces présentent des résultats moins encourageants à la fois pour la croissance et la survie. C'est le cas par exemple de *Dysoxylum bijugum* dont le taux de mortalité est d'environ 90%. Par ailleurs, la nécessité de suivre les fluctuations météorologiques a été soulignée, afin que les périodes de sécheresse intense puissent être compensées par un arrosage et ne soient pas un handicap à l'implantation pérenne des plants.

REMERCIEMENT

Ce travail a été mis en place par Jacques Tassin et Céline Chambrey de l'Institut Agronomique Néo-Calédonien et du Programme de conservation des Forêts Sèches.

Nous tenons à les remercier pour l'élaboration du protocole *in situ* et le lancement des opérations.

Merci à René Guiglion, Alexandre Bouarat, Jean Paul Lataï, et les agents du CRES qui ont permis la collecte des informations sur le terrain.

Merci à METEOFRANCE pour la généreuse mise à disposition des données météorologiques.

Merci à Nicolas Barré pour la relecture du rapport.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	3
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION	7
METHODES.....	8
DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	8
ANALYSES STATISTIQUE	10
1) Analyse de la croissance.....	10
2) Analyse de la mortalité	11
3) Corrélation aux fluctuations météorologiques	11
RESULTATS	12
1) Analyse de la croissance.....	12
A. Croissance en hauteur.....	12
a. Tranche de plantation 1	12
b. Tranche de plantation 2	13
B. Croissance en diamètre.....	15
a. Tranche de plantation 1	15
b. Tranche de plantation 2	16
2) Analyse de la mortalité	19
a. Tranche de plantation 1	19
b. Tranche de plantation 2	22
3) Corrélation aux fluctuations météorologiques	24
CONCLUSION.....	28
REFERENCES	29
LISTE DES FIGURES	30
LISTE DES TABLEAUX.....	31

ANNEXES ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Annexe 1. 32

Annexe 2. 36

INTRODUCTION

Pointe Maa constitue une zone de forêt sèche tropicale comportant des formations végétales caractéristiques et endémiques de Nouvelle Calédonie. Face à la disparition préoccupante de cet écosystème sous la pression de l'homme et du cerf, un programme de conservation a été conduit. A pointe Maa, des reliques de forêt sèches associées à des milieux dégradés permettent d'envisager deux modalités de restauration : une **restauration passive** en milieu forestier basée sur la capacité naturelle de régénération des forêts et une **restauration active** par plantation permettant de reboiser les zones ouvertes.

La recolonisation végétale d'un milieu perturbé passe par différents stades de succession, caractérisés par différents assemblages d'espèces. La restauration écologique active (par plantation) d'un site de forêt sèche nécessite de tester préalablement des modalités de reconstitution du couvert forestier. Le site expérimental de la Pointe Maa vise à tester des modalités de **réinitialisation d'une succession secondaire** au sein d'une savane herbeuse en évaluant **la survie et la croissance** de différentes essences mises en terre au stade de jeune plant. Le présent rapport porte sur l'analyse statistique de données issues d'une parcelle expérimentale de plantation créée en 2006 et reboisée au cours des années suivantes et vise à identifier les espèces les mieux adaptées à la restauration active.

METHODES

Dispositif expérimental

(La fiche d'orientation pour le projet de restauration active à Point Maa se trouve en Annexe 1)

La parcelle de plantation de la Pointe Maa s'étend sur 9 600 m² en bordure d'une zone de reconquête naturelle de la forêt sèche au sein de la savane herbeuse (figure 1). Elle a été mise en défens des cerfs par une clôture. 15 espèces appartenant à 3 stades de succession ont été introduites au cours de 3 tranches de plantation : en avril 2006 (Tranche 1), avril 2007 (Tranche 2) et avril 2008 (Tranche 3) (tableau 1). Les plants, en nombre variable selon les espèces (tableau 1), ont été répartis de manière régulière (2m/2m) et aléatoire sur l'ensemble de la parcelle. La parcelle étant exposée aux alizés desséchants, sur sol drainant et en pente, il a été rajouté à la plantation pour chaque plant 200 gr d'hydro-rétenteurs (saturés d'eau) en plus des 100 gr d'engrais de fond (0-6-12 +10 SO₃). Le tout mélangé de façon homogène à la terre du trou (30 X 30 X 30cm) et complété par 100 gr d'engrais de surface (mélange organique). La parcelle a été arrosée (8L par pied) à la plantation puis 2 à 3 fois par saison sèche (en septembre-décembre) selon les besoins. Les adventices se composent quasi exclusivement de la graminée *Aristida* sp., peu agressive (sa hauteur maximale est de 30 cm) et la liane *Passiflora suberosa*. Les plants ont été débroussés et déliés 3 à 4 fois par an, selon les besoins.

Les relevés ont été effectués en juin 2006, janvier 2007, novembre 2007, mars 2008 et mars 2009. Ainsi les individus plantés lors de la première tranche (T_0 =avril 2006) ont été suivis à T_0+2 mois (juin 2006), T_0+9 mois (janvier 2007), T_0+19 mois (novembre 2007), T_0+23 (mars 2008) et T_0+35 mois (mars 2009). Ceux plantés lors de la deuxième tranche (T_0 =avril 2007) ont été suivis à T_0+7 mois (novembre 2007), T_0+11 mois (mars 2008) et T_0+23 mois (mars 2009) et ceux plantés lors de la troisième tranche (T_0 =avril 2008) ont été suivis après T_0+11 mois (mars 2009).

A chaque relevé, la survie et la croissance des différentes espèces ont été mesurées : l'état sanitaire (mort/vivant) de chaque individu a été contrôlé et la hauteur (au bourgeon terminal) et le diamètre (au collet) ont été mesurés sur 10% des représentants de chaque espèce.

Les analyses présentées dans ce rapport ont pour objectifs de mettre en évidence la croissance et la survie des différentes espèces afin de déterminer celles qui seraient le plus aptes à être utilisées dans des chantiers de restauration écologique.

Figure 1. Position de la parcelle mise en place en 2006 sur la presque île Pointe Maa.



Tableau 1. Effectifs des différentes espèces suivies pour la croissance ou la survie par tranche de plantation

Espèces	Stade de succession estimé	N (croissance) Tranche1	N (survie) Tranche1	N (croissance) Tranche2	N (survie) Tranche2	N (survie) Tranche3
<i>Arthroclianthus emarginatus</i>	2	6	200	11	141	-
<i>Arytera arcuata</i>	2	11	125	-	26	-
<i>Diospyros fasciculosa</i>	1	-	30	-	17	-
<i>Dysoxylum bijugum</i>	3	5	125	-	76	-
<i>Emmenosperma pancherianum</i>	2	14	200	-	33	87
<i>Fontainea pancheri</i>	1	8	220	8	98	-
<i>Ochrosia inventorum</i>	3	14	150	-	61	-
<i>Phyllanthus deplanchei</i>	1	11	168	6	6	-
<i>Planchonella cinerea</i>	3	9	100	5	93	-
<i>Premna serratifolia</i>	2	-	20	9	79	-
<i>Croton insularis</i>	1	-	-	16	180	-
<i>Cupaniopsis trigonicarpa</i>	3	-	-	5	81	-
<i>Halfordia kendac</i>	1	-	-	11	174	-
<i>Arytera chartacea</i>	3	-	-	-	-	18
<i>Elatostachys apetala</i>	3	-	-	-	-	504

ANALYSES STATISTIQUE

Les analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel SAS 9.0 (SAS institute).

1) Analyse de la croissance

Chaque individu (plant) a été considéré comme une unité expérimentale. Aussi, pour tenir compte de l'autocorrélation temporelle des observations (chaque plant étant mesuré plusieurs fois au cours du suivi), la variation en hauteur et en diamètre pour chaque espèce au cours des différents relevés a été analysée au moyen de modèles d'analyse de variance à mesures répétées (procédure GLM avec la variable « temps » écoulé depuis la date de plantation placé dans l'énoncé REPEATED (annexes 1 et 2). Les variables dépendantes « hauteur » et « diamètre » ont été placées dans des modèles distincts avec pour variables explicatives (indépendantes) : « espèce » et « temps » écoulé depuis la date de plantation ainsi que l'interaction « espèce » x « temps ». Chaque lot de plantation (tranche) a été analysé dans un modèle différent donnant lieu au final à la construction de 4 modèles. Une matrice de covariance des erreurs non structurée a été retenue selon les recommandations de Quinn & Keough (2002) et la nature des données (intervalles de temps irréguliers). La hauteur et le diamètre au premier relevé (juin 2006 pour les individus de la tranche 1 et novembre 2007 pour les individus de la tranche 2, la hauteur et le diamètre à la date de plantation n'étant pas disponible) ont été introduits comme covariables dans les modèles correspondants afin d'enlever la variabilité liée aux différences de taille et de diamètre entre les espèces au début du suivi. Cette méthode a été démontrée comme plus appropriée pour les études de la croissance que l'utilisation de ratio (taille finale/taille initiale) (Serrano, Alpizar-Jara et al. 2008).

Enfin des tests de comparaisons multiples (Plus Petite Différence Significative ou LSD (Least Significant Difference) ont été effectués pour chaque espèce afin de comparer la hauteur et le diamètre entre chaque relevé pris 2 à 2.

Les postulats de normalité et d'homogénéité ont été vérifiés et une transformation de rang (équivalant à un test non-paramétrique) a été effectuée sur les deux variables « hauteur » et « diamètre » afin de corriger pour le problème de non-normalité et d'hétérogénéité des variances de ces variables.

2) Analyse de la mortalité

Étant donnés les effectifs très déséquilibrés entre les différentes espèces et les tranches de plantation, et les intervalles de temps irréguliers entre les relevés, il n'a pas été possible de contrôler pour d'autres sources de variation que l'espèce. Par conséquent, la mortalité des plants des différentes espèces a été comparée directement par le calcul des taux de mortalité par espèce, lors de chaque relevé et entre le premier et le dernier relevé (taux de mortalité totale).

3) Corrélation aux fluctuations météorologiques

Les données météorologiques sur la période d'étude ont été suivies afin d'observer et d'expliquer d'éventuelles anomalies dans la croissance ou la mortalité des plants. Il s'agit des données METEOFRACTANCE . Les données de pluviométrie sur pointe Maa étant incomplètes (2008-2009 manquantes), le suivi météorologique à été effectué à partir des données METEOFRACTANCE (2007 2008 2009 en cours) de la station de Port Laguerre. Il s'agit de la station la plus proche pour laquelle, lorsque les données sont disponibles, les variations de pluviométrie suivent fidèlement celles de Pointe Maa

RESULTATS

1) Analyse de la croissance

A. Croissance en hauteur

a. Tranche de plantation 1

Pour les individus plantés en avril 2006, l'analyse de la variance a mis en évidence une variation significative de la hauteur entre les différents relevés, dépendamment des espèces (l'interaction « espèces » x « temps » étant significative ($F_{27,69}=6.23$; $P<0.0001$).

L'analyse de variance conditionnelle obtenue grâce à l'énoncé SLICE (annexe 1) a fait ressortir une augmentation significative en hauteur pour 7 des 8 espèces de la première tranche de plantation, *Dysoxylum bijugum* ne montrant aucune différence significative dans la hauteur entre les différents relevés ($P>0.05$; Tableau 2).

Tableau 2. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur la hauteur moyenne pour chaque espèce de la première tranche de plantation.

Espèces	$F_{(4,69)}$	P
<i>Arthroclianthus emarginatus</i>	13.81	<0.0001
<i>Arytera arcuata</i>	75.07	<0.0001
<i>Dysoxylum bijugum</i>	0.42	0.74
<i>Emmenosperma pancherianum</i>	73.83	<0.0001
<i>Fontainea pancheri</i>	34.73	<0.0001
<i>Ochrosia inventorum</i>	26.59	<0.0001
<i>Phyllanthus deplanchei</i>	13.62	<0.0001
<i>Planchonella cinerea</i>	20.21	<0.0001

Remarque: $F_{3,69}$ pour *Dysoxylum bijugum* qui n'a été suivi que 4 fois, tous les individus étant morts entre mars 2008 et 2009

Arytera arcuata est la seule espèce présentant une augmentation significative en hauteur dès le premier relevé (juin 2006, T_0+2 mois) jusqu'au dernier relevé (mars 2009, T_0+35 mois) (figure 2). La plupart des espèces n'ont commencé à croître significativement en hauteur qu'à partir du deuxième relevé (janvier 2007, T_0+9 mois ; *Arthroclianthus emarginatus*, *Emmenosperma pancherianum*, *Fontainea pancheri*, *Ochrosia inventorum*) ou du troisième relevé (Novembre 2007, T_0+19 mois ; *Planchonella cinerea* ; figure 2).

Certaines espèces n'ont pas montré d'augmentation significative en hauteur la dernière année du suivi (entre mars 2008 (T_0+23 mois) et mars 2009 (T_0+35 mois)) telles que *Arthroclianthus emarginatus*, *Ochrosia inventorium*, *Phyllanthus deplanchei* (figure 2).

b. Tranche de plantation 2

L'analyse de la variance a mis en évidence une différence significative de la hauteur des plants entre les différents relevés pour les individus plantés en avril 2007, dépendamment des espèces (l'interaction « espèces » x « temps » étant significative ($F_{14,62}=2.38$; $P=0.01$)).

L'analyse de variance conditionnelle a fait ressortir une augmentation significative en hauteur au cours du suivi pour 7 des 8 espèces plantées lors de la deuxième tranche, *Phyllanthus bijugum* ne montrant cette fois aucune différence significative dans la hauteur entre les différents relevés ($P>0.05$; Tableau 3).

Tableau 3. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2007) sur la hauteur moyenne pour chaque espèce de la deuxième tranche de plantation.

Espèces	$F_{(2,62)}$	P
<i>Arthroclianthus emarginatus</i>	25.08	<0.0001
<i>Cupaniopsis trigonicarpa</i>	8.06	0.0008
<i>Croton insularis</i>	42.08	<0.0001
<i>Fontainea pancheri</i>	20.20	<0.0001
<i>Halfordia kendac</i>	13.20	<0.0001
<i>Phyllanthus deplanchei</i>	2.24	0.11
<i>Planchonella cinerea</i>	9.00	0.0004
<i>Premna serratifolia</i>	11.82	<0.0001

La majorité des espèces ont montré une augmentation significative en hauteur dès le premier relevé (novembre 2007, T_0+7 mois) jusqu'au dernier relevé en mars 2009 (T_0+23 mois) (*Arthroclianthus emarginatus*, *Croton insularis*, *Fontainea pancheri*, *Halfordia kendac* et *Planchonella cinerea*). *Cupaniopsis trigonicarpa* n'a pas montré d'augmentation significative en hauteur les 23 premiers mois et *Premna serratifolia*, la dernière année de suivi (entre mars 2008 et mars 2009).

Figure 2. Hauteur moyenne des plants des différentes espèces en fonction des différentes dates de relevé. Les points noirs avec un trait continu représentent les hauteurs moyennes des individus de la tranche 1 et les points blancs avec un trait en pointillé représentent les hauteurs moyennes des individus de la tranche 2. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs (tous les individus suivis pour la croissance ayant survécu, les effectifs sont restés les mêmes entre les différents relevés sauf pour *Dysoxylum bijugum* dont tous les individus sont morts après mars 2008). Les points avec la même lettre ne diffèrent pas significativement ($p>0.05$). Les lettres et chiffres en caractères gras décrivent les individus de la tranche 1 et ceux en caractères fins, les individus de la tranche 2.

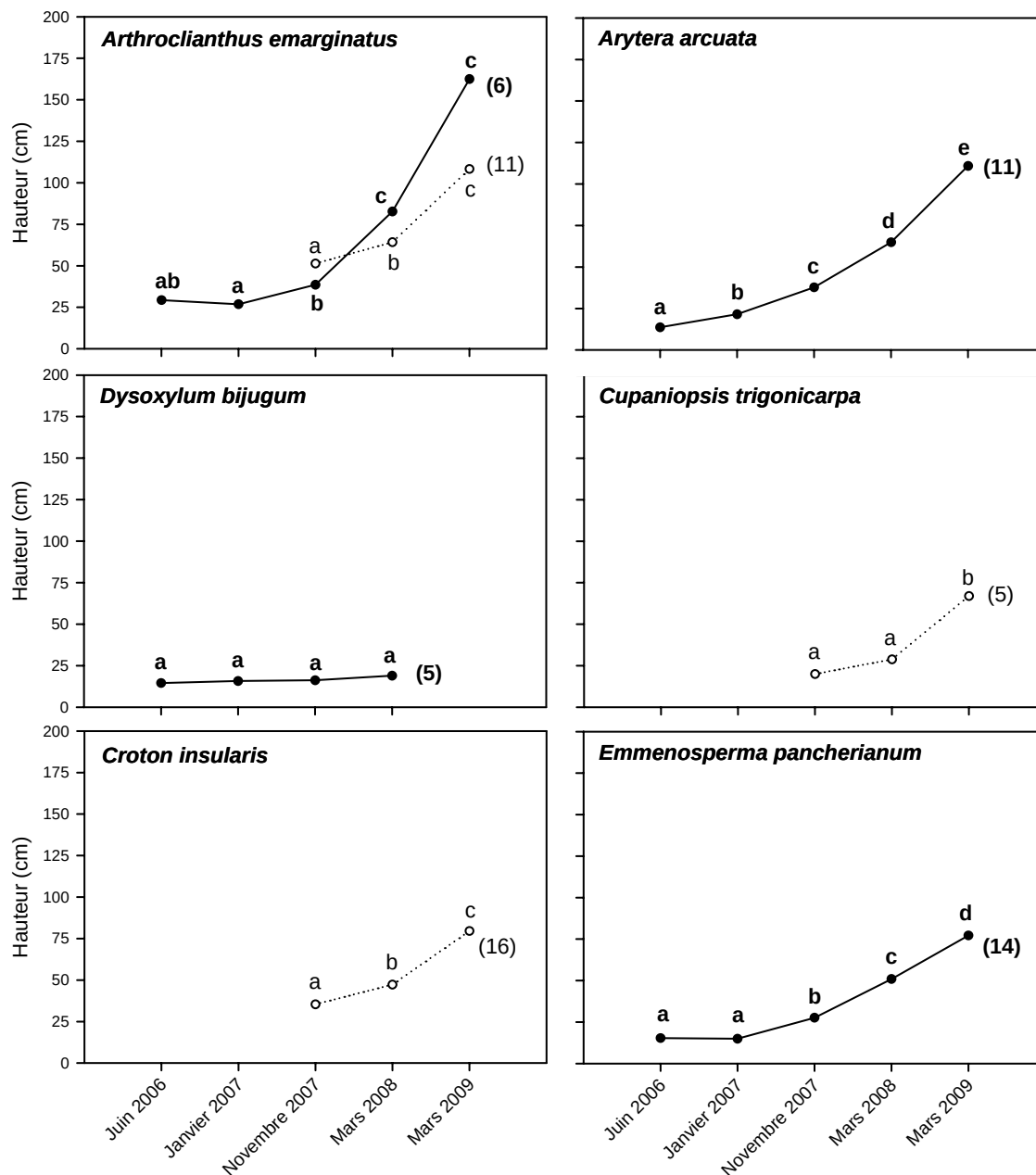
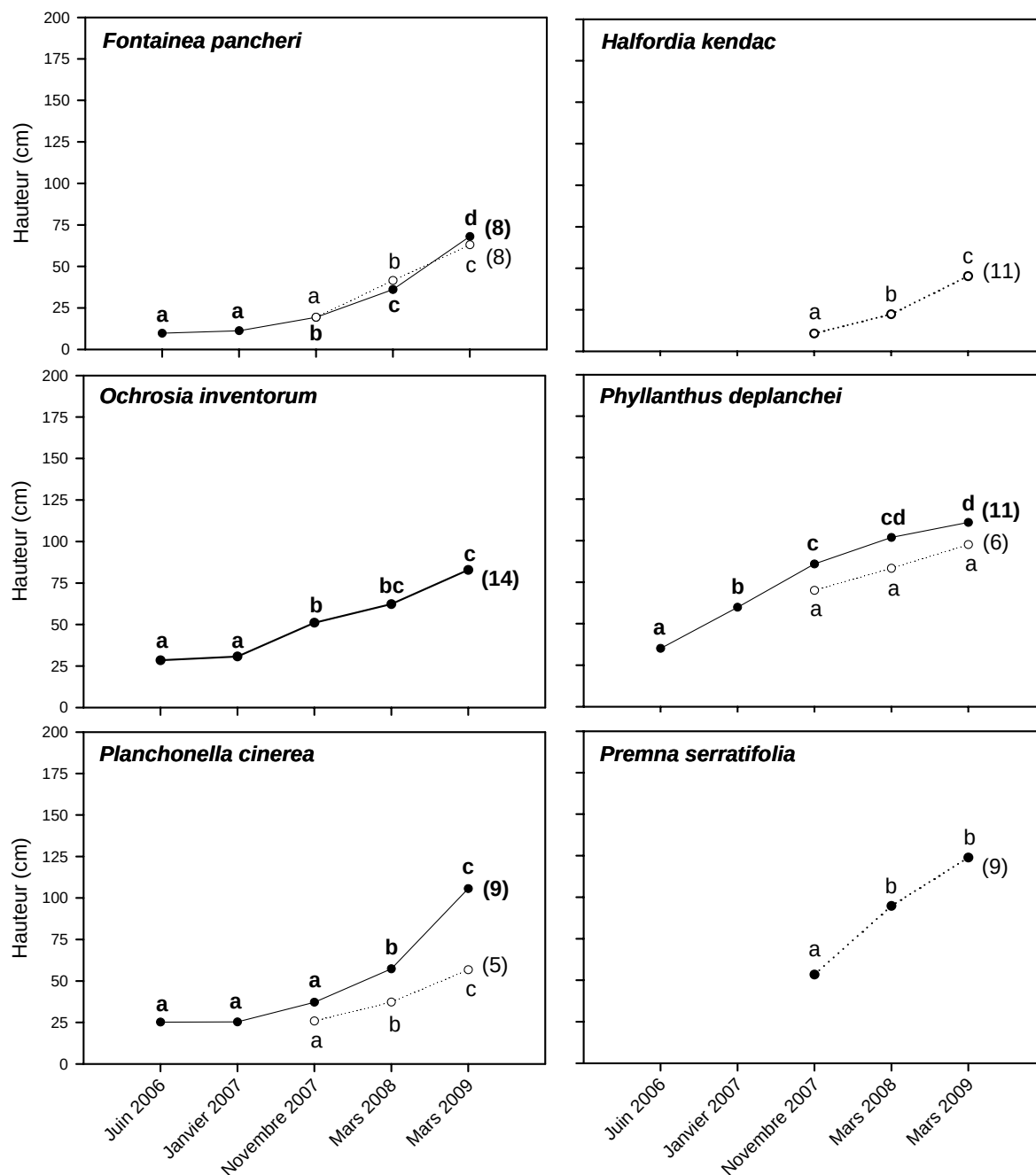


Figure 2. (suite)



B. Croissance en diamètre

a. *Tranche de plantation 1*

L'analyse de la variance a mis en évidence une différence significative du diamètre entre les différents relevés chez les plants de la première tranche, pour toutes les espèces (tableau 4). Cependant la significativité varie en fonction des espèces (l'interaction « espèces » x « temps » étant significative ($F_{27,69}=2.53$; $P=0.001$)).

Tableau 4. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur le diamètre moyen pour chaque espèce de la première tranche de plantation.

Espèces	F	P
<i>Arthroclianthus emarginatus</i>	21.99	<0.0001
<i>Arytera arcuata</i>	42.21	<0.0001
<i>Dysoxylum bijugum</i>	6.32	0.0008
<i>Emmenosperma pancherianum</i>	68.32	<0.0001
<i>Fontainea pancheri</i>	15.67	<0.0001
<i>Ochrosia inventorum</i>	53.89	<0.0001
<i>Phyllanthus deplanchei</i>	24.44	<0.0001
<i>Planchonella cinerea</i>	18.1	<0.0001

Certaines espèces ont montré une augmentation significative dès le premier relevé (juin 2006, T₀+2 mois) telles qu'*Arytera arcuata*, *Dysoxylum bijugum*, *Ochrosia inventorum* et *Phyllanthus deplanchei*. Les autres espèces, *Arthroclianthus emarginatus*, *Emmenosperma pancherianum*, *Fontainea pancheri* et *Planchonella cinerea*, n'ont présenté une croissance significative en diamètre qu'à partir du deuxième relevé (janvier 2007, T₀+9 mois) (figure 3).

b. Tranche de plantation 2

Pour les individus de la deuxième tranche de plantation, l'analyse de la variance a démontré une différence significative du diamètre entre les différents relevés chez 7 des 8 espèces, *Cupaniopsis trigocarpa* ne montrant pas de différences significatives en diamètre entre les différents relevés (tableau 5). La significativité entre les dates de relevés varie en fonction des espèces, l'interaction « espèces » x « temps » étant significative (F_{14,62}=2.49 ; P=0.007).

Certaines espèces telles qu'*Arthroclianthus emarginatus*, *Croton insularis*, *Phyllanthus deplanchei* et *Premna serratifolia* ont montré une croissance significative en diamètre lors des 3 relevés (figure 3). D'autres espèces n'ont montré de croissance significative en diamètre qu'à partir du deuxième relevé (mars 2008, T₀+11mois) telles que *Fontainea pancheri*, *Halfordia kendac* et *Planchonella cinerea* (figure 3). *Phyllanthus deplanchei* n'a pas montré de croissance significative en diamètre lors de la dernière année du suivi (entre mars 2008 et mars 2009, figure 3).

Tableau 5. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur le diamètre moyen pour chaque espèce de la première tranche de plantation.

Espèces	F	P
<i>Arthroclianthus emarginatus</i>	30.11	<0.0001
<i>Cupaniopsis trigonocarpa</i>	1.24	0.30
<i>Croton insularis</i>	47.72	<0.0001
<i>Fontainea pancheri</i>	4.14	0.02
<i>Halfordia kendac</i>	13.51	<0.0001
<i>Phyllanthus deplanchei</i>	6.01	0.004
<i>Planchonella cinerea</i>	9.20	0.0003
<i>Premna serratifolia</i>	18.62	<0.0001

Figure 3. Diamètre au collet moyen des plants des différentes espèces en fonction des différentes dates de relevé (en mm). Les points noirs avec un trait continu représentent les hauteurs moyennes des individus de la tranche 1 et les points blancs avec un trait en pointillé représentent les hauteurs moyennes des individus de la tranche 2. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs (tous les individus suivis pour la croissance ayant survécu, les effectifs sont restés les mêmes entre les différents relevés sauf pour *Dysoxylum bijugum* dont tous les individus sont morts après mars 2008). Les points avec la même lettre ne diffèrent pas significativement ($p>0.05$). Les lettres et chiffres en caractères gras décrivent les individus de la tranche 1 et ceux en caractères fins, les individus de la tranche 2.

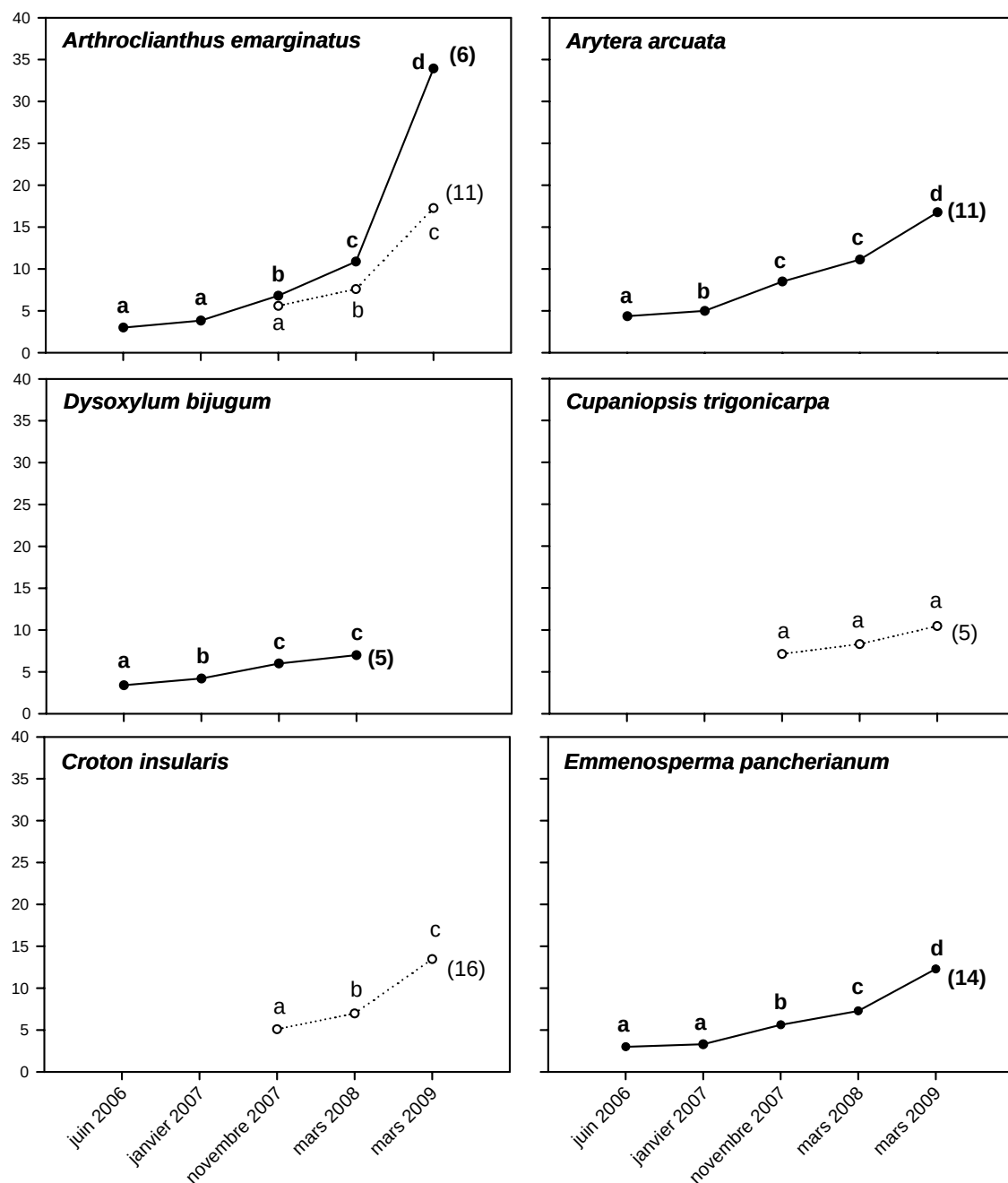
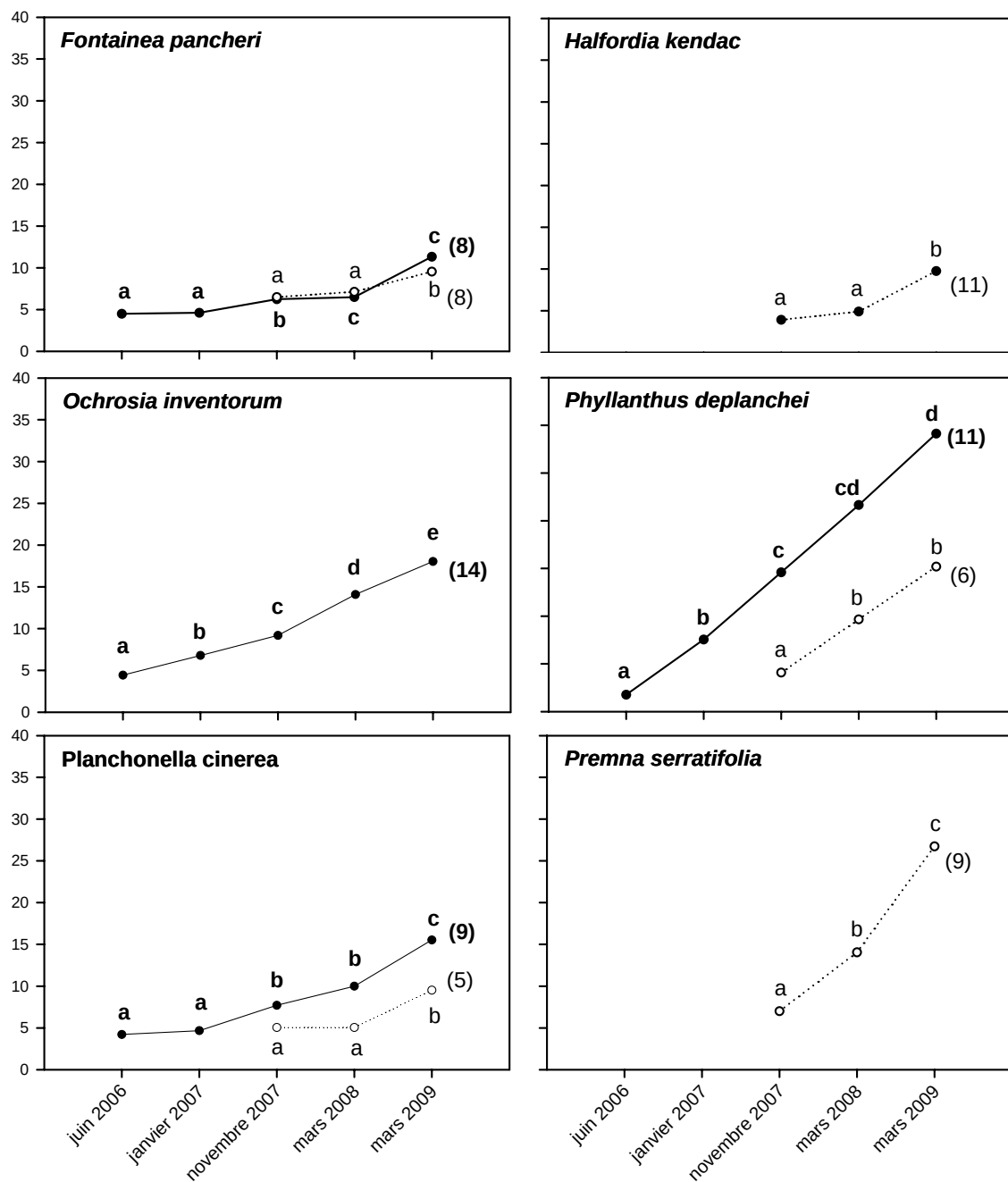


Figure 3. (suite)



2) Analyse de la mortalité

a. Tranche de plantation 1

Dysoxylum bijugum est l'espèce présentant le taux de mortalité totale le plus élevé, 95 % des 125 individus plantés en avril 2006 étant contrôlés morts en mars 2009 (figure 4).

4 autres espèces ont perdu plus de 50% de leurs effectifs de la plantation jusqu'au dernier suivi : *Arthroclianthus emarginatus* (200 individus plantés), *Diospyros fasciculosa* (30

individus plantés), *Fontainea pancheri* (220 individus plantés) et *Planchonella cinerea* (100 individus plantés) avec un taux de mortalité respectif de 82%, 77%, 73% et 69% (figure 4).

Le taux de mortalité le plus faible est observé chez *Phyllanthus deplanchei* avec une mortalité de seulement 5% des 168 individus plantés, suivi par *Premna serratifolia*, avec une mortalité de 16% des 50 individus plantés (figure 4).

Chez la grande majorité des espèces, le taux de mortalité le plus élevé est entre le relevé de janvier 2007 (T₀+9mois) et mars 2008 (T₀+19mois) (figure 5). **Figure 4.** Taux de mortalité totale par espèce pour le lot de plantation de la tranche 1. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs initiaux (en avril 2006)

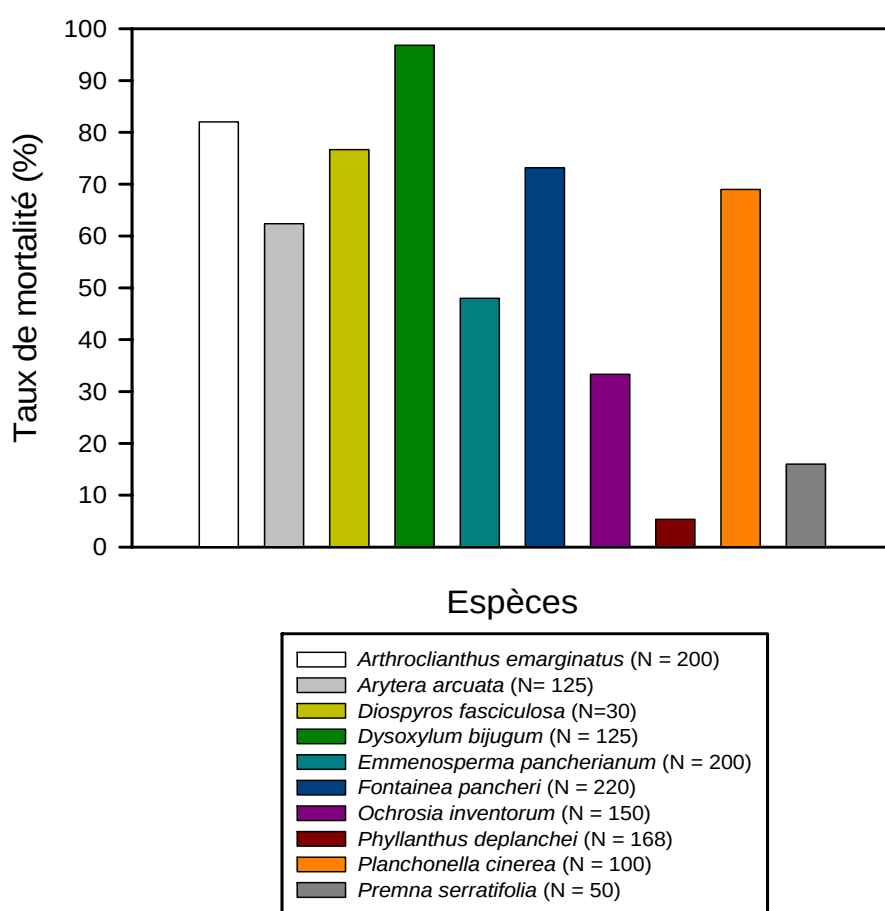
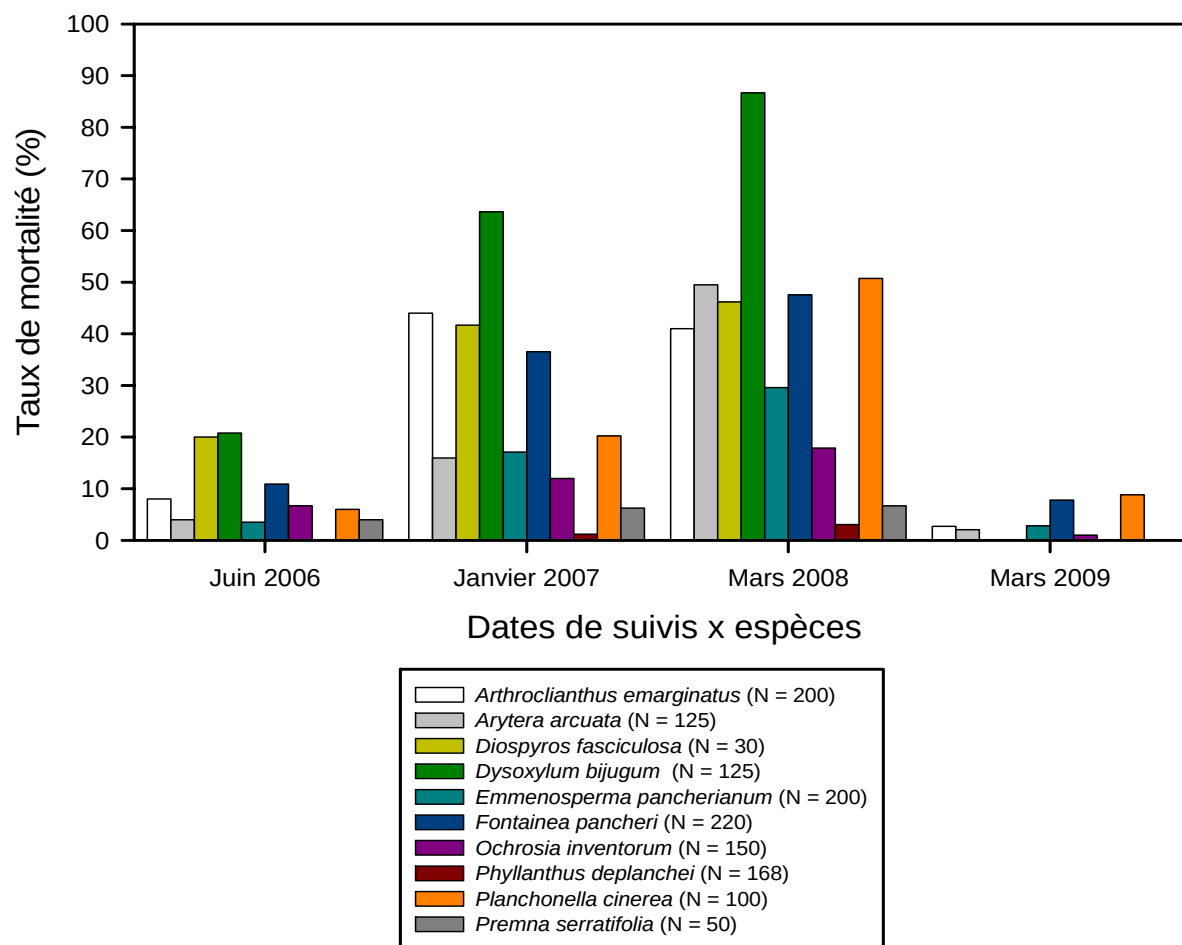


Figure 5. Taux de mortalité par espèce au cours des différents relevés pour le lot de plantation de la tranche 1. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs initiaux (en avril 2006)



b. Tranche de plantation 2

Comme pour la tranche de plantation 1, *Dysoxylum bijugum* est l'espèce présentant le taux de mortalité totale le plus élevé, 88 % des 76 individus plantés en avril 2007 étant morts en mars 2009 (figure 6) suivi par *Planchonella cinerea* avec 47% des 93 individus plantés en avril 2007 morts en mars 2009 (figure 6).

Le taux de mortalité le plus faible est observé chez *Phyllanthus deplanchei* avec aucune mortalité parmi les 6 individus plantés, suivi par *Premna serratifolia*, avec une mortalité de 4% des 79 individus plantés (figure 4).

Le taux de mortalité le plus élevé est observé chez la majorité des espèces entre le relevé d'avril 2007 et mars 2008 (T_0+11 mois ; figure 5).

Figure 6. Taux de mortalité totale par espèce pour le lot de plantation de la tranche 2. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs initiaux (en avril 2007)

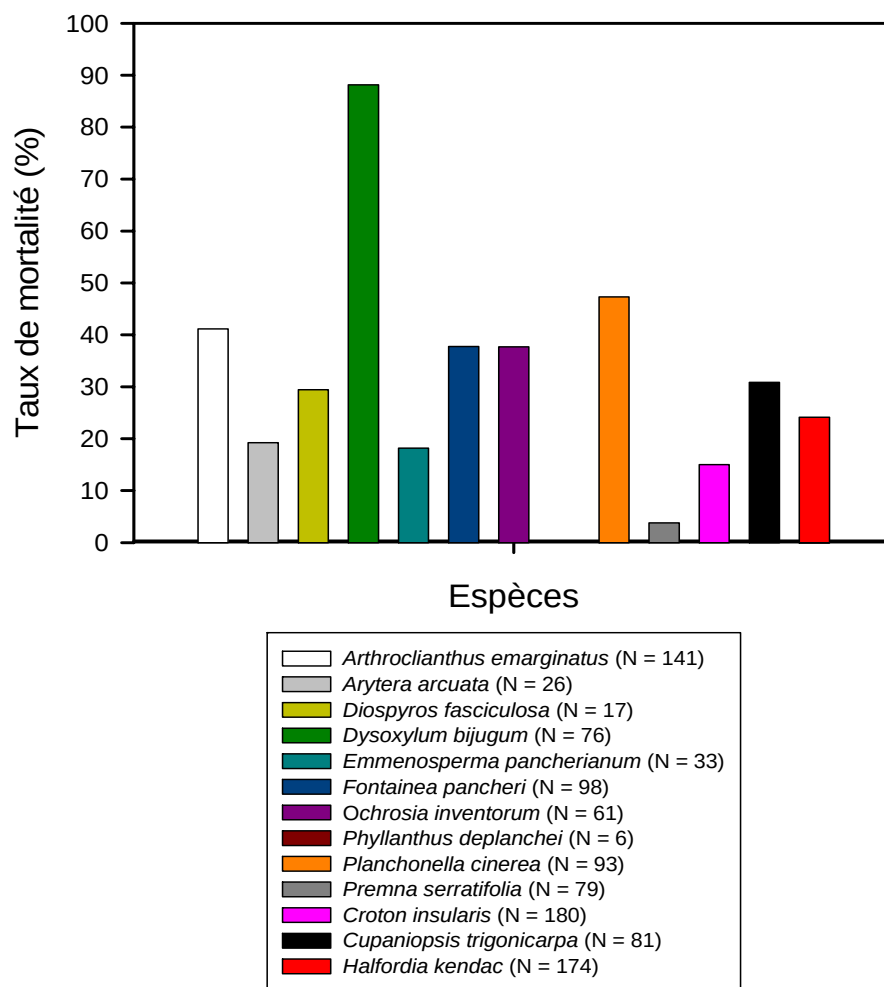
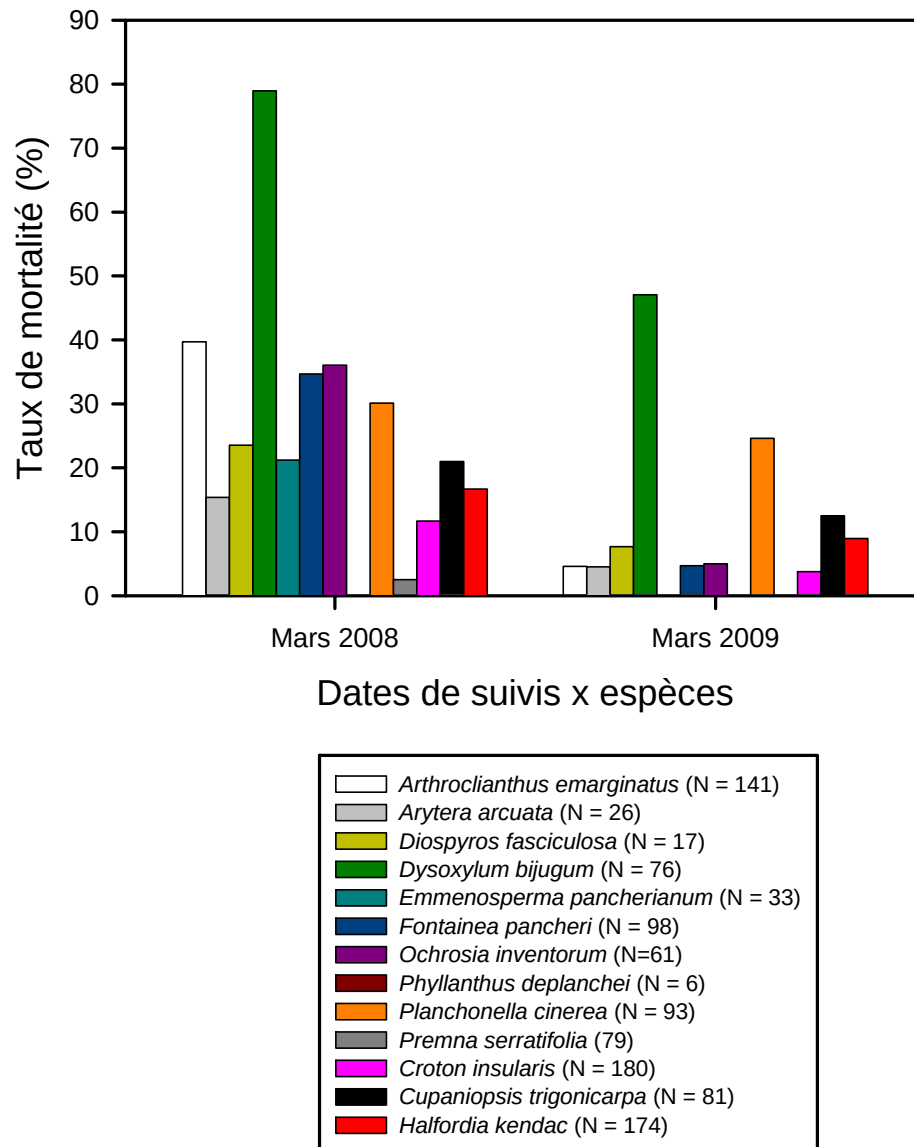


Figure 7. Taux de mortalité par espèce au cours des différents relevés pour le lot de plantation de la tranche 2. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux effectifs initiaux (en avril 2007)



3) Corrélation aux fluctuations météorologiques

La station de Port Laguerre est la station la plus proche pour laquelle, lorsque les données sont disponibles, les variations de pluviométrie suivent celles de Pointe Maa (figure 8).

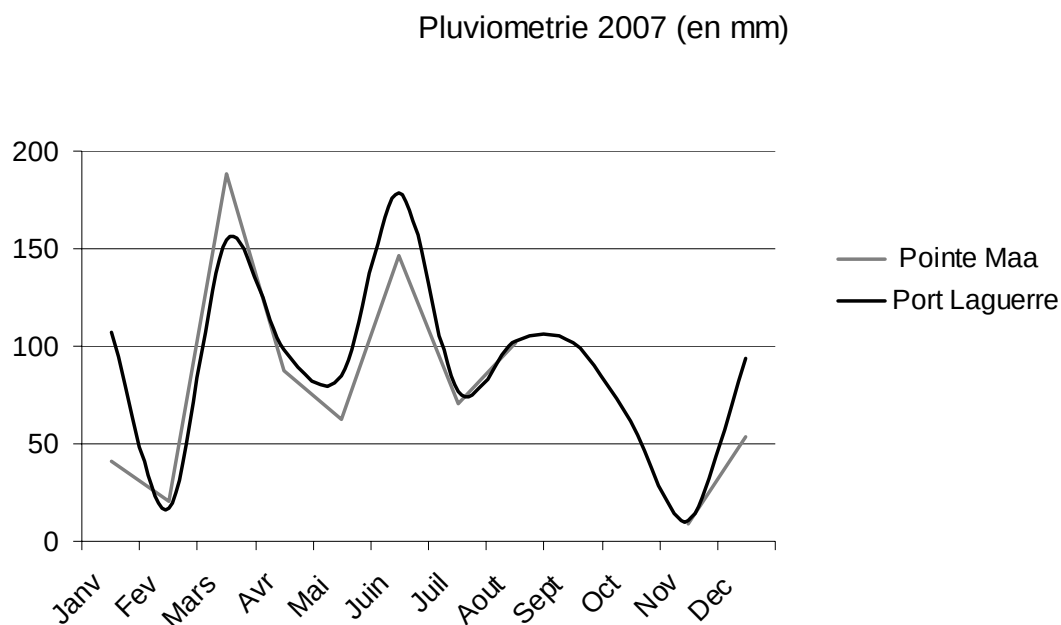


Figure 8. Pluviométrie mensuelle sur les stations de Point Maa et Port Laguerre en 2007.

Chez la majorité des espèces de la tranche 1 comme de la tranche 2, le plus fort épisode de mortalité est sur l'année 2007. Cet épisode de mortalité pourrait être rapproché des conditions météorologiques particulières à cette année.

L'année 2007 a été une année relativement sèche par rapport à 2008 et 2009 avec respectivement 37% et 40% de précipitations en moins sur l'année. (1088mm sont tombés en 2007 et 1733mm en 2008. 820mm sont tombés entre Janvier et Août 2008 et 1333 entre Janvier et Août 2009.) Ces résultats traduisent des précipitations particulièrement faibles pour la saison des pluies entre Janvier et Mars, avec un pic anormal de sécheresse en Février (17 mm en 2007 contre 306 et 300 en 2008 et 2009 respectivement) suivi d'un second pic sec en Novembre 2007 (10mm en 2007 contre 175 mm en 2008) (Figure 9).

Pluviométrie sur Port Laguerre (en mm)

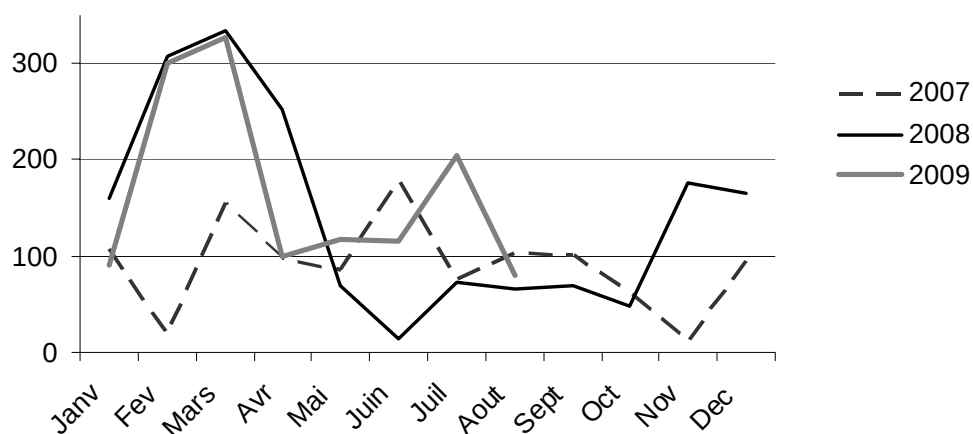


Figure 9. Pluviométrie mensuelle sur la station de Port Laguerre sur 3 ans.

L'absence de saison des pluies début 2007 et le second pic de sécheresse en Novembre a très probablement pu entraîner un stress hydrique suivi d'un épisode de mortalité plus important sur les plants.

4) Synthèse des résultats

Douze espèces ont été l'objet de plantation. Plusieurs d'entre elles présentent un potentiel intéressant pour la reforestation. *Phyllanthus deplanchei* présente très peu de mortalités, *Premna serratifolia* présente une bonne croissance et peu de mortalités, de même que *Croton insularis* ; *Arytera arcuata* et *Arthroclianthus emarginatus* ont une croissance rapide mais un taux de mortalité élevé. Ces résultats sont synthétisés dans le tableau 6. Notons toutefois que cette étude ne porte que sur 3 années, ce qui à l'échelle de la régénération forestière est très faible. Ces résultats ne prédisposent donc en rien de la capacité des espèces à s'implanter de façon pérennes pour établir un couvert forestier après plusieurs décennies, dans des conditions écologiques qui peuvent être différentes. Et il serait dommage de se limiter à planter quelques espèces estimées plus compétitives et de passer à côté d'espèce à croissance plus lente mais pas pour autant moins intéressante. Par exemple les mauvais résultats de *Dysoxylum bijugum* (un taux de mortalité autour de 90% et pas de croissance significative de hauteur pour les survivants) n'entravent pas le fait que les pieds survivants puissent croître et s'implanter durablement dans un ilot forestier sur une échelle de temps approprié. Enfin il faut noter que certaines espèces telles que *Arthroclianthus*

emarginatus ont une croissance rapide mais présentent en contre partie une mortalité importante. Les résultats obtenus ne préjugent pas non plus de la capacité du milieu et des quelques espèces qui y ont réussi leur installation à réinitialiser des successions écologiques aboutissant à un milieu diversifié. Il faudrait pour l'évaluer continuer à suivre l'évolution des parcelles plantées et voir dans quelle mesure les quelques essences qui ont réussi l'implantation assurent un milieu favorable à la venue et au développement d'autres espèces.

Tableau 6 : Recapitulatif des caractéristiques spécifiques.

En vert les espèces présentant les meilleurs résultats, en rouge les moins bon résultat, en jaune Arthroclianthus présentant une forte mortalité mais une forte croissance . Les données ont été collectées à partir d'une lecture graphique, les valeurs sont donc arrondies.

	MORTALITE		HAUTEUR				VITESSE				SCORE		DIAMETRE				VITESSE				SCORE	
	T1 (%)	T2 (%)	Croissance		Taille*(cm)		démarrage **		régularité ***		T1 /10	T2/6	Croissance		Taille*(mm)		démarrage **		régularité ***		T1 /10	T2/6
			T1	T2	T1	T2	T1 x/5	T2 x/3	T1 x/5	T2 x/3			T1	T2	T1	T2	T1 x/5	T2 x/3	T1 x/5	T2 x/3		
Arytera arcuata	60	20	oui		100		5		5		10		oui		10		5		4		9	
Phylanthus deplanchei	10		oui	non	70	15	5	1	4	1	9	2	oui	oui	32	15	5	3	4	2	9	
Arthroclianthus emarginatus	80	40	oui	oui	150	50	4	3	3	3	7	6	oui	oui	32	12	4	3	4	3	8	
Emmenosperma pancherianum	50	15	oui		60		4		4		8		oui		10		4		4		8	
Fontainea pancheri	70	35	oui	oui	60	35	4	3	4	3	8	6	oui	oui	6	3	4	2	3	2	7	
Ochrosia inventorum	30	40	oui		50		4		3		7		oui		15		5		5		10	
Planchonella cinerea	70	50	oui	oui	75	25	2	3	3	3	5	6	oui	oui	10	5	4	2	3	2	7	
Dysoxylum bijugum	95	90	non		5		1		1		2		oui		5		4/4		3/4		7/8	
Cuaniopsis trigonicarpa		30		oui		25		2		2		4		non		5		1		1		
Croton insularis		10		oui		50		3		3		6		oui		7		3		3		
Halfordia kendac		20		oui		25		3		3		6		oui		5		2		2		
Premna serratifolia		5		oui		125		3		2		5		oui		20		3		3		

T1 tranche 1 (planté en 2006) avec 5 relevés de mesures.

T2 tranche 2 (planté en 2007) avec 3 relevés de mesures.

*** Taille moyenne des plantules prises sur l'ensemble de la durée du suivi.**

****Démarrage de la croissance : Score en nombre à rebour de relevés nécessaires avant la première différence significative de taille (EX sur 5 mesures : croissance entre la première et la seconde mesure score égale 5/5, croissance entre la seconde et la troisième mesure score =4/5 ... si il n'y a pas de croissance le score minimal est de 1/5).**

***** régularité de la croissance : Score en nombre de tailles différentes observées**

CONCLUSION

Les analyses présentées dans ce rapport avaient pour objectifs de caractériser la croissance et la survie de différentes espèces appartenant à différents stade de succession.

En termes de survie, les espèces les plus performantes sont *Phyllanthus deplanchei* et *Premna serratifolia* appartenant respectivement aux stades de succession 1 et 2 et présentant un taux de mortalité respectif de 5% et 16% pour les individus de la première tranche de plantation et 0% et 4% pour les individus de la deuxième tranche de plantation. Ces deux espèces ont montré une augmentation significative en hauteur et en diamètre avec toutefois un ralentissement de la croissance en hauteur aux deux derniers relevés (mars 2008 et mars 2009) que ce soit pour les individus de la tranche 1 ou 2.

En termes de croissance en hauteur et en diamètre, l'espèce la plus performante (c'est-à-dire celle présentant une croissance continue sur l'ensemble des relevés) pour la première tranche de plantation est *Arytera arcuata* (stade de succession 2) avec une croissance totale en hauteur de 97 cm et de 12 cm en diamètre. Pour la deuxième tranche de plantation, les espèces les plus performantes sont *Arthroclianthus emarginatus* (stade de succession 2), avec une croissance totale en hauteur de 57 cm et de 12 cm en diamètre et *Croton insularis* (stade de succession 1) avec une croissance totale en hauteur de 44 cm et de 8 cm en diamètre. Cependant, *Arytera arcuata* et *Arthroclianthus emarginatus* ont présenté un taux de mortalité totale élevé de respectivement 62% et 41%.

Il en ressort que les espèces *Phyllanthus deplanchei*, *Premna serratifolia*, *Croton insularis* et *Arytera arcuata* présentent un potentiel intéressant pour des chantiers de reforestation dans la mesure où elles ont réussi leur implantation et débuté leur croissance. Toutefois, il serait intéressant de savoir dans quelle mesure ces espèces une fois établies seront propices à réinitialiser des successions écologiques viables sans nécessiter à long terme une assistance humaine. Pour cela un suivi des arrivées naturelles de nouvelles espèces de forêt sèche au sein des parcelles plantées pourrait être entrepris au cours des prochaines saisons. Un griffage superficiel du sol pourrait d'ailleurs favoriser ces recrues naturelles.

Par ailleurs, le suivi à posteriori de la pluviométrie révèle un possible lien entre des épisodes de mortalité des plants plus importants et des passages de sécheresse prolongés. Il serait donc judicieux de suivre la pluviométrie de façon régulière pour pouvoir si besoin prendre des mesures visant à limiter les stress hydriques trop important et prévenir les risques de mortalité des plants quelle que soit l'espèce.

RÉFÉRENCES

Quinn, G. P. and M. J. Keough (2002). Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Serrano, E., R. Alpizar-Jara, et al. (2008). "A half a century of measuring ungulate body condition using indices: Is it time for a change?" European Journal of Wildlife Research 54(4): 675-680.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. *Position de la parcelle mise en place en 2006 sur la presque île Pointe Maa*
(page 4)

Figure 2. *Hauteur moyenne des plants des différentes espèces en fonction des différentes dates de relevé* (page 9 et 10)

Figure 3. *Diamètre au collet moyen des plants des différentes espèces en fonction des différentes dates de relevé* (page 13 et 14)

Figure 4. *Taux de mortalité totale par espèce pour le lot de plantation de la tranche 1 (avril 2006)* (page 16)

Figure 5. *Taux de mortalité par espèce au cours des différents relevés pour le lot de plantation de la tranche 1 (avril 2006)* (page 17)

Figure 6. *Taux de mortalité totale par espèce pour le lot de plantation de la tranche 2 (avril 2007)* (page 18)

Figure 7. *Taux de mortalité par espèce au cours des différents relevés pour le lot de plantation de la tranche 2 (avril 2007)* (page 19)

Figure 8. *Pluviométrie mensuelle sur les stations de Point Maa et Port Laguerre en 2007.*

Figure 9. *Pluviométrie mensuelle sur la station de Port Laguerre sur 3 ans.*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Effectifs des différentes espèces suivies pour la croissance ou la survie par tranche de plantation (page 4)

Tableau 2. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur la hauteur moyenne pour chaque espèce de la première tranche de plantation (page 7)

Tableau 3. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2007) sur la hauteur moyenne pour chaque espèce de la deuxième tranche de plantation (page 8)

Tableau 4. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur le diamètre moyen pour chaque espèce de la première tranche de plantation (page 11)

Tableau 5. Valeurs de F et de P de l'ANOVA conditionnelle permettant de tester l'effet de la durée du suivi (nombre de mois) depuis la date de plantation (avril 2006) sur le diamètre moyen pour chaque espèce de la première tranche de plantation (page 12)

ANNEXE 1. FICHE D'ORIENTATION DU PROGRAMME FORET SECHE POUR LA RESTAURATION ACTIVE DE POINT MAA

PROGRAMME FORÊT SECHE

OBJECTIF SPECIFIQUE n° II : Restaurer
ACTIVITE n° : II.2.3
TITRE : Restauration active
ACTION n° : 2.32b
TITRE : Suivi croissance des parcelles 2006 et 2007 Pointe Maa
ANNEE : 2008 et 2009

OPERATEUR :

IAC Axe 2

RESUME :

La restauration écologique active (par plantation) d'un site de forêt sèche nécessite de tester préalablement des modalités de reconstitution du couvert forestier, en tirant parti d'un diagnostic de situation analysant notamment les modes de succession secondaire. Cette opération consiste en la mise en place de deux essais de ce type pour les sites de la Pointe Maa et de Tiéa. Ces essais s'appuient sur l'examen des dynamiques de colonisation de la savane herbeuse et comparent diverses modalités de reconstitution possible de la végétation forestière en initiant une succession secondaire de colonisation d'une formation ouverte par des communautés d'espèces ligneuses. Pour ce faire, l'intervention vise à initialiser cette succession secondaire sans forcément la reproduire dans son ensemble. Trois modalités sont envisagées, correspondant chacune à la reproduction d'un stade de colonisation particulier. L'hypothèse qui sous-tend ces essais est que cette succession secondaire peut être initialisée sans nécessairement la « redérouler » dès son premier stade.

CONTENU DU PROJET :

L'opération se situe comme expérimentation préalable à la mise en place d'actions de restauration en vraie grandeur. *Elle constitue pour 2008 la suite de relevés engagés sur des parcelles plantées à la pointe Maa en 2006 et 2007. depuis l*

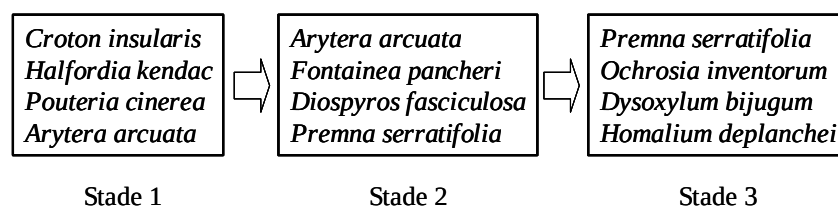
-
-
- **Objectifs :**

L'objectif général est de tester des modalités de réinitialisation d'une succession secondaire au sein d'une savane herbeuse, en prenant les sites de la Pointe Maa et de Tiéa comme sites expérimentaux. Pour 2008, l'IAC réalisera les suivis sur Pointe Maa de la parcelle plantée en 2006 et –sous réserve que nous disposions de la carte de situation et des plants à mesurer, sur celle plantée en 2007.

- **Méthode :**

La méthodologie s'appuie sur l'examen des modes de succession secondaire qui s'observent en lisière de forêt, dans les zones de reconquête des formations herbeuses (savane à niaouli ou prairie à *Aristida*). Plusieurs stades de succession secondaire peuvent être identifiés, selon un schéma du type suivant présentant quelques espèces caractéristiques des stades successifs.

Figure 1. Stades de succession observés à Pointe Maa (figure susceptible d'être modifiée selon les résultats de l'analyse phytosociologique en cours).



Positionnement du dispositif. L'essai de Pointe Maa sera disposé en limite de forêt, en bordure d'une zone de reconquête naturelle de la forêt au sein de la savane herbeuse. Le positionnement et la structuration de l'essai de Tiéa reste à préciser.

Nature du dispositif (cas de Pointe Maa). L'essai est divisé en deux blocs clos et non clos (schéma ci-dessous). Chaque bloc recouvre 1200 plants et traduit trois stades de succession S_1 , S_2 et S_3 (400 plants/stade). Dans chaque bloc, chaque stade fait l'objet de 4 répétitions (100 plants / stade et répétition). Chaque répétition d'un même stade regroupe 5 espèces uniformément réparties dans l'espace.

L'écartement inter-plants étant de 2 m, le dispositif recouvre $2400 \times 4 = 9600 \text{ m}^2$. La partie enclose est de 4800 m^2 , et représente un linéaire de clôture de 320 m. Le pare-feu (désherbage à l'aide d'un graminicide) recouvre 5000 m^2 .

Critères de suivi :

- o Taux de mortalité
- o Hauteur des plants
- o Dégâts de cervidés (plants abroustis) et de rats (collets rongés)
- o Taux de recouvrement au sol
- o Régénération / colonisation (dénombrement plants vivants par parcelles)
- o Etats de surface (selon méthode de D. Thongway, CSIRO)

Fréquence des relevés :

- o *Suivi semestriel réalisé en fin de saison sèche et fin de saison des pluies les deux premières années (soit en 2007-2008 pour la parcelle 2006 et 2008-2009 pour la parcelle 2007), et ensuite de manière annuelle en fin de saison des pluies. En ce début 2008, les relevés sur la parcelle plantée en avril 2006 ont été faits en juin 2006, janvier 2007, novembre 2007 et mars 2008. Les relevés de perte portent sur les 2400 plants en terre et ceux sur la croissance sur 240 plants.*
- o *Il conviendrait de faire sans tarder les relevés de la parcelle plantée en 2007, ce qui suppose que la cartographie de la zone soit disponible ainsi que le positionnement des 240 plants à mesurer. C'est un travail important pour lequel l'IAC n'a pas la disponibilité en personnel (sauf en appui de quelques jours restants), sachant que les relevés prennent 5.5 j/homme par plantation et par saison (soit 22 jours au total pour les 2 plantations) et qu'il est prévu un total de 30 j/homme sur cette fiche. Le PFS pourrait peut-être réaliser ce travail préalable en régie, ou le sous-traiter à Siras.*

ACTEURS :

IAC Axe 2 : Terrain : A. Pain, A. Bouarat, R. Guiglion

Coordination L. L'Huillier, N. Barré

Appui analyse de J. Tassin (CIRAD), sous réserve d'accord, à rechercher notamment en fin d'essai (5 ans ?) pour un bilan

RATTACHEMENT AU PROGRAMME FORÊT SECHE :

L'opération s'inscrit dans l'un des sites prioritaire du Programme.

BESOINS ET FINANCEMENT en 2005 (en CFP):

Contribution Chercheur	p.m.
Contribution vacation personnel IAC (30j/homme)	310 000.
Déplacements, véhicule	50.000

<i><u>TOTAL</u></i>	360.000
---------------------	----------------

RESULTATS ATTENDUS :

- Références sur les modalités de restauration de la forêt sèche, en référence aux modes de succession secondaire ;
- « Sites-vitrine » de restauration d'une forêt sèche.

INDICATEURS :

- *Renseignement des critères de suivi et saisie des données*
- *Fichier saisie du suivi disponible*

Annexe 2. Programme SAS annoté (en vert) utilisé pour l'analyse de la croissance en hauteur

```
proc mixed data=fichier order=data;
class espece temps ;
model hauteur = espece temps temps*espece Hauteur_initiale;
repeated time/type=UN subject=numero r rcorr;**type=UN permet de
spécifier une matrice covariance des erreurs non structurée subject=numero
spécifie que les observations sont répétées dans le temps pour chaque
individu (numéro);
lsmeans temps*espece /slice=(espece);**l'énoncé "slice" permet
d'obtenir l'analyse des variances conditionnelle de l'effet du "temps" sur
les différents niveaux de l'effet "espèce";
lsmeans temps*espece /pdiff;** l'énoncé "pdiff" permet d'obtenir les
tests de comparaisons multiple entre chaque combinaison de niveaux de
l'interaction temps x espèce;
run;
```

Annexe 2. Programme SAS annoté (en vert) utilisé pour l'analyse de la croissance en diamètre

```
proc mixed data=fichier order=data;
class espece temps ;
model diametre = espece temps temps*espece Hauteur_initiale;
repeated time/type=UN subject=numero r rcorr;**type=UN permet de
spécifier une matrice covariance des erreurs non structurée subject=numero
spécifie que les observations sont répétées dans le temps pour chaque
individu (numéro);
lsmeans temps*espece /slice=(espece);**l'énoncé "slice" permet
d'obtenir l'analyse des variances conditionnelle de l'effet du "temps" sur
les différents niveaux de l'effet "espèce";
lsmeans temps*espece /pdiff;** l'énoncé "pdiff" permet d'obtenir les
tests de comparaisons multiple entre chaque combinaison de niveaux de
l'interaction temps x espèce;
run;
```