



HAL
open science

Suivi et évaluation des processus de restauration et de reconstitution

Olivier Flores, Pierre Stamenoff, Jean-Noël Rivière, Gérard Lebreton

► **To cite this version:**

Olivier Flores, Pierre Stamenoff, Jean-Noël Rivière, Gérard Lebreton. Suivi et évaluation des processus de restauration et de reconstitution. Université de La Réunion. 2014, pp.158. hal-04349658

HAL Id: hal-04349658

<https://hal.science/hal-04349658>

Submitted on 18 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License



Peuplements végétaux et
bioagresseurs en milieu tropical



SUIVI ET ÉVALUATION DES PROCESSUS DE RESTAURATION ET DE RECONSTITUTION

FLORES O., STAMÉNOFF P., RIVIÈRE J.-N., LEBRETON G.



Table des matières

Acronymes	6	3	Résultats du suivi	61
Préambule	7	3.1	Populations d'espèces rares . . .	61
Introduction	8	3.2	Lutte mécanique	64
1 Suivi et évaluation du volet reconstitution	15	3.3	Suivi du recouvrement végétal	73
1	Actions de reconstitution	3.4	Coupe et ouverture du milieu .	75
1.1	Modalités de plantation	3.5	Suivi de la régénération	77
1.2	Espèces et composition floristique	3.6	Pluie de graines	81
2	Suivi photographique aérien	3.7	Lutte chimique	85
3	Suivi des plantations	3	Comparaison des deux volets	88
3.1	Plan d'échantillonnage	1	Caractéristiques pédologiques	88
3.2	Relevés et périodes de suivi . . .	1.1	Pédologie en zone forestière . . .	89
3.3	Indicateurs relevés	1.2	Comparaison des propriétés édaphiques	89
3.4	Analyse de la mortalité	2	Réintroduction en milieu naturel . . .	93
3.5	Analyse de la croissance	2.1	Résumé des travaux de plantation	93
3.6	Bilan et représentativité du suivi	2.2	Méthodes et résultats	93
4	Caractérisation des conditions physiques	3	Dynamique de ré-invasion	97
4.1	Topographie	3.1	Évolution du recouvrement . . .	97
4.2	Estimation de l'ombrage	3.2	Richesse spécifique	98
4.3	Caractérisation des précipitations	4	Bilan et synthèse	102
4.4	Éléments de pédologie de la zone	Bibliographie		108
5	Résultats et interprétations	Glossaire		111
5.1	Survie / mortalité	Annexes		112
5.2	Suivi de la croissance	A.1	Présentation des espèces et du suivi .	113
5.3	État phyto-sanitaire	A.2	Photographies aériennes	119
5.4	Densité et ré-invasion	A.3	Caractérisation pédologique	123
2 Suivi et évaluation du volet restauration	53	A.4	Mortalité	130
1	Description des travaux	A.5	Croissance	137
2	Méthodes d'échantillonnage	A.6	Chronologie des travaux et bilan du suivi par zone	141
2.1	Populations d'espèces rares . . .	A.7	Espèces rares et zones de restauration	147
2.2	Suivi de la végétation en place	A.8	Pluie de graines	148
2.3	Suivi de la régénération	A.9	Métadonnées	151
2.4	Mesure des conditions lumineuses	A.10	Fiches de terrain	153
2.5	Étude de la pluie de graines . . .			

Table des figures

1	Distribution mondiale des forêts tropicales sèches	8	1.18	Classification des espèces selon la croissance	41
2	Distribution des forêts semi-sèches à La Réunion en 1665 et de nos jours.	10	1.19	Croissance des espèces pour la première année	42
3	Ecosystème et états alternatifs	10	1.20	Croissance et groupes écologiques	44
4	Types de réponse écosystémique	11	1.21	Relations croissance - modalités de plantations	45
5	Relation entre dégradation et restauration écologique	12	1.22	Relations croissance – ombrage	45
1.1	Géométrie des placettes de plantation	17	1.23	Etat phyto-sanitaire	49
1.2	Photographie aérienne de la zone de reconstitution	19	1.24	Exemple de symptômes observés sur plant	50
1.3	Photographies aériennes de la zone de reconstitution prises en 2012	20	1.25	Suivi du recouvrement végétal	51
1.4	Schéma d'une placette de suivi	21	2.1	Carte des zones de restauration	54
1.5	Chronologie des plantations et du suivi	22	2.2	Recouvrement par les rochers	59
1.6	Mesure des dimensions des plants	25	2.3	Photographie d'un piège à graines	60
1.7	Altitude et pente dans la zone de reconstitution	27	2.4	Effectifs des espèces rares	62
1.8	Précipitations mesurées à la Grande Chaloupe	29	2.5	Encombrement et exposition	63
1.9	Illustration de l'impact des vents cycloniques	30	2.6	Structure et niveau d'invasion initial	66
1.10	Zone à <i>Juncus effusus</i>	31	2.7	Effet des travaux sur le niveau d'invasion	67
1.11	Relations taux de mortalité / précipitations	34	2.8	Structure verticale de la végétation	69
1.12	Effet de cuvette	34	2.9	Niveau d'invasion	70
1.13	Mortalité par modalité de plantation et période de suivi	35	2.10	Réaction des EEE à la coupe	72
1.14	Mortalité par modalité de plantation (2013)	37	2.11	Évolution du recouvrement pour la strate herbacée	74
1.15	Taux de mortalité par groupe écologique	38	2.12	Évolution du recouvrement pour la strate arbustive basse	75
1.16	Relations taux de mortalité - ombrage	39	2.13	Relation entre LAI estimé et structure	76
1.17	Relations taille à la plantation-Survie	40	2.14	Relation entre les variations de LAI estimé et de structure	77
			2.15	Dynamique de régénération des espèces ligneuses	78
			2.16	Dynamique du recouvrement non-ligneux (< 1 m)	79
			2.17	Production de litière et pluie de graines	82

2.18	Fréquence des espèces dans la pluie de graines	83	4.3	Poster de communication	107
2.19	Pluie de graines selon le statut des espèces	84	A.4	Plan de récolement des travaux de plantation	118
2.20	Exemple de patron phénologique) . . .	85	A.5	Vues aériennes (novembre 2011)	119
2.21	Matériel végétal récolté dans les pièges à graines	86	A.6	Vues aériennes (mai 2012)	120
2.22	Photographie d'une souche d' <i>Hiptage benghalensis</i> marquée	86	A.7	Vues aériennes (octobre 2013)	121
2.23	Suivi de la lutte chimique	87	A.8	Vues aériennes (janvier 2014)	122
3.1	Comparaison des propriétés chimiques	90	A.9	Sondages de sol	123
3.2	Comparaison Ca, K, Mg, Na	91	A.10	Relations spécifiques taille à la plantation - survie	134
3.3	Propriétés physiques des sols	92	A.11	Relations spécifiques taille à la plantation - survie	135
3.4	Zones de plantation et placettes de suivi (Z5)	94	A.12	Relations spécifiques taille à la plantation - survie	136
3.5	Comparaison restauration / reconstitution : mortalité	96	A.13	Croissance en diamètre (zone de reconstitution)	140
3.7	Enlèvement par <i>Ipomea</i> sp.	97	A.14	Chronologie du suivi (Z2)	141
3.6	Comparaison restauration / reconstitution : croissance	100	A.15	Chronologie du suivi (Z4)	142
3.8	Dynamique de ré-invasion : comparaison reconstitution / restauration . . .	101	A.16	Chronologie du suivi (Z5)	143
4.1	Aperçu après travaux	102	A.17	Chronologie du suivi (Z7)	145
4.2	Exemple de placette ombragée	103	A.18	Chronologie du suivi (Z10)	146
			A.19	Cartographie des zones de restauration	147
			A.20	Dispersion des graines (zone 5, Cap Francis)	148
			A.21	Dispersion des graines en zone 10 . . .	149
			A.22	Dispersion des graines en zone 10 (suite)	150

Liste des tableaux

1.1	Modalités de plantation	17	A.9	Effectifs et taux de mortalité par espèce, zone de restauration 5	133
1.2	Indicateurs de suivi	23	A.10	Croissance des espèce en zone de reconstitution	137
1.3	Tableau des effectifs suivis par modalités	26	A.11	Croissance des espèce plantées en zone de restauration (Z5)	139
1.4	État phyto-sanitaire : bilan par espèce	46	A.12	Bilan des actions (Z2)	141
2.1	Surface des zones de restauration . . .	55	A.13	Bilan des actions (Z4)	142
2.2	Dates de travaux et de suivi	65	A.14	Bilan des actions (Z5)	143
2.3	Indicateurs de structure et composition	68	A.15	Bilan des actions (Z6)	144
2.4	Indicateurs de régénération	81	A.16	Bilan des actions (Z7)	145
3.1	Actions de plantation pour la restauration écologique	95	A.17	Bilan des actions (Z10)	146
3.2	Richesse spécifique herbacée	99	A.18	Description des variables relevées lors du suivi	151
A.1	Liste des espèces introduites	113	A.19	Tableau récapitulatif des différentes variables explicatives et leurs définitions pour les suivi large et fin. La seule différence dans les informations relevées entre les volets de restauration et de reconstitution tient à la semaine de plantation, non pertinente dans le cas de la restauration.	152
A.2	Composition floristique attendue . . .	115			
A.3	Chronologie du suivi des plantations .	116			
A.4	Actions d'entretien	117			
A.5	Propriétés physico-chimiques des sols .	124			
A.6	Composition chimique des sols	125			
A.7	Effectifs et mortalité par modalité . .	130			
A.8	Effectifs et mortalité par espèce en zone de reconstitution	131			

Acronymes

CBNM Conservatoire Botanique National de Mascarin

CNPN Conseil National de Protection de la Nature

CIRAD Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique et Développement

CdL Conservatoire du Littoral

EEE Espèces Exotiques Envahissantes

GCEIP Groupe Conservation Environnement Insertion Professionnel

Green Gestion des ressources renouvelables et environnement (unité de recherche)

LCF Langues, textes et communication dans les espaces Créolophones et Francophones (laboratoire)

ONF Office National des Forêts

PVBMT Peuplement Végétaux et Bio-agresseurs en Milieu Tropical (unité mixte de recherche)

PNRun Parc national de La Réunion

VSC Volontaire au Service Civique

RSMA Régiment du Service Militaire Adapté

SAPEF Société d'Aménagement Paysager Et Forestier

SREPEN Société Réunionnaise d'Étude et de Protection de l'Environnement

UICN Union Internationale pour la Conservation de la Nature

VSC Volontaire au Service Civique

Préambule

Ce document constitue le rapport scientifique final de l'étude commandée par le Parc national de La Réunion (PNRun) pour le « suivi et évaluation des processus sur de restauration et de reconstitution dans le cadre du projet Life+¹ COREXERUN »(COnserver, Restaurer et rEconstituer les habitats semi-XErophiles du massif de La Montagne sur l'île de La RéUNion, 2009 – 2014). Cette commande a fait l'objet d'un marché public ayant financé cette étude conduite de septembre 2011 à juin 2014 et obtenu par l'Unité Mixte de Recherche Peuplement Végétaux et Bio-agresseurs en Milieu Tropical (PVBMT).

Les résultats présentés ici sont le fruit d'un travail collectif, et nous tenons à remercier ici l'ensemble des personnes ayant permis sa réalisation, en premier lieu les étudiants stagiaires et Volontaire au Service Civique (VSC), Ilaria Capra, Tanguy Glandut, Adeline Le Pape, Léo Mende, qui ont participé aux différents étapes, des campagnes de relevé sur le terrain à l'analyse des données, notre interlocuteur principal au cours de l'étude, représenté par la « cellule Life+ COREXERUN » du PNRun, Pascal Truong, Pierre Thueux, Clara Wyens, Aurélie Commeinhes, chargés de la coordination, du suivi technique et de la communication autour du projet. Le projet a été également encadré Marie Ly et Catherine Latreille du Conservatoire du Littoral (CdL), qui ont également largement contribué au bon déroulement du projet et de cette étude en particulier, ainsi que Stéphane Baret et Benoît Lequette du service Études et Patrimoine du PNRun. Nous remercions aussi les collègues, agents de terrain du PNRun et autres personnes ayant fourni un appui ponctuel et efficace à la réalisation de l'étude, en particulier Alexis Cuvillier, Stéphane Michel, Michael Curcio, Rodolphe Blin, Antoine Franck, Nathalie Côme et Benoît Kerhervé.

Enfin, nous tenons à citer et remercier les habitants de la Grande Chaloupe, les habitués du site, les naturalistes passionnés croisés à différentes occasions, sous la chaleur torride du Chemin des Anglais ou ailleurs, ainsi que les bénévoles, écoliers et autres personnes, pour leur interactions positives et leur implication dans la mise en terre et l'entretien des plantes qui feront partie demain de la forêt semi-sèche en devenir et du patrimoine naturel de La Réunion.

1. L'instrument Financier pour l'Environnement

Introduction

Les forêts tropicales xérophiles et semi-xérophiles

Les forêts tropicales sèches représentent une large fraction des forêts de la zone intertropicale (Figure 1), environ 42%, contre 33% pour les forêts humides et 25% pour les forêts pluvieuses de montagne (HOLDRIDGE, 1967). Le terme de forêt tropicale sèche englobe en réalité un grand nombre d'écosystèmes différents (MURPHY et LUGO, 1986), distincts par leur structure, leur diversité, leur composition spécifique, leur productivité ou encore par leur proportion d'espèces sempervirentes². La transition entre ces différents écosystèmes est généralement graduelle et dépend principalement des conditions climatiques et édaphiques. Cette variabilité rend leur classification difficile et explique la diversité des termes employés pour les désigner, tels que forêt (semi-) caduque, forêt saisonnière, forêt semi-persistante, forêt (semi-) xérophile ou forêt de mousson permettant de les distinguer (GERHARDT et HYTTEBORN, 1992).

Le climat des forêts tropicales sèches est marqué par une forte saisonnalité des précipitations et par une période de sécheresse durant entre 2 et 8 mois, au cours de laquelle surviennent moins de 10% des précipitations annuelles (HOLDRIDGE, 1967 ; MURPHY et LUGO, 1986). La durée et l'intensité de la période de sécheresse peuvent varier en fonction de la situation géographique. Les températures annuelles moyennes y sont supérieures à 17°C, les précipitations annuelles moyennes varient entre 250 et 2000 mm et le ratio entre évapotranspiration potentielle et précipitations est supérieur à 1 (MURPHY et LUGO, 1986). La distinction avec les forêts tropicales humides se fait en fonction de

2. Qui ne sont jamais sans feuillage

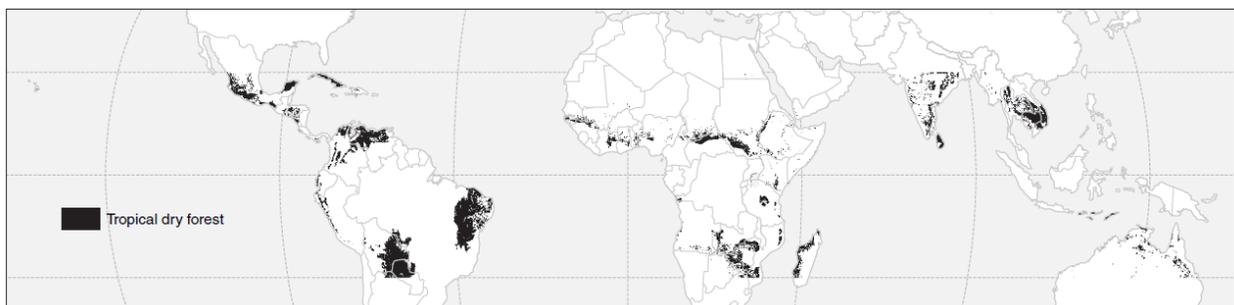


FIGURE 1 – Distribution mondiale des forêts tropicales sèches en 2000, d'après MILES et al. (2006).

la durée de la saison sèche plutôt qu'en fonction des précipitations annuelles (WALTER, 1971). A l'inverse, les précipitations annuelles expliqueraient les différences de distribution entre forêts sèches et savanes. Pour certains auteurs, l'importance relative et l'évapotranspiration potentielle et des précipitations est central dans le maintien de formations forestières en milieu sec (SWAINE, 1992 ; GERHARDT et HYTTEBORN, 1992) : s'il est supérieur à 1, les savanes et milieux ouverts prédominent ; dans le cas contraire, un écosystème de type forêt sèche peut être maintenu.

A l'île de La Réunion, la forêt sèche est composée de formations végétales semi-xérophiles. La répartition de ces formations est principalement définie par le facteur hydrique : elles se situent au-dessous des isohyètes³ de 1600 mm par an et sont marquées par une saison sèche durant environ trois mois (août à octobre) (CADET, 1977). La forêt est y définie comme *semi-xérophile*, car elle est composée à la fois d'espèces strictement adaptées aux conditions xérophile, mais aussi d'espèces de milieux plus hygrophiles qui s'installent à la faveur d'un microclimat plus humide (*e.g.* fond de ravine, CADET, 1977).

Les forêts tropicales sèches ont perdu la plus grande partie de leur superficie originelle à l'échelle mondiale. De nombreuses zones de savane ou de lande buissonneuse ont remplacé les forêts sèches à la suite de perturbations généralement anthropiques (MURPHY et LUGO, 1986). Leur nature sèche et leur situation dans des régions densément peuplées les rend très vulnérables aux incendies, dont la fréquence augmente souvent du fait des activités humaines (JANZEN, 1988). En milieu insulaire, les forêts tropicales sèches ont très largement été détruites (JANZEN, 1988 ; MEHRHOFF, 1993 ; BRUEGMANN, 1996 ; CABIN et al., 2002 ; GILLESPIE et JAFFRÉ, 2003). Dans l'archipel des Mascareignes, les formations semi-xérophiles ont totalement disparu de deux des îles de l'archipel (Rodrigues et Maurice) et seuls quelques lambeaux persistent sur l'île de La Réunion (STRASBERG et al., 2005 ; SARRAILH, MADAULE et RIVIÈRE, 2008). Avant l'arrivée des premiers hommes, la forêt semi-sèche s'étendait entre 200 et 800 m d'altitude sur la côte ouest (Figure 2). Il ne reste aujourd'hui que 1% des 56 800 hectares initialement présents (STRASBERG et al., 2005). Ces dernières reliques sont structurellement et fonctionnellement très dégradées (SARRAILH, MADAULE et RIVIÈRE, 2008), et restent soumises à d'importantes menaces d'origines biologique et anthropique, telles que l'envahissement par les espèces exotiques, la fragmentation et la dégradation des milieux, notamment par les incendies.

Restauration écologique : principes et déclinaison locale

Restauration et invasions biologiques

Au sens strict, la restauration écologique est l'action de rétablir un système écologique dans un état de référence historique, ou de façon plus réaliste, de déplacer un système dégradé vers des limites acceptables caractéristiques d'un état moins perturbé (SCIENCE AND POLICY WORKING GROUP, 2002), c'est-à-dire des limites naturelles de composition, structure et fonctionnement (Figure 3). Dans ce contexte, le degré d'intervention nécessaire à la restauration est d'autant plus important que l'écosystème concerné est dégradé et distant de cette référence. En général l'effort

3. Ligne imaginaire reliant des points recevant d'égales quantités de précipitations sur une période considérée.

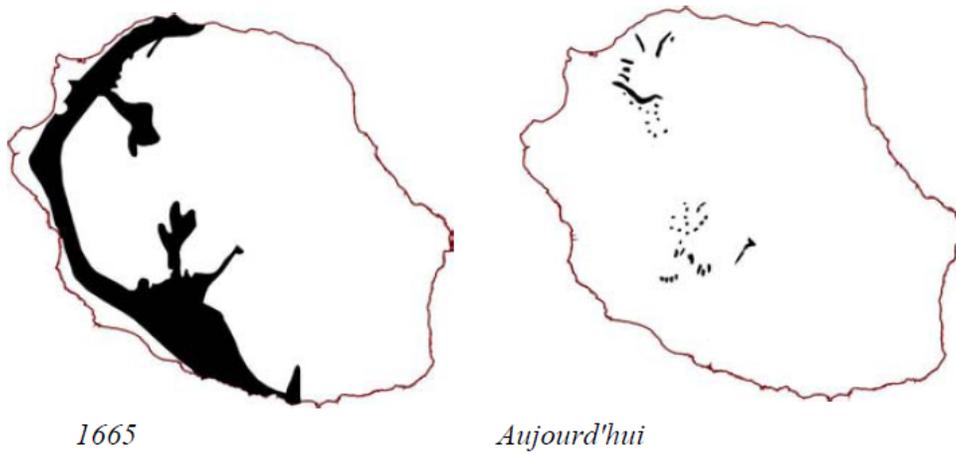


FIGURE 2 – Distribution des forêts semi-sèches à La Réunion en 1665 et de nos jours.

de restauration déployé est inversement proportionnel à cette distance : plus une zone est dégradée, plus sa restauration est coûteuse, en moyens matériels, humains et financiers, et moins la zone sera prioritaire. Dans le cas d'un système très dégradé, on préfère ici la notion de reconstitution écologique, au sens où l'objectif à atteindre correspond à un état alternatif, c'est-à-dire stable à une certaine échelle spatio-temporelle (HOLLING, 1973), mais différent de l'état de référence (SUDING, GROSS et HOUSEMAN, 2004).

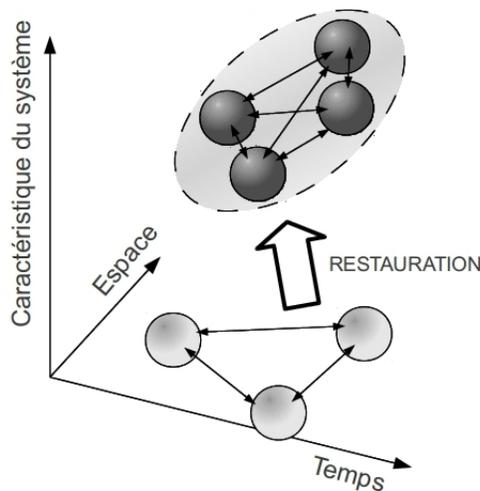


FIGURE 3 – Représentation schématique des états alternatifs d'un écosystème (boules) dans l'espace et dans temps. La zone limitée par des hachures correspond à une zone de variabilité naturelle des propriétés de l'écosystème. La couleur des boules indiquent l'état dégradé (gris clair) ou non (gris foncé) de l'écosystème. Les actions de restauration symbolisées par la flèche ont pour but de ramener l'écosystème vers un état stable caractéristique de l'écosystème de référence.

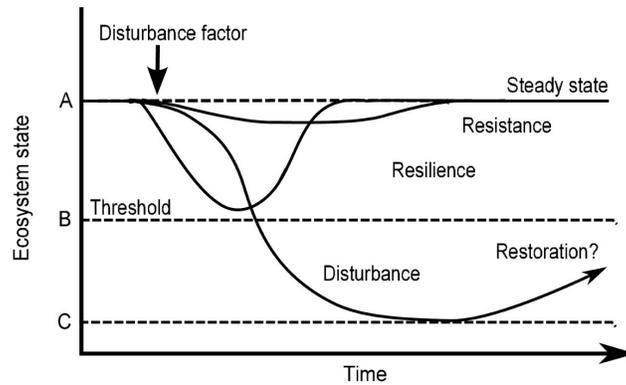


FIGURE 4 – Trois types de réponse écosystémique à une perturbation (*Disturbance factor*) : résistance, résilience et changement d'état stable (*Steady state*) si un seuil est franchi (*Threshold*, cas *Disturbance*). Dans le dernier type, des actions de restauration peuvent être envisagées pour ramener le système vers son état de référence initial (Source ANDEL et ARONSON, 2012).

La restauration écologique suppose la mise en place d'actions visant à modifier les caractéristiques de composition, de structure et/ou de fonctionnement de l'écosystème ciblé pour le ramener de façon plus ou moins progressive vers l'état recherché. Le succès des opérations est théoriquement atteint lorsque le système restauré est capable de se maintenir de façon stable dans le temps (Figure 3 et 4), dans des conditions proches de l'état de référence historique recherché. Ceci nécessite que la résistance et la résilience, dont dépend la stabilité de l'écosystème restauré, soient effectivement rétablies, ou en tout cas améliorées par les opérations de restauration (Figure 4).

Les actions mises en œuvre dépendent en partie de la nature des menaces (perturbations, invasions, etc) et des pressions environnementales (pollution par ex.) qui ont pu conduire à la dégradation de l'écosystème et qui le maintiennent dans cet état. Dans le contexte des invasions biologiques, une des conséquences de la dégradation est que les causes sont intégrées à la dynamique l'écosystème, puisque c'est l'expansion progressive d'espèces exotiques au détriment de la végétation indigène⁴ qui conduit à sa dégradation (Figure 5). Ce cas de restauration écologique est particulièrement complexe et différent, par exemple, des cas de modifications due à une pression d'herbivorie trop grande par pâturage. La suppression du pâturage peut suffire à modifier la trajectoire écologique du système et le ramener vers un état favorable à la biodiversité et aux processus écologiques dont elle dépend.

Dans le cas des invasions biologiques, les organismes problématiques font partie de l'écosystème dégradé et bénéficient, tout comme les organismes autochtones, des conditions et des ressources du milieu, ou au contraire sont limités par elles. Les espèces exotiques, dans les situations où elles sont invasives, ont tendance à montrer des caractères biologiques de type pionnier ou rudéral, tels qu'une croissance rapide avec tendance à l'héliophilie, une fécondité élevée et/ou des capacités de

4. On peut également parler d'invasion biologique dans le cas d'espèces indigènes montrant une dynamique d'expansion rapide et conduisant à une occupation disproportionnée de l'espace. Au sens évolutif, une invasion désigne la fixation d'un phénotype mutant dans une population.

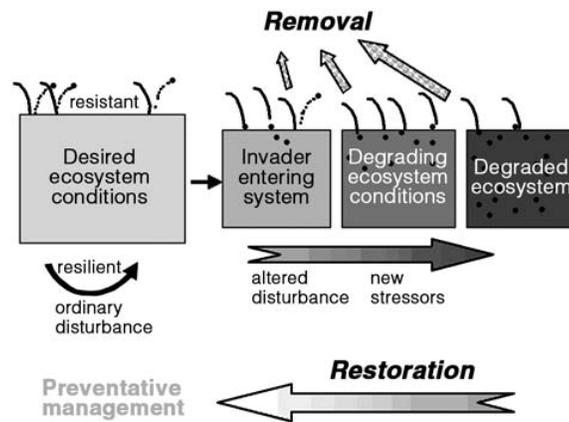


FIGURE 5 – Schéma conceptuel de la restauration écologique de systèmes envahis. La pression de propagules est indiquée par les billes noires. La taille des flèches du haut indique l'intensité de l'effort de contrôle nécessaire pour limiter les ré-invasions par ces propagules. Le dégradé de la flèche *Restoration* indique l'intensité de l'effort à fournir pour diminuer les facteurs de dégradation et améliorer les processus écosystémiques favorables au développement des plantes (Source : D'ANTONIO et CHAMBERS, 2006).

reproduction végétative élevées, ou tout au moins une dissémination efficace dans le milieu. Ces caractères permettent de façon générale une colonisation rapide du milieu, notamment suite à une perturbation. Or les actions de restauration écologique, dont la lutte contre les espèces invasives, peuvent être apparentées à une perturbation, dans le sens où elles libèrent une partie des ressources mobilisées par ces espèces, nutriments, eau, mais aussi espace. Ces ressources disponibles peuvent être à nouveau être utilisées par les espèces en présence et faciliter les processus de ré-invasion.

Deux types d'approches sont mises en œuvre en général dans le contexte des invasions biologiques afin de maximiser le succès des opérations de restauration, soit descendante (*top-down*, D'ANTONIO et CHAMBERS, 2006), soit montante (*bottom-up*). Dans l'approche descendante, les actions sont essentiellement de l'ordre de la lutte, mécanique ou chimique la plupart du temps, et visent à éliminer ou contrôler localement les espèces invasives afin d'en diminuer la biomasse et la pression de propagules pour libérer l'espace occupé et diminuer leur effet compétiteur sur la végétation indigène. L'approche montante suppose de modifier les conditions locales pour favoriser les espèces « désirables » par rapport aux espèces exotiques. Les actions mises en œuvre peuvent alors être de nature très variée : un approches utilisée consiste à enrichir le sol en carbone par des amendements organiques dans le but de stimuler la biomasse microbienne et immobiliser ainsi une partie de l'azote du sol. Ceci aurait pour effet de diminuer l'intensité de la compétition et de favoriser les espèces indigènes à croissance plus lente (D'ANTONIO et CHAMBERS, 2006). Les conclusions de ces études restent toutefois mitigées.

Cas du programme COREXERUN

Dans le cadre du programme COREXERUN, les deux types d'approches décrites précédemment ont été retenues. Ainsi la lutte contre les espèces invasives a été entreprise à l'échelle de l'ensemble des zones concernées par le programme. Les actions de type *bottom-up* ont consisté en des plantations d'un ensemble important d'individus, tant en effectif qu'en diversité spécifique. La diversité ainsi implantée devrait à terme améliorer la stabilité du milieu face aux invasions, qu'une diversité spécifique élevée favorise une diversité d'interactions et de processus, procurant *a priori* au système considéré une résistance et une résilience relatives. Ces actions ont été regroupées en deux grands volets structurant pour le déroulement du programme :

1. un volet *reconstitution écologique* d'une parcelle de 9 ha fortement dégradée,
2. un volet *restauration écologique* d'un ensemble de 10 parcelles d'environ 20 ha au total, dites zones de restauration.

Ces différentes zones ont fait l'objet d'une étude préliminaire qui a mis en évidence la forte hétérogénéité de leur état de conservation initial (MADAULE et al., 2010). Sur la zone dite de reconstitution, la structure forestière était initialement absente. La végétation de type savane arbustive présentait un niveau d'invasion par des Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) élevé. Les zones dites de restauration sont également hétérogènes du point de vue de leur surface, de leur composition floristique, du niveau d'invasion initial, et également de leur accessibilité. Ce dernier facteur est important dans la mise en place des travaux et du suivi sur le terrain, l'accès se faisant uniquement à pied avec des temps d'accès de l'ordre d'une heure. L'étude préliminaire a permis de proposer différents types d'action majeures souhaitables selon les parcelles, reprises dans les marchés de travaux.

La présente étude établit un protocole de suivi des actions entreprises et d'évaluation de leurs effets. Deux types de protocoles sont généralement utilisés pour l'évaluation d'actions de restauration écologique (MICHENER, 1997 ; OSENBURG et al., 2006) : (i) une approche de type « Avant - Après » qui consiste à caractériser l'état de l'écosystème avant les opérations de restauration écologique, puis à le comparer avec l'état après travaux, ce qui suppose la définition d'un état initial (EI) avant travaux, (ii) une approche de type « Contrôle - Impact » qui consiste à comparer l'état de l'écosystème après les travaux de restauration avec l'état observé en conditions naturelles, c'est-à-dire non dégradé. Cette dernière approche suppose de pouvoir caractériser une zone non perturbée considérée comme état de référence. Dans le cas des forêts semi-xérophiles de la Réunion, cette approche est difficilement réalisable étant données les modifications majeures observées au sein de ces écosystèmes, principalement en réponse aux invasions biologiques en cours (SARRAILH, MADAULE et RIVIÈRE, 2008). On opte ici pour une approche par comparaison « Avant - Après » dans la mesure du possible.

La répétition des relevés dans le temps permet d'étudier l'évolution de l'écosystème et de mesurer l'efficacité des actions menées. Ils sont basés sur un certain nombre d'indicateurs correspondant aux différentes actions. Ces indicateurs doivent permettre d'évaluer les propriétés du système concerné et les changements induits par les actions : sa composition, sa structure et son fonctionnement (NOSS, 1990). Dans le cas présent, on définit comme niveau d'analyse la formation, ou communauté, végétale

à l'échelle d'une zone d'étude, voire à une échelle plus fine dans le cas de zones très hétérogènes. La composition décrit alors les espèces selon leur identité, nombre et fréquence. L'évaluation de la composition concerne essentiellement les végétaux ligneux, plantés ou non, et dans une moindre mesure les végétaux herbacés, dont la détermination botanique sur le terrain est souvent difficile. La structure décrit la distribution spatiale et l'organisation des composantes (individus, espèces) du système étudié ; elle est souvent décrite en termes de taille des individus pour les espèces ligneuses, et d'abondance-dominance pour les végétaux non-ligneux (échelle de BRAUN-BLANQUET, 1932). Le fonctionnement concerne les flux de matière et d'énergie liés aux processus écologiques au sein d'un système. C'est sans doute l'aspect le plus difficile à quantifier et le moins connu concernant les forêts tropicales semi-xérophiles.

Ce rapport présente les résultats obtenus au cours de l'étude décrite ci-dessus, ainsi qu'une analyse comparative des travaux de reconstitution et de restauration écologique. La première partie traite du suivi et de l'évaluation des travaux effectués dans la zone de reconstitution, les caractéristiques écologiques de la zone retenue sont également décrites. La seconde partie présente les résultats concernant le suivi des travaux de restauration écologique au sein de la ravine concernée. Pour ces deux volets, les actions menées par les prestataires retenus pour la réalisation des travaux sont rappelées en début de partie correspondante. La troisième partie propose une comparaison des résultats obtenus dans les deux volets précédents. Enfin un bilan des actions menées et des résultats obtenus lors du suivi et de l'évaluation des travaux est présenté en fin de rapport.

Chapitre 1

Suivi et évaluation du volet reconstitution

Sommaire

1	Actions de reconstitution	15
1.1	Modalités de plantation	16
1.2	Espèces et composition floristique	18
2	Suivi photographique aérien	18
3	Suivi des plantations	19
3.1	Plan d'échantillonnage	21
3.2	Relevés et périodes de suivi	21
3.3	Indicateurs relevés	22
3.4	Analyse de la mortalité	24
3.5	Analyse de la croissance	24
3.6	Bilan et représentativité du suivi	25
4	Caractérisation des conditions physiques	26
4.1	Topographie	26
4.2	Estimation de l'ombrage	27
4.3	Caractérisation des précipitations	28
4.4	Éléments de pédologie de la zone	29
5	Résultats et interprétations	33
5.1	Survie / mortalité	33
5.2	Suivi de la croissance	40
5.3	État phyto-sanitaire	44
5.4	Densité et ré-invasion	51

1 Description des actions de plantation

La zone de reconstitution, accessible depuis le village de la Grande chaloupe, couvre une surface totale de 9 ha et est située sur la planèze en rive gauche de la ravine de la Grande Chaloupe, à

une altitude comprise entre 180 m et 300 m. Dans cette zone, les travaux menés entre décembre 2011 et décembre 2013 ont concerné l'ensemble de la planèze et ont suivi les clauses d'un Cahier des Charges Techniques Particulières (LIFE+/COREXERUN, 2012c). L'objectif recherché à terme dans cette zone est la mise en place d'un habitat dont le fonctionnement et la structure se rapprochent le plus possible d'une forêt semi-xérophile. Regroupés en trois catégories, ces travaux englobent (LIFE+/COREXERUN, 2012c) :

1. la préparation de la zone de plantation (Art. 11),
2. la lutte contre les espèces végétales exotiques (Art. 12),
3. les travaux de plantation, selon plusieurs modalités, et d'entretien (Art. 13 et 14).

La zone de reconstitution était initialement très envahie et composée d'une strate herbacée et d'une strate arbustive (Figure A.5), toutes deux presque exclusivement exotiques. Une strate arborée était présente localement et exclusivement exotique (Manguiers, *Mangifera indica*, et bois noirs, *Albizia lebbek* en particulier). Les travaux préparatoires de la zone ont consisté à délimiter la zone, et à contrôler ou éradiquer les principales espèces exotiques envahissantes (Art. 11 et 12, (LIFE+/COREXERUN, 2012c)).

1.1 Modalités de plantation

Le protocole de plantation a consisté en sept modalités de plantation. Les choix réalisés avaient pour but initial de tester l'effet de la géométrie et de la densité des plantations sur leur succès des plantations, c'est-à-dire sur la survie et la croissance des plants réintroduits. L'ensemble des modalités, les années de plantation, le nombre de plants réintroduits ainsi que le nombre de placettes suivies sont résumés dans le tableau 1.1.

Les plantations devaient être réalisées pendant la saison des pluies afin d'optimiser les chances de survie des individus. Étant donné le nombre important de plants à réintroduire, 90 000 sur 9 ha (soit une densité moyenne de 1 plant.m²), elles ont été réalisées en deux phases majeures pendant les étés austraux 2012 et 2013. En **2012**, trois hectares ont été traités au cours de la première phase de plantation (Figures 1.2 et A.6 en annexe p. 120) : un hectare a été planté selon la modalité D et deux hectares selon la modalité E, totalisant ainsi 30000 plants. En **2013**, lors de la deuxième phase de plantation, cinq autres modalités (A, B, C, F et G) ont été mises en œuvre pour un total de 42720 plants. La modalité G relativement anecdotique et plantée tardivement ne rentre pas dans le suivi.

D'autres travaux de plantation ont été réalisés dans la zone de reconstitution mais n'entre pas dans le cadre de ce suivi. A la fin de l'année 2013, 10000 derniers plants ont été introduits sur la zone (modalité notée D2, Tableau 1.1, Figures 1.2 et A.6 en annexe p. 120). Enfin dans le cadre d'opérations de communication ponctuelles vers le grand public ou les partenaires institutionnels, des plantations ont également été réalisées au cours des deux années de plantation 2012 et 2013 (environ 8000 plants) à proximité immédiate du Chemin des Anglais (voir photographies p. 20), en collaboration avec différents acteurs, dont le PNRun, le Régiment du Service Militaire Adapté (RSMA) et la Société Réunionnaise d'Étude et de Protection de l'Environnement (SREPEN).

TABLE 1.1 – Modalités des plantations réalisées en 2012 et 2013 dans la zone de reconstitution. Année : indique la phase de plantation pour la modalité concernée, Géométrie : forme des placettes de plantation, soit en bandes de 4 m (avec inter-bandes de largeur variable), soit en disques de rayon 2,5 m (surface $\approx 20 \text{ m}^2$, Figure 1.1), Densité : densité de plantation au sein des placettes, en nombre de plants par mètre carré, Plants : nombre de plants attendus en fonction du nombre de placettes installées, et de la densité retenue, Surface : surface concernée par les opérations,.

Modalité	Année	Géométrie	Densité (pl.m ⁻²)	Plants attendus	Surface (ha)	Suivi
A	2013	bandes (inter-bandes : 4 m)	2	14040	1,64	30
B	2013	bandes (inter-bandes : 12 m)	4	16200	2,15	32
C	2013	plein	1	5000	0,63	20
D	2012		2	10000	1,47	40
D2	2013	disques	2	10000	0,76	/
E	2012		4	20000	2,15	80
F	2013	bandes (inter-bandes : 4 m)	4	4800	0,21	10
G	2013	plein	4.3	2680	0,09	/

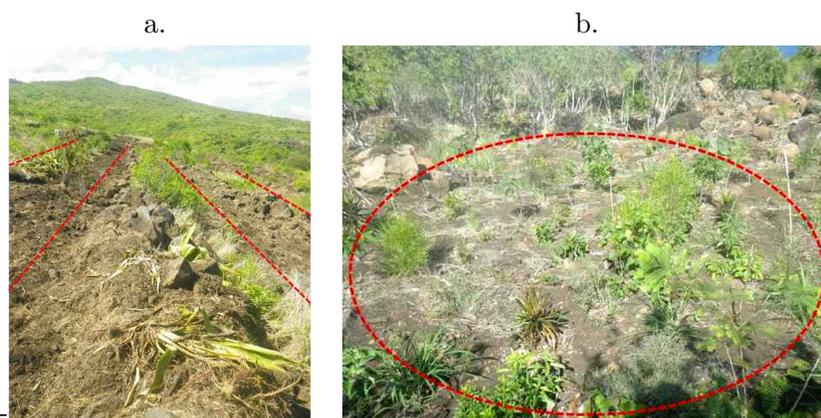


FIGURE 1.1 – Illustrations de la géométrie des placettes de plantation en zone de reconstitution, en bande (a, modalités A, B et F) ou en disque (modalités D et E).

Les plantations ont été organisées par le prestataire (Société d'Aménagement Paysager Et Forestier (SAPEF)) par « semaine de plantation », au sens où à chaque semaine correspondait une composition floristique particulière et une modalité de plantation (A à F). Elles ont eu lieu pendant 12 semaines pour la première phase, du 16 janvier au 04 avril 2012 (protocoles D et E en partie haute de la zone), et sur 14 semaines pour la deuxième phase, du 03 décembre 2012 au 25 mars 2013 (protocoles A, B, C, et F en partie basse et médiane de la zone d'étude). La chronologie des actions de plantation réalisées est récapitulée en annexe (Table A.3, p. 116).

Dû aux contraintes d'installation sur le terrain (rochers, bosquets), il existe une variabilité

notable dans la taille et la forme des placettes circulaires. Il est également important de noter que la réalisation des travaux a eu pour conséquence que l'ensemble des plantations en placettes circulaires ont été réalisées pendant la première phase (2012), tandis que les plantations en bandes l'ont été pendant la deuxième phase (2013). Ainsi il est apparu impossible de distinguer les effets de la géométrie et ceux de la phase de plantation lors du suivi et de l'évaluation des travaux.

Sur le terrain, les différentes placettes, soit circulaires, soit délimitées au sein des bandes de plantation (environ 120 m²) ont été étiquetées par le prestataire des travaux afin de faciliter leur repérage. Le plan de récolement décrivant les travaux réalisés est présenté en annexe (Figure A.4, p. 118).

1.2 Espèces et composition floristique

Le tableau A.2 (Annexe A.2, p. 115) présente les compositions floristiques prévues par modalité de plantation, ainsi que les abondances relatives des taxons plantés. Dans l'ensemble, ce sont donc 46 espèces réparties en 28 familles qui ont été produites et plantées dans la zone de reconstitution. Parmi ces espèces, 14 sont protégées et font l'objet d'une demande de dérogation au Conseil National de Protection de la Nature (CNP) (Tableau A.2). Lors de la première phase de plantation, 35 espèces ont été introduites dans le milieu naturel, y compris deux sous-espèces chez *Dombeya acutangula* : *acutangula* et *palmata*. La deuxième phase de plantation a quant à elle concerné 44 espèces. A noter que l'espèce *Dombeya populnea*, le Bois de senteur bleu, n'a pas été réintroduit sur la zone de reconstitution afin d'écartier les risques d'hybridation avec *Ruizia cordata*. Ces deux espèces sont classées en danger critique d'extinction (CR) et protégées (Tableau A.2).

2 Suivi photographique aérien à l'échelle des parcelles

Afin d'évaluer les surfaces concernées par les travaux de reconstitution et les modifications du couvert végétal au cours du temps, un suivi par photographie aérienne a été mis en place. Il a permis d'évaluer le recouvrement des surfaces d'intérêt, essentiellement celles concernées par les travaux de plantation. Quatre passages aériens ont été effectués au cours de l'étude : un passage initial en novembre 2011 avant travaux (Figure 1.3(a)) un passage en mai 2012 après la première phase de plantation et avant la saison des pluies (Figure 1.3(b)), un passage en octobre 2013 après la deuxième phase de plantation et après la saison sèche (Figure 1.3(c)), et enfin un dernier passage en janvier 2014 après la fin des travaux de plantation (Figure 1.3(d))

L'effet des travaux de préparation du terrain et des travaux de plantation apparaît nettement sur les photographies de la zone, ainsi que les changements saisonniers dans le couvert végétal (p. 119 à p. 122). Quelques remarques peuvent être faites par observation des photographies :

- la structure du couvert végétal a été fortement perturbée et sa surface réduite après les travaux de préparation de la zone.
- la comparaison des photographies prises en octobre 2013 (fin de saison sèche) et janvier 2014 (saison des pluies, figure 1.3c & d) montre une forte et rapide extension du couvert végétal. Cette dynamique est principalement le fait des espèces herbacées annuelles ou pérennes (Poa-

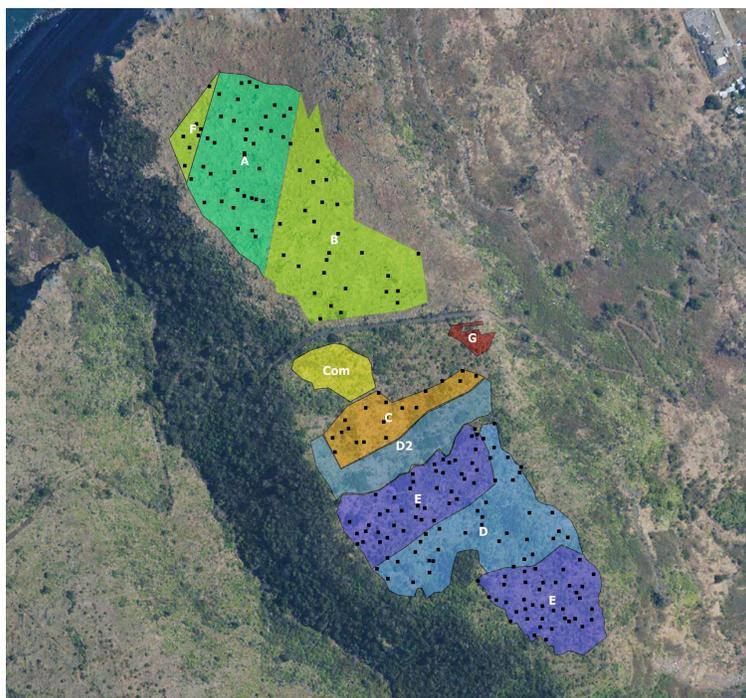


FIGURE 1.2 – Photographie aérienne de la zone d'étude et polygones des zones de plantations. Les points noirs représentent l'ensemble des placettes de suivis (cf. p. 19).

caee, et plus particulièrement *Panicum maximum*, la Fataque). Il faut également prendre en compte l'effet des actions de désherbage et de paillage (Art. 14, (LIFE+/COREXERUN, 2012c)) effectuées sur les placettes par le Groupe Conservation Environnement Insertion Professionnel (GCEIP) (cf. Table A.4, p. 117 pour le calendrier des actions).

Les surfaces concernées par les travaux ont été évaluées grâce à l'outil SIG QGIS. Le tableau 1.1 p.17 montre les surfaces réelles traitées dans l'ensemble des travaux de reconstitution. Le suivi et l'évaluation des travaux a porté ainsi sur 8.21 ha de la surface totale de la zone de reconstitution, la surface restante ayant servi à accueillir les plantations effectuées dans le cadre d'opérations de communication ainsi que pour les derniers plants réintroduits en modalité D2 en décembre 2013. Les annexes A.5, A.6, A.7 et A.8 présentent par année (2011 à 2014) les photographies issues du suivi aérien de la zone.

3 Protocole de suivi et d'évaluation des actions de plantation en zone de reconstitution écologique

Dans le cadre du suivi des travaux de plantation, nous avons sélectionné un ensemble de placettes de et relevé plusieurs d'indicateurs afin d'évaluer la survie et la croissance des plants introduits dans le milieu, ainsi que l'effet de différents facteurs, soit environnementaux tels que la pluviométrie, soit inhérents au programme, tels que la densité de plantation.

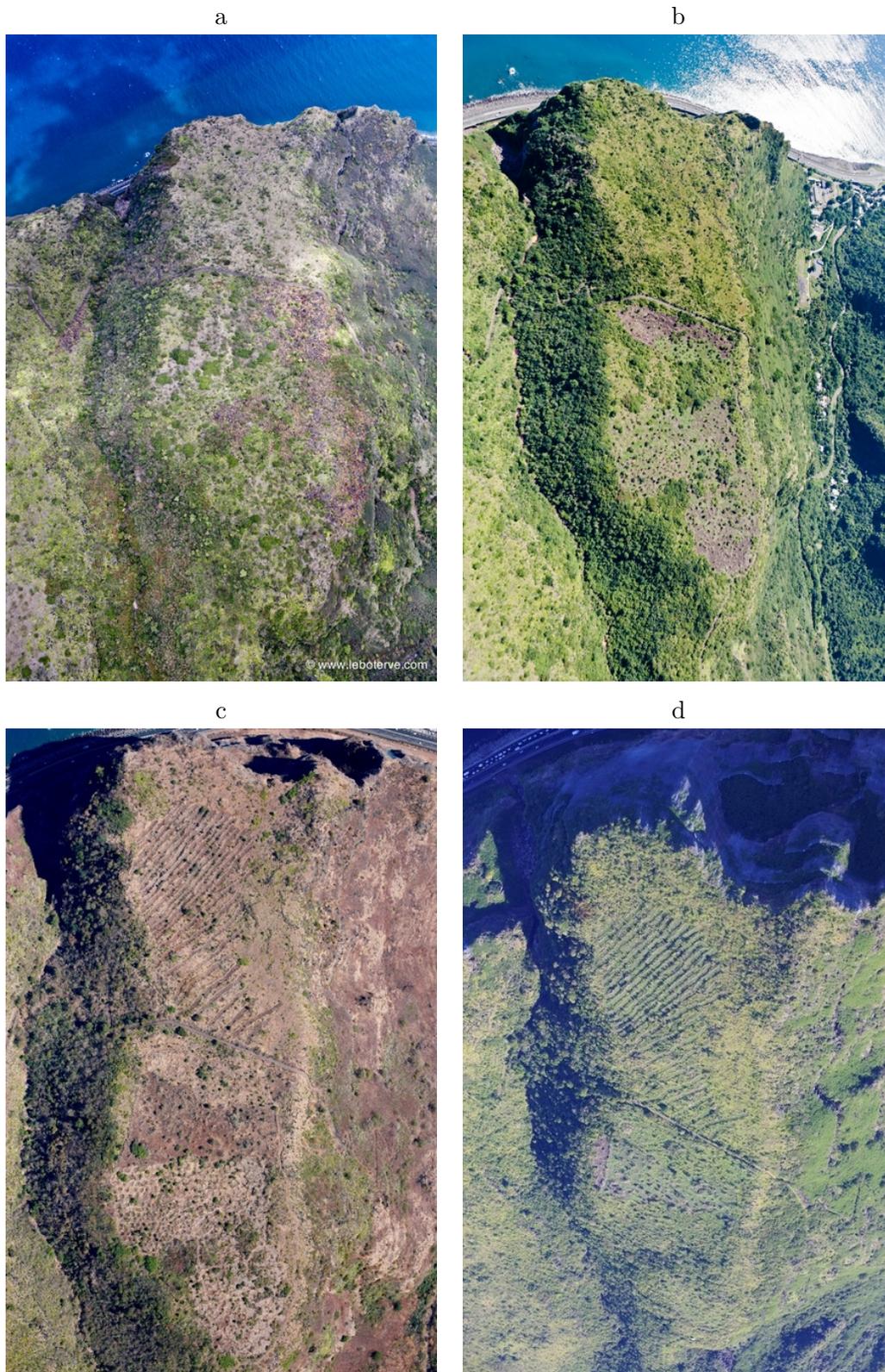


FIGURE 1.3 – Photographies aériennes de la zone de reconstitution : (a) vue d'ensemble avant la phase initiale des travaux de reconstitution (novembre 2011), (b) vue d'ensemble de la zone après travaux de préparation du terrain et de plantation (1^{re} phase, mai 2012), (c) vue d'ensemble de la zone après la deuxième phase de plantation (saison sèche, octobre 2013), (d) vue d'ensemble de la zone à la fin des travaux de plantation (janvier 2014).

3.1 Plan d'échantillonnage

En 2012 a été initié le suivi des plantations au sein des placettes de la première phase, circulaires (modalités D et E, Tableau 1.1). Dix placettes ont été choisies aléatoirement par semaine de plantation pour un total de 120 placettes et un nombre de plants suivis d'environ 8000.

En 2013, le suivi a concerné les plantations de la deuxième phase (modalités A, B, C et F)

- Pour les modalités A, B et F, des placettes rectangulaires de 20 m^2 ($5 \times 4 \text{ m}$) ont été délimitées au sein des bandes de plantations afin d'obtenir une surface et un nombre de plants par placette comparables à ceux considérés dans le suivi des modalités D et E. Un total de 72 placettes y ont été réparties de façon aléatoire (Tableau 1.1 et Figure 1.2).
- Pour la modalité C le suivi des plantations a été réalisé dans des placettes circulaires de 5 m de diamètre. Vingt placettes ont été mises en place de façon aléatoire dans les 42 « blocs » de 120 m^2 établis par le prestataire (Tableau 1.1 et Figure 1.2).

L'étiquetage par piquets mis en place par le prestataire des travaux (SAPEF) a été utilisé pour repérer le centre des placettes. Afin de faciliter le repérage des plants sur les placettes, chacune a été divisée en quatre quadrants orientés par rapport au nord géographique (NE/NO/SE/SO, Figure 1.4).

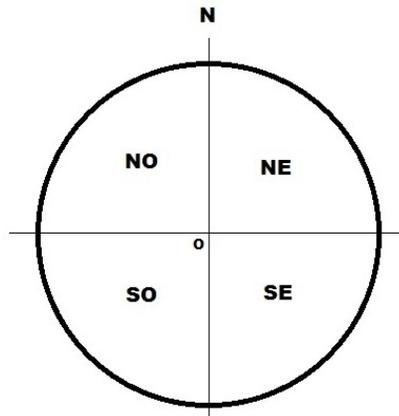


FIGURE 1.4 – Schéma de placette circulaire et rectangulaire dans la zone de reconstitution avec quadrants d'inventaire.

3.2 Relevés et périodes de suivi

Au total, quatre relevés ont pu être réalisés après plantation pendant la période d'étude. Le suivi a concerné donc 4 périodes différentes. Pour la première période dite de « reprise » c'est-à-dire d'installation des plants sur le terrain après leur plantation, les premiers relevés ont été effectués 5 semaines après plantation afin de pouvoir comparer la reprise des plants par placette sur une durée homogène et faciliter la mise en place du suivi. La deuxième période s'étale depuis les premiers relevés à la fin de la saison sèche, soit début octobre, moment auquel ont été effectués les seconds relevés. Cette deuxième période recouvre donc principalement la saison sèche. De durée variable selon les semaines de plantation, elle comprend aussi des jours de fortes précipitations en fin de

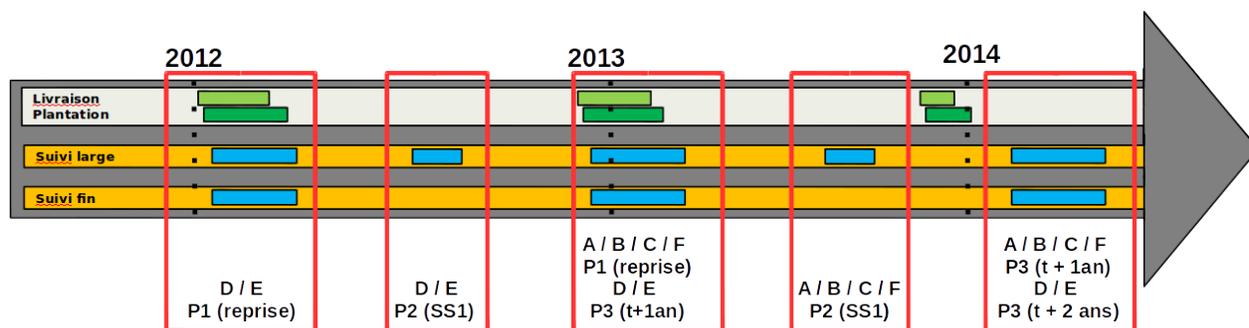


FIGURE 1.5 – Chronologie des actions de plantation et de suivi en zone de reconstitution. Les lettres majuscules renvoient aux modalités de plantation (Tableau 1.1). P1 à P3 : passage pour le suivi des plantations. La période de reprise correspond à cinq semaines après plantation. SS1 : première saison sèche après plantation.

saison humide, en particulier pour les premières placettes plantées (Figure 1.8). Un troisième et un quatrième relevé ont été effectués respectivement un an et deux après plantation selon les phases de plantations. Il y a donc eu 4 relevés pour les plantations de 2012 (modalités D et E) et trois relevés pour celles de 2013 (modalités A, B, C et F) pendant la durée du suivi. La chronologie des actions de plantation et de suivi pour le volet reconstitution est résumée sur la figure 1.5. À noter que le 4^e passage sur les plantations de la modalité E a concerné une sélection de 40 placettes de suivi parmi les 80 mises en place initialement, ceci pour conserver un nombre de placettes similaires à ceux des autres modalités.

3.3 Indicateurs relevés

3.3.1 Indicateurs spécifiques

Deux protocoles différents ont été mis en place afin de suivre et évaluer la survie et la croissance. Dans chaque placette étudiée :

1. un suivi « large » a concerné un ensemble d'indicateurs relevés par espèce (Tableau 1.2) dans chacun des quadrants, sans distinction des individus. La survie et l'état phytosanitaire des plants ont été relevés. Les nombres d'individus présents dans les placettes, vivants et morts, ont été relevés par espèce. Ces comptages permettent de comparer la composition floristique des placettes observée sur le terrain avec la composition prévue initialement et d'estimer la survie au cours du temps. Ces relevés ont été répétés lors des second, troisième et quatrième passages pour les plantations 2012.
2. un suivi « fin » a été mis en place au niveau individuel afin d'évaluer la croissance des plants en hauteur et en diamètre (Table 1.2). Dans chaque placette suivie, un individu au moins par espèce présente a été choisi de façon aléatoire et a fait l'objet d'une mesure de hauteur (hauteur maximale atteinte par le feuillage de l'individu), de diamètre au collet, et de diamètre de couronne (distance maximale entre deux points du feuillage de l'individu). Les

TABLE 1.2 – Indicateurs relevés par placette selon le type de suivi.

Niveau d'observation	Variable	Suivi fin	Suivi large
Espèce (ensemble des plants)	Survie		X
	Etat phyto-sanitaire		X
Plant	Survie	X	
	Hauteur	X	
	Diamètre à la base	X	
	Diamètre de couronne	X	
	Etat phyto-sanitaire	X	

mesures réalisées ont concerné un total de 20 individus environ par placette. Les individus mesurés ont été étiquetés et numérotés pour permettre un suivi temporel.

Les mesures concernant le suivi fin ont été réalisées de façon annuelle lors du premier passage (reprise) ainsi qu'aux troisième ($t + 1$ an), et quatrième ($t + 2$ ans) passages pour les plantations 2012. Pour les plantations 2013, le suivi fin a été réalisé lors des premier et troisième passages ($t + 1$ an, Figure 1.5).

3.3.2 État phytosanitaire

Le suivi de l'état phytosanitaire a permis d'affiner la description de la « performance » des espèces plantées en complément de la survie des plants. Les symptômes les plus attendus ont été notés et codés de la façon suivante :

FS : présence de feuilles sèches

FJ : présence de feuilles jaunies, ou décolorées

DF : perte de feuilles (défoliation)

HE : signes d'herbivorie (feuilles trouées, découpées)

PA : présence sur feuille ou tige de parasites et/ou pathogènes : aleurodes (mouches blanches), acariens, pucerons, chenilles, cochenilles,...

Pour chaque symptôme relevé, deux niveaux d'intensité ont été distingués selon la proportion du feuillage concernée : $< 50\%$ ou $> 50\%$. Dans le cas de la défoliation, ces niveaux ont été estimés par comparaison visuelle avec des individus sains.

3.3.3 Relevés au niveau des placettes

Un certain nombre de relevés ont concerné les placettes dans leur ensemble :

- Recouvrement des espèces non plantées colonisant les placettes après travaux, pour la plupart exotiques.
- Ombrage (cf. méthode de caractérisation p. 27).

3.4 Analyse de la mortalité

Les relevés effectués lors du suivi large ont permis d'estimer les taux de mortalité observés au cours des périodes de suivi :

$$M = \frac{n_{morts}}{n_{initial}}$$

où M est le taux de mortalité estimé pour la période concernée, n_{morts} est le nombre de morts compté en fin de période, et $n_{initial}$ le nombre d'individus présents initialement. La même approche a été utilisée pour estimer les taux de mortalité au niveau des semaines de plantation, des placettes et des espèces au sein des placettes. Une difficulté dans l'estimation des taux de mortalité est liée aux différences de durées entre deux relevés successifs (Table A.3 p. 116). Afin de pouvoir comparer des durées de suivi différentes, les taux de mortalité observés ont été estimés sur une base annuelle en utilisant une approche couramment utilisée dans les analyses de dynamique de végétation et permettant de comparer des données hétérogènes dans les intervalles de suivi (SHEIL, BURSLEM et ALDER, 1995). A partir de deux relevés, le taux de mortalité annuel pour la période est estimé par :

$$M_a = 1 - \left(1 - \frac{n_{morts}}{n_{initial}}\right)^{52/t}$$

où M_a est le taux de mortalité annuel estimé, t est la durée séparant les relevés, ici évaluée en nombre de semaines. On parlera de mortalité brute lorsque le taux de mortalité est évalué sans correction pour la durée, et de mortalité annuelle dans le cas contraire.

3.5 Analyse de la croissance

Les relevés de taille effectués lors du suivi fin ont permis d'évaluer les dimensions des individus plantés au cours du temps. Ces données caractérisent la taille initiale des plants et permettent de quantifier leur croissance ainsi que les relations d'allométrie entre les différentes variables de taille mesurées (STAMENOFF et al., 2012).

Deux types de mesures de croissance sont présentées (Table A.10 et A.11, p. 137) : une mesure absolue, $\Delta X = X_2 - X_1$, qui rend compte de la variation de la variable mesurée X entre les temps de mesures 1 et 2, et un taux de croissance relatif (*Relative Growth Rate*, ou *RGR* en $\text{cm.cm}^{-1}.\text{an}^{-1}$, soit an^{-1}) qui facilite la comparaison entre espèces et individus de tailles différentes (POORTER et GARNIER, 2007) :

$$RGR = \frac{\ln(X_2) - \ln(X_1)}{\Delta t}$$

Ces mesures de croissance ont été calculées pour chacune des trois dimensions relevées lors du suivi individuel : hauteur, diamètre de la couronne et diamètre à la base (Figure 1.6). Certaines espèces perdant leurs feuilles pendant la saison sèche, les relevés ont pu conduire à des mesures de croissance négative, qui peuvent également être dues à des erreurs de mesure. Un seuil de croissance a été fixé pour exclure les valeurs inférieures des calculs de croissance moyenne. Pour les résultats par espèce, seules sont considérées celles présentes avec un effectif d'au moins 5 individus ayant survécu au moins un an ($n = 40$ espèces). Pour les espèces réintroduites lors des deux phases de plantation, la moyenne inter-annuelle pour les premières années est utilisée.

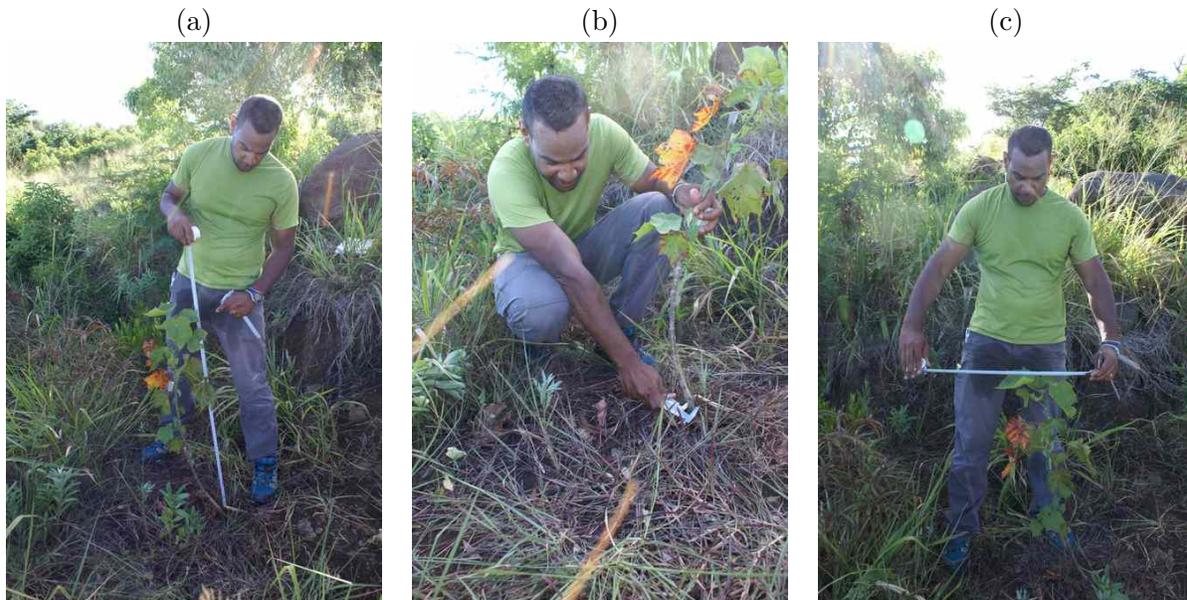


FIGURE 1.6 – Mesure des dimensions des plants : (a) hauteur, (b) diamètre à la base (collet), (c) diamètre de la couronne.

Dans le contexte de la reconstitution écologique, les espèces de grande taille et/ou à croissance rapide sont susceptibles d'échapper rapidement à la compétition avec les espèces herbacées dans les strates basses. Cette caractéristique peut-être appréciée d'après la relation entre le diamètre au collet des individus et leur hauteur. De même les espèces développant un port large, au sens d'une couronne de fort diamètre, relativement à la hauteur des plants, présentent un intérêt dans la mise en place d'un couvert végétal d'intérêt permettant d'occuper l'espace et limiter le développement de la strate herbacée.

3.6 Bilan et représentativité du suivi

Dans l'ensemble, le suivi des actions de plantation pour la zone de reconstitution a été mené sur 212 placettes observées lors de quatre campagnes de relevés. Lors des premiers relevés, **12396** plants appartenant à 44 espèces plantées ont pu être observés et comptabilisés. Ils constituent l'état initial du peuplement pour le suivi de la mortalité (cf. Table A.2 en annexe p. 115 pour les effectifs détaillés par espèce). Pour le suivi individuel de la croissance, ce sont au total **4289** plants qui ont été étiquetés sur le terrain et mesurés. En moyenne, 69 individus l'ont été par espèce, dans une gamme allant de 4 individus pour *Turraea thoursiana* à 130 individus pour *Phyllanthus casticum* (PHYCAS).

Étant donnée la surface et le nombre de plants introduits sur le terrain, le suivi effectué ne pouvait être basé que sur un échantillon des nouvelles populations. Le suivi mis en place a permis d'obtenir un échantillon d'individus représentatif dans l'ensemble des effectifs plantés pour les espèces concernées : l'abondance relative pour les différentes espèces dans le peuplement total, estimée d'après la composition floristique attendue au sein des placettes de plantation, est similaire avec

TABLE 1.3 – Tableau des effectifs suivis par modalités de plantation et selon le suivi effectué (large ou fin)

Modalité	Nombre plants (suivi large)	Nombre plants (suivi fin)
A	1421	658
B	1993	675
C	493	274
D	1580	791
E	6158	1649
F	751	242
Total	12396	4289

l’abondance relative des espèces au sein de l’échantillon suivi (Tableau A.2). Étant donnée la taille de cet échantillon, soit plusieurs milliers d’individus, ceci indique que les résultats obtenus lors du suivi sont représentatifs de l’état de la zone de reconstitution écologique au cours du temps et des processus écologiques considérés dans l’étude (survie, croissance, etc). Dans certains particuliers, d’espèces rares, à l’échelle des opérations de reconstitution (par ex. *Turraea thouarsiana* ou *Zanthoxylum heterophyllum*), le choix d’un suivi par placette a pu conduire à des effectifs faibles des individus suivis.

4 Caractérisation des conditions physiques

4.1 Topographie

La position des placettes suivies dans la zone de reconstitution a été relevée à l’aide d’un GPS (Garmin GPSMAP 62sc). Ces positions importées sous l’outil SIG QGIS ont permis de localiser les placettes dans l’espace et d’extraire leur altitude à partir d’un modèle numérique de terrain fourni par l’Institut de Géographie National (MNTR, IGN 2011). Ce MNT possède une résolution spatiale de cinq mètres et fourni des données d’altitude au centimètre près. A partir de ces données, l’outil SIG permet de calculer la pente locale à l’échelle de la zone. Une valeur d’altitude et de pente peut alors être attribuée en tout point de la zone. La figure 1.7 p. 27 montre la relation entre l’altitude et la pente estimée pour l’ensemble des 212 placettes qui ont fait l’objet d’un suivi (cf. 3, p. 19) sur la zone de reconstitution.

La topographie de la zone de reconstitution diffère selon l’altitude entre les différentes parties la constituant mais aussi à l’intérieur même de ses parties. La topographie de la zone des plantations 2012 (modalités D et E) (entre 231 et 270 m) comprend deux zones peu pentues et une troisième plus marquée entre celles-ci (entre 10 ° et 15 °). La grande majorité des placettes de modalité D suivi se retrouve sur des pentes supérieures 10 °. La zone où ont eu lieu les plantations en 2013 (modalités A, B, C et F) est plus homogène avec peu de différenciation de pente. On y trouve des

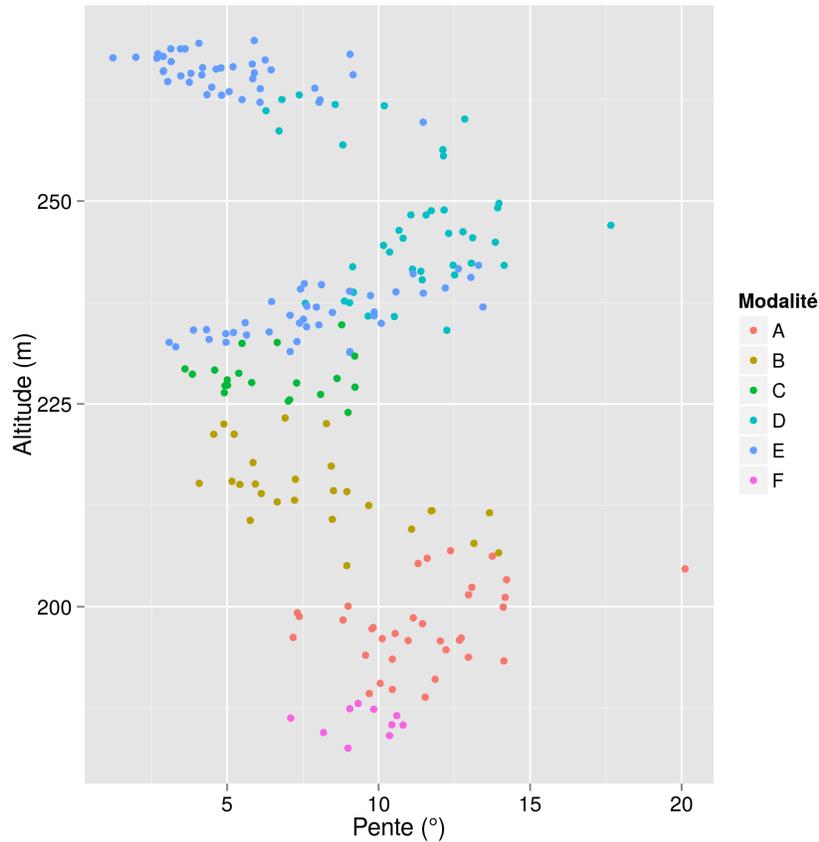


FIGURE 1.7 – Relation entre l’altitude (m) et la pente ($^{\circ}$) estimées à partir d’un modèle numérique de terrain (MNTR, IGN 2011) pour l’ensemble des placettes de suivi des plantations. Les couleurs indiquent les 6 modalités de plantation concernées par le suivi.

pentés supérieures à 10° . À noter enfin une zone peu pentue située près du Chemin des Anglais (modalités C et B) est potentiellement sujette à des effets de cuvettes lors de fortes précipitations (cf. Figure 1.12).

4.2 Estimation de l’ombrage

L’ensoleillement étant a priori un facteur déterminant pour la survie des plants en milieu sec, il s’est avéré important d’évaluer l’effet de l’ombrage sur la survie des plantes. Lors de la phase initiale de travaux sur la zone de reconstitution, un certain nombre de bosquets et individus isolés, pour la plupart constitués d’espèces exotiques, ont été conservés afin de ménager des zones d’ombre. Leur disposition par rapport à chacune des placettes suivies a été estimée afin d’estimer le niveau d’ombrage reçu par celles-ci. La distance entre les arbres ou bosquets proches et l’origine de chaque placette a été relevée, ainsi que la hauteur et l’azimut (direction par rapport au nord géographique). Nous avons utilisé ces mesures pour obtenir une estimation de l’ombrage reçu par chaque placette. Ces indications ont permis de construire un indice d’ombrage basé sur les hypothèses suivantes :

- l’ombrage reçu augmente avec la hauteur et diminue avec la distance à la placette,
- l’effet de l’ombrage est minimal pour les objets situés au sud des placettes, est d’autant plus important que l’objet est situé au Nord d’une placette et est similaire pour les objets situés à l’Est ou à l’Ouest.

L’indice d’ombrage estimé est alors basé sur la formule :

$$Io = \left(\frac{H+L}{d^2} \right) \times a$$

avec

- H : hauteur de l’individu isolé ou du bosquet présent dans un rayon de 10 m autour du centre de la placette
- L : largeur de la couronne de l’individu isolé ou bosquet
- d : distance entre l’individu ou bosquet et le centre de la placette
- a : azimuth entre le centre de la placette et l’individu ou bosquet

Sur la base de l’indice estimé, les placettes ont été classées dans 3 niveaux d’ombrage croissant (O1 : faible O2 : modéré, O3 : élevé) en constituant des groupes contenant le même nombre de placettes.

4.3 Caractérisation du régime des précipitations

Les précipitations reçues au niveau de la zone de reconstitution ont été évaluées à partir de relevés météorologiques effectués par Météo-France à la Grande Chaloupe¹. Ces mesures ont permis d’estimer les montants de précipitations reçues par les placettes au cours des différentes périodes du suivi (cf. p. 116). La figure 1.8 montre les montants des précipitations hebdomadaires pendant la période du 1^{er} janvier 2012 au 26 mai 2014, ainsi que les saisons sèches de 2012 et 2013, définies ici largement comme la période du 1^{er} juin au 31 octobre de chaque année.

Nous observons une forte variabilité hebdomadaire des précipitations au cours des deux années de suivi. De janvier à avril 2012 (17 semaines), les montants cumulés par semaine sont très variables, entre 2 et 200 mm (moyenne : 33 mm, écart-type : 49 mm). Les saisons sèches 2012 et 2013 en revanche montrent une différence faible en terme de montant total de précipitations, la saison sèche 2013 étant légèrement plus marquée avec un total de 65 mm contre 78 mm pour la même période en 2012. En 2012, les précipitations hebdomadaires ont varié entre 0 et 27 mm (5 +/- 7 mm).

Durant la saison humide 2013, de janvier à avril 2013 (17 semaines), les montants cumulés par semaine sont eux aussi très variables, entre 2 mm à 87 mm. Le montant cumulés des précipitations durant la phase de plantation 2013 est par contre plus grand que durant la phase de plantation 2012. Il a beaucoup plus plu en 2013 qu’en 2012 mais de façon plus homogène, plus régulière. En 2012, des périodes de pluies plus ponctuelles et intenses ont eu lieu durant les plantations.

Notons enfin, qu’en janvier 2013 et janvier 2014, l’île de la réunion a subi le passage de 3 cyclones, *Dumile* et *Felleng* successivement en 2013, et *Béjisa* en 2014. Ces intempéries exceptionnelles (Figure 1.8) ont eu un impact modéré mais réel sur les plantations effectuées. Nous avons pu remarquer que

1. Site de la Direction Départementale de l’équipement (DDE) situé à quelques centaines de mètres de la zone de reconstitution.

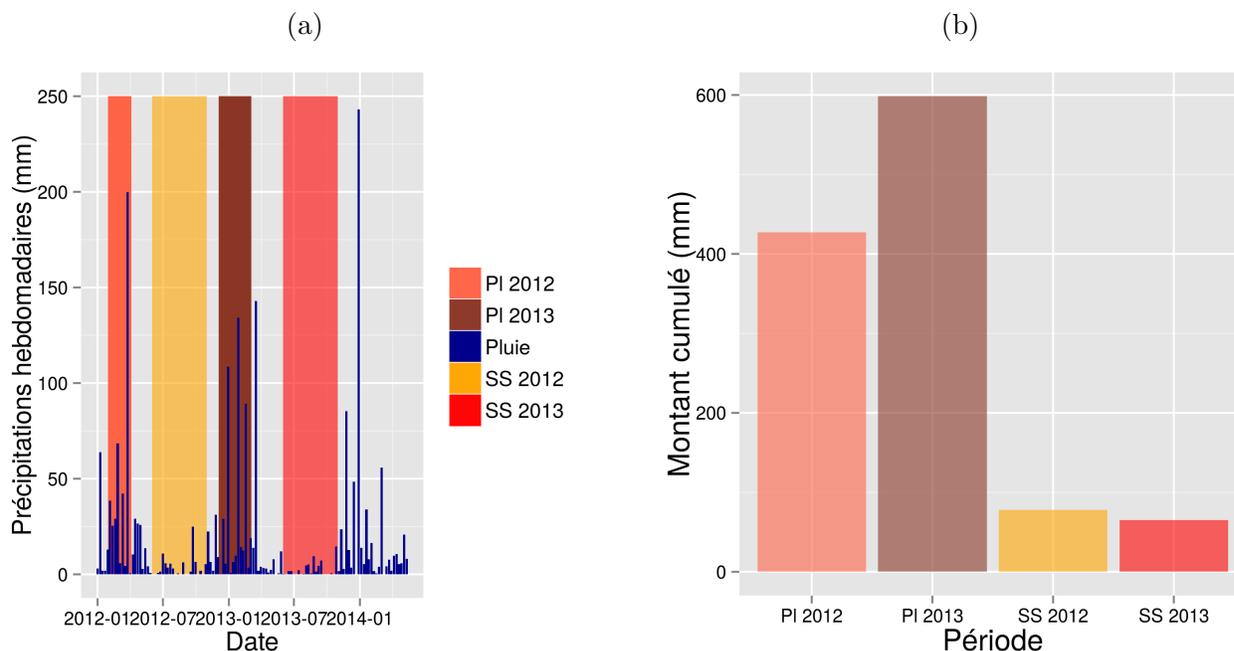


FIGURE 1.8 – Précipitations mesurées à la Grande Chaloupe pour la période du 01/01/12 au 24/06/14. (a) Les barres bleues montrent les quantités de pluie hebdomadaires, les couleurs indiquent les périodes de plantations (PI) en 2012 et 2013 ainsi que les saisons sèches (SS), (b) Montants cumulés des précipitations par période du graphique en (a).

les plants ont souffert des vents tourbillonnants liés au cyclone et ont couché/mis à nu le système racinaire des plants de grande taille (Figure 1.9). Des actions rapides ont alors été mises en place afin de « remettre sur pied » les plants couchés lors des cyclones dans la mesure du possible.

4.4 Éléments de pédologie de la zone

4.4.1 Méthodes

Hormis le dégagement du couvert végétal exotique, les travaux de préparation du terrain à la pelle araignée ont eu pour effet de perturber de façon notable les horizons superficiels du sol. Le dégagement de roches en surface a mis en évidence la présence d'un sol plus ou moins profond mis à nu dont l'examen visuel a pu être possible en surface à l'échelle de la zone. Les premières observations de terrain ont permis de distinguer deux types de sols majoritaires, situés soit en planèze, soit en bordure de ravine. Afin de caractériser les conditions édaphiques de la zone, des sondages à la tarière ont été effectués en une vingtaine de points (dans la limite physique de pénétrabilité).

Ces sondages ont permis d'observer les profils pédologiques en différents points de la zone de reconstitution. Par ailleurs, des échantillons de sol ont été prélevés pour des analyses physico-chimiques. Deux sessions de prélèvements sur la zone de reconstitution ont concerné les zones de plantation 2012 et 2013. Au total, huit prélèvements ont été analysés sur la zone de reconstitution. Les 30 premiers centimètres du sol ont été prélevés, homogénéisés en mélange, puis une quantité

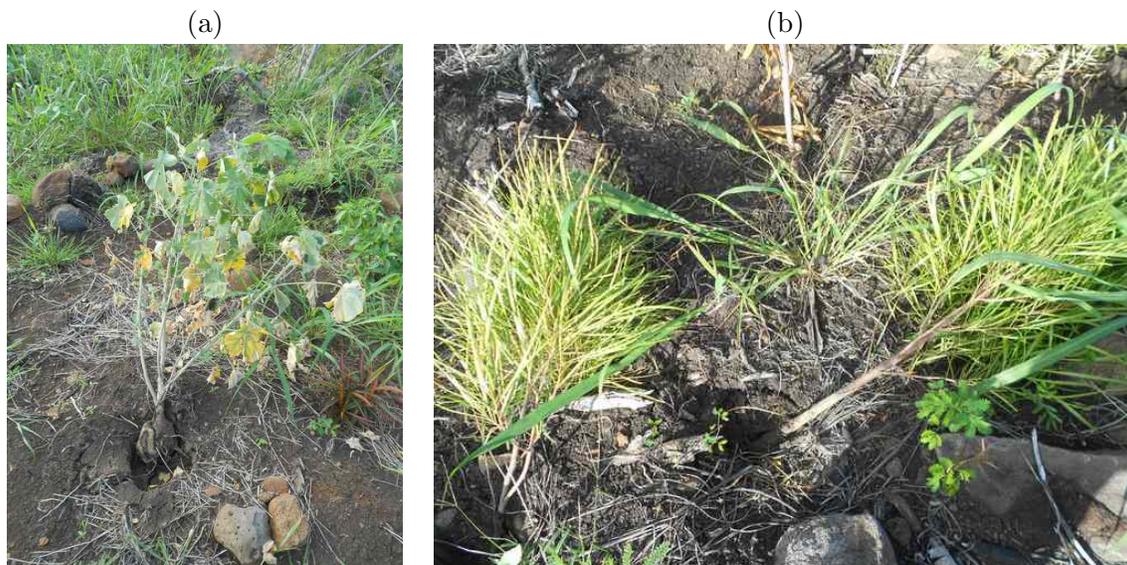


FIGURE 1.9 – Impacts des vents cycloniques sur les plants, (a) système racinaire mis à nu chez *Abutilon exstipulare*, (b) *Dodonea viscosa* couché suite à des vents violents.

totale d'environ 1 kg a finalement été conservée. Le sol frais a été stocké dans un sac plastique épais fermé hermétiquement, au frais ($<10^{\circ}\text{C}$) et à l'obscurité, puis acheminé au laboratoire deux jours après les prélèvements.

Afin d'établir une comparaison avec un sol d'habitat forestier (page 88), cinq autres prélèvements en zone forestière ont été effectués au Cap Francis, Zone 5 du volet restauration écologique

Des analyses pédologiques effectuées par le laboratoire d'analyses agronomiques du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique et Développement (CIRAD) ont permis de mesurer le pH, selon deux méthodes, ainsi que la composition en éléments chimiques : N, C, P, K, Ca, Mg, Na. La capacité d'échange cationique (CEC) a été mesurée pour chacun des prélèvements. Enfin, une analyse physique a consisté à mesurer l'humidité à pF 2 et pF 4,2, respectivement nommé capacité au champ² et point de flétrissement permanent³. La différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent donne la réserve en eau utile (R.U.) définie comme étant la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la végétation (BAIZE, 2000).

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés dans les tableaux A.5 et A.6.

4.4.2 Analyses de sol sur la zone de reconstitution écologique

Zone de plantation 2012 Les résultats de sondage à la tarière ont mis en évidence la présence d'un horizon superficiel riche en argile, d'épaisseur variable entre 40 et 90 cm. Les épaisseurs maximales ont été observées en zone de plateau, parfois associées avec la présence de *Juncus effusus*, espèce caractéristique de milieu humide (Figure 1.10) ! En bordure de planète, la richesse en argile

2. quantité d'eau maximale qu'un sol peut contenir

3. humidité relative du sol à partir de laquelle une plante en général ne peut plus prélever d'eau.



FIGURE 1.10 – Photographie d’une zone à *Juncus effusus*, espèce caractéristique de milieu relativement humide.

ainsi que l’épaisseur de l’horizon argileuse diminuent, comme c’est le cas couramment à La Réunion (RAUNET, 1991). Ces observations sont complétées par les analyses pédologiques réalisées en laboratoire (résultats bruts présentés en annexe p.123). Les quatre échantillons appartiennent à un sol brun peu épais et sols vertiques.

Plusieurs remarques peuvent être faites au niveau de l’analyse physique :

- Les écarts entre l’humidité à pF 2 et pF 4.2, très importants pour les deux premiers échantillons CAPEZR01 et CAPEZR02 (prélèvement milieu de planèze, pente <10 %) révèlent une réserve utile en eau importante (BAIZE, 2000), modulée en fonction de la profondeur du sol et la « pierrosité » du milieu.
- Pour les échantillons CAPEZR03 et CAPEZR04 prélevés en bord de planèze, les valeurs des pF sont normales. Les plantes ont accès aux réserves en eau pour des pF supérieurs à 2,5.

Les analyses chimiques montrent des propriétés comparables entre échantillons. Les pH des 4 échantillons sont légèrement acides, proches de la neutralité (7). La capacité d’échange cationique (CEC) des sols échantillonnés est élevée, indiquant une bonne capacité de stockage des éléments nutritifs (BAIZE, 2000). La conductivité est faible pour l’ensemble des 4 échantillons, ce qui signifie que la solution du sol est très peu chargée : les ions assimilables (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+) sont fortement mobilisés par le complexe argilo-humique du sol. La teneur en matière organique, indiquée par le taux de carbone (C), est relativement élevée (hormis pour l’échantillon CAPEZR01, moyenne pour un vertisol). Enfin, les rapports C/N sont pour l’ensemble des échantillons supérieurs à 10 (indicateur du degré de dégradation de la matière organique, (BAIZE, 2000)) et indiquent une bonne disponibilité de l’azote (N) pour les plantes, élément central dans la synthèse des protéines et nécessaire pour le développement du feuillage et des parties aériennes.

Concernant les analyses chimiques élémentaires, les comparaisons se feront par rapport à un vertisol typique (RAUNET, 1991) :

- Teneur en phosphore : il existe une forte carence en phosphore dans l'ensemble des échantillons. Le phosphore est particulièrement utile à la reproduction (production de fleurs, fruits et graines) et important pour la vitalité des racines car il aide à la fabrication des fibres. Il joue un rôle actif dans la résistance aux maladies, la construction des parois cellulaires et le métabolisme (échanges énergétiques *via* ATP/ADP).
- Teneur en magnésium (Mg) : les teneurs en Mg sont très élevées pour l'ensemble des 4 échantillons, certainement dues à la nature de la roche-mère (basaltes riches en minéraux ferro-magnésiens, dont l'olivine ((Mg,Fe)₂SiO₄). Le magnésium intervient en particulier dans la constitution de la chlorophylle et la synthèse des acides aminés. En cas de carence, il migre vers les parties les plus jeunes de la plante ce qui provoque un jaunissement des feuilles plus âgées. En excès il pourrait diminuer, par inhibition, l'efficacité du potassium.
- Teneur en sodium (Na) : les valeurs sont légèrement élevées mais négligeable.
- Teneur en potassium (K) : les valeurs observées sont dans la norme pour ce type de sol. Le potassium participe activement au développement des fleurs et des fruits et assure la résistance des tiges et branches. Au cours de la croissance, il joue un rôle central dans l'absorption et du transport de l'eau, ainsi que dans l'activation d'enzymes.
- Teneur en calcium (Ca) : les teneurs élevées révèlent une saturation en calcium due principalement à l'abondance d'argiles minérales (smectites). Le calcium est central dans la consolidation des parois cellulaires, et l'amélioration de la résistance aux stress externes. Un excès de calcium peut toutefois induire des carences en d'autres éléments ou limiter leur action (le fer dans le complexe argilo-humique).

Zone de plantation 2013 Les trois échantillons prélevés sur la zone de plantation 2013 révèlent des sols ferrallitiques (voir annexe p. 127 et suivantes). Les sondages à la tarière (12 profils effectués) font apparaître des sols de profondeur variable entre 37 et 70 cm (limite de pénétration de la tarière), comparables aux profils de la zone de plantation 2012, riches en argiles et ayant très peu de litière, celle-ci ayant été en majorité éliminée au cours des travaux de préparation mécanique. Dans l'ensemble, les analyses montrent des propriétés comparables entre échantillons. Les prélèvements révèlent des sols au pH voisin de 7, à CEC forte (de l'ordre de 50 méq/100g MS105) leur conférant une bonne capacité de stockage des éléments nutritifs. Le complexe adsorbant est quant à lui fortement saturé. La conductivité est faible, la solution du sol est très peu chargée en ions, là aussi tous fixés sur le complexe adsorbant. Le rapport C/N >10 indique une bonne minéralisation du milieu, et une bonne disponibilité de l'azote pour les plantes. Les mesures chimiques élémentaires révèlent :

- une teneur en phosphore faible (entre 7,86 et 10,7 mg/kg MS105).
- une teneur en magnésium supérieure à la teneur en calcium, toutes deux très élevées pour les trois échantillons,
- le sodium est légèrement excédant.
- une teneur en potassium normale, de l'ordre de 0,09 à 0,14 méq/100g sec.

Les analyses physiques (mesure d'humidité pF2 et pF 4,2) montrent pour les trois échantillons une réserve en eau utile normale (écart entre WpF2 e WpF4.2) comprise entre 19 et 30.

Les résultats des analyses physiques et chimiques du sol des plantations 2013 sont très similaires à ceux de la zone de plantation 2012. Les sols sont globalement fertiles avec un pH proche de 7, une CEC forte et une conductivité faible, montrant une bonne minéralisation. Ils sont de type sol brun vertique, correspondant à l'unité réunionnaise 9 des sols bruns vertiques sur altérites tronquées (RAUNET, 1991). Leurs propriétés chimiques sont assez favorables, mais restent sources de contraintes avec la présence d'argiles de type smectites, donnant au sol des propriétés particulières de gonflement, engorgement, et retrait potentiellement néfastes au système racinaire. Ils sont relativement imperméables et favorisent le ruissellement et l'érosion.

5 Résultats du suivi et interprétations

5.1 Analyse de la survie / mortalité des plants à l'échelle des placettes

L'analyse de la mortalité est décrite dans les sections suivantes sur la base de taux annuels estimés, afin de faciliter les comparaisons entre périodes de durées différentes (taux de mortalité = 1- taux de survie). Il s'agit de taux au sens strict (annualisés, en $\%.an^{-1}$), supérieurs aux taux bruts mesurés lors des différents passages, qui représentent en réalité une proportion d'individus morts (en % pour la période considéré). Les tableaux de résultats fournissent les deux types de valeurs.

Dans la suite, l'influence de la mortalité de différents facteurs, y compris environnementaux, est décrite facteur par facteur. Une analyse statistique est présentée afin de dissocier leurs effets respectifs dans la mesure du possible.

5.1.1 Effet des précipitations sur la mortalité

On s'intéresse en particulier à la période de reprise, celle-ci étant supposée critique pour l'implantation des espèces sur le terrain et le succès des opérations de reconstitution. La figure 1.11 représente la relation entre le taux de mortalité estimé pour la période de reprise et le montant des précipitations mesurées par semaine de plantation pour les saisons 2012 et 2013. Cette période a été définie ici d'une durée de cinq semaines. Les précipitations en 2012 ont été plus fortes que celles de 2013 durant la période de plantation, notamment pendant les semaines S5 et S10. La mortalité lors de la période de reprise apparaît supérieure pendant la première phase 2012 en comparaison de la deuxième phase (2013). Les taux estimés sont également bien corrélés avec le montant des précipitations (Figure 1.11). Les plantations effectuées lors de fortes pluies en 2012 ont donc subi une mortalité élevée dans l'ensemble. En particulier les semaines S5 et S10 montrent une mortalité très élevée et correspondent à de fortes précipitations hebdomadaires (Figure 1.12). Concernant la deuxième phase de plantation (2013), on constate l'absence de corrélation entre le taux de mortalité et les précipitations, ainsi qu'une mortalité nettement inférieure pendant la période de reprise. Cette différence pourrait s'expliquer par l'effet des mesures préconisées et mises en place en 2013 pour suspendre les plantations lors des fortes pluies.

5.1.2 Mortalité par modalité de plantation et période

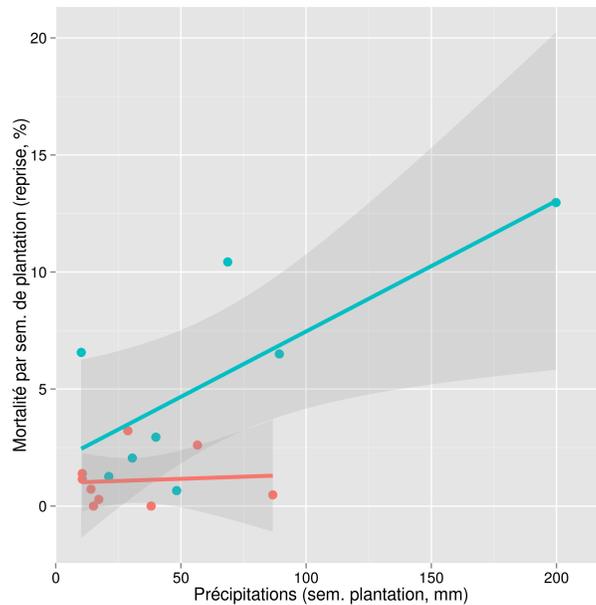


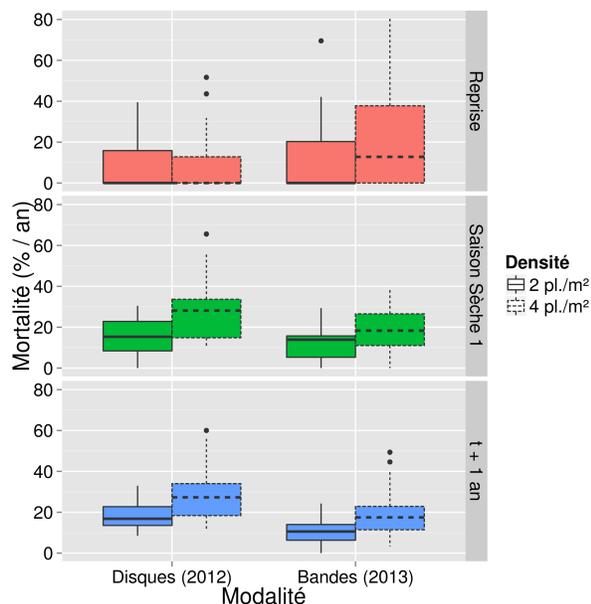
FIGURE 1.11 – Relation entre le taux de mortalité estimé par semaine de plantation (en bleu, S1 à S12, saison 2012 ; en rouge, S1 à S14, saison 2013) pour la période de reprise et le montant des précipitations reçues pendant la semaine de plantation. Les taux de mortalité les plus forts en 2012 ont été observés pour les semaines S5 et S10 correspondant au plus fort montant hebdomadaire de précipitations.



FIGURE 1.12 – Aspect d’une placette ayant suivi une inondation prolongée après de fortes précipitations par « effet de cuvette ».

Les relevés ont permis d’estimer le taux de mortalité annuel pendant les périodes de reprise, lors de la première saison sèche, ainsi que pendant la première année ayant suivi les plantations ($t + 1$ an) selon les différentes modalités de plantation (Figure 1.13). En période de reprise, les taux de mortalité sont faibles en moyenne (Figure 1.13 haut), la grande majorité des plants a pu survivre sur de nombreuses placettes. Toutefois, c’est également la période où ces taux sont les plus variables, parfois supérieurs à 40 %/an, en particulier en 2013 (plantations en bandes). La mortalité augmente ensuite au cours de la première saison sèche. Les taux sont en revanche similaires entre la saison sèche et la première année de suivi (Figure 1.13, milieu et bas), ce qui indique que la mortalité s’est majoritairement concentrée pendant la période sèche.

Dans l’ensemble, les différences de mortalité entre les deux types principaux de géométrie de plantations (disques *vs* bandes) sont faibles, mais significatives (cf. *p-value* pour coefficients des lignes Bandes, Figure 1.13 droite). Il existe un effet favorable des plantations en disques, au moins à court terme. Toutefois, l’effet de la géométrie est confondu ici avec l’effet de l’année de plantation et



Saison	Variable	Est.	Err. std.	p
Reprise	Bandes	-0.204	0.102	*
	D2	-0.183	0.102	.
	Inter.	0.364	0.102	***
SS1	Bandes	0.289	0.041	***
	D2	-0.311	0.041	***
	Inter.	-0.053	0.041	
t + 1	Bandes	0.314	0.031	***
	D2	-0.290	0.031	***
	Inter.	0.015	0.031	

FIGURE 1.13 – *Gauche* : Relations entre les taux de mortalité annualisés estimés par placette au cours du suivi et les différentes modalités de plantation (géométrie et densité de plantation) pour 3 périodes : période de reprise (plantations + 5 semaines), saison sèche de la première année (2012 ou 2013 selon les modalités) et un an après les plantations. Seules les modalités principales A, B (bandes) et D, E (disques) sont considérées, et les semaines de plantation hors S5 et S10 ($n = 151$ placettes). *Droite* : Tableau des coefficients des modèles de mortalité par période (GLM binomial) selon les modalités de plantation : géométrie (bandes et disques) et densité de plantation. Reprise, SS1 : première saison sèche, t + 1 : première année après plantation. Est. : coefficient estimé, Err. std. : erreur standard, p : p-value. Bandes : géométrie de plantation, D2 : densité 2 plants/m², Inter. : interaction entre les facteurs géométrie et densité. Pour chaque facteur, la somme des coefficients des modalités est nulle, par ex. : coeff. pour modalité ‘Disques’ en période de reprise : 0.204, ce qui indique une effet positif par rapport à la modalité ‘Bandes’.

reste faible malgré la différence d'année de plantation entre les 2 géométries. Concernant la densité de plantation en revanche, l'effet est également plus marqué et significatif à partir de la saison sèche suivant les plantations (Figure 1.13). La mortalité est plus faible dans les cas de faible densité (Figure 1.13, coeff. <0 pour D2) : les placettes avec une densité de 4 plants/m² montrent une mortalité plus élevée en saison sèche que celles plantées à 2 plants par mètre carré (Figure 1.13). Ces différences sont cohérentes avec les tendances attendues comme conséquences de la compétition interspécifique, par exemple compétition racinaire plus intense lorsque la densité de plantation augmente.

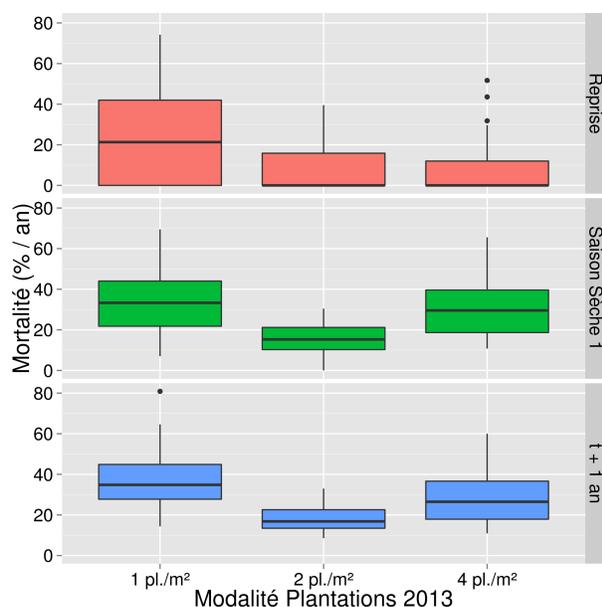
La figure 1.14 représente le taux de mortalité pour les plantations de la deuxième phase uniquement (2013, Tableau 1.1), regroupant ainsi 3 densités de plantations différentes (1, 2 et 4 plant/m²), et deux géométries différentes (en bande et en plein). La comparaison se fait donc sur la même année de suivi. En reprise, tout comme pour les autres périodes de suivi, les plants issus de la modalité à 1 pl./m² (C), réagissent beaucoup moins bien que les autres modalités. Cet effet peut être également dû à la situation de la modalité C en bas de pente et au décalage des plantations pendant les fortes pluies de 2013. A t+1 an les plantations à 1 plant/m² ont le plus fort taux de mortalité (35 %). A l'inverse, les plantations en bandes à 2 plant/m² réagissent le mieux durant les trois périodes de relevés avec des taux de mortalité annuels estimés de 20 %.

5.1.3 Relations entre mortalité et groupes écologiques

La figure 1.15 représente le taux de mortalité des espèces plantées par groupe écologique (espèces pionnières, dryades et forestières, cf. Annexe p. A.1) pour l'ensemble des placettes étudiées, et pour différentes périodes du suivi. Il existe à première vue une forte variabilité du taux de mortalité au sein des différents groupes. La mortalité des différents groupes varient toutefois selon la période concernée. Le stress subi au cours de l'implantation sur le terrain (période de reprise) semble avoir affecté les espèces de façon homogène, indépendamment de leur groupe écologique. Au cours de la saison sèche suivante en revanche, les espèces pionnières ont réagi de façon homogène, elles ont nettement mieux survécu que les espèces des autres groupes, ainsi qu'un an après plantation. Les espèces dryades et forestières montrent des réponses relativement similaires entre les deux groupes, mais beaucoup plus variables au sein des groupes. Ces résultats sont dans l'ensemble cohérents avec le comportement attendu des différents groupes écologiques, même si l'on pouvait toutefois s'attendre à des différences plus importantes entre le groupe des dryades et des espèces forestières.

5.1.4 Influence de l'ombrage sur la mortalité

Effet d'ensemble L'estimation du niveau d'ombrage reçu par chaque placette permet de relier la mortalité observée sur le terrain avec le niveau de stress induit par un fort ensoleillement. L'effet de l'ensoleillement attendu est *a priori* plus fort pendant la deuxième période du suivi (saison sèche) et d'autant plus fort que la densité de plantation est importante, du fait de la compétition pour la ressource en eau. L'interaction entre le niveau d'ombrage et la densité reste toutefois difficile à prédire car des effets de facilitation (protection des petits plants par les plus grands) peuvent également entrer en compte et être favorisés par une densité de plantation élevée. Le couvert limite également l'évapotranspiration à partir du sol.



Saison	Variable	Est.	Err. std.	p
Reprise	D1	0.89	0.175	***
	D2	-0.34	0.180	.
SS1	D1	0.27	0.086	**
	D2	-0.52	0.075	***
t + 1	D1	0.46	0.067	***
	D2	-0.51	0.056	***

FIGURE 1.14 – Relations entre les taux de mortalité annualisés estimés par placette au cours du suivi et la densité de plantation (axes des abscisses) : 1 (C, plein), 2 (A, bandes) et 4 pl./m² (B, bandes) pour 3 périodes (de haut en bas : période de reprise (plantations + 5 semaines), saison sèche de la première année (2013) et t + 1 an après plantation). *Droite* : Coefficients des modèles de mortalité par période pour la deuxième phase de plantation (2013, GLM binomial), $n = 82$ placettes, seul le facteur densité est testé ici (confondu avec la géométrie pour la densité à 1 pl./m²). Est. : coefficient estimé, Err. std. : erreur standard, p : p-value. D1, D2 : densité à 1 et 2 plants/m². Pour chaque modèle, la somme des coefficients pour le facteur densité est nulle : pour D4, les coefficients sont -0,55 (Reprise), 0,25 (SS1) et 0,05 (t + 1).

La figure 1.16 représente le taux de mortalité estimé en fonction du niveau d’ombrage des placettes et la densité de plantation pour différentes périodes du suivi. Pour la période de reprise, il existe une forte variabilité des taux de mortalité (figure 1.16.a & b) et aucune différence nette montrant un effet de l’ombrage. Cet effet est visible en revanche au cours de la saison sèche suivante et à l’échelle annuelle, mais préférentiellement pour les plantations à densité élevée. Les placettes de densité 2 plants.m² montrent peu de différence de mortalité selon l’ombrage. Au sein des placettes de forte densité en revanche, les plus ombragées montrent en moyenne un taux de mortalité plus faible que les placettes avec un ombrage faible. La situation des placettes avec un ombrage moyen est très variable, notamment pour les plantations de la première phase, avec des taux de mortalité parfois supérieurs aux autres niveaux d’ombrage.

L’estimation du niveau d’ombrage reçu par chaque placette permet de relier la mortalité observée sur le terrain avec le niveau de stress éventuellement induit par un fort ensoleillement. L’effet de l’ensoleillement attendu sur la mortalité est *a priori* plus fort pendant la deuxième période de suivi,

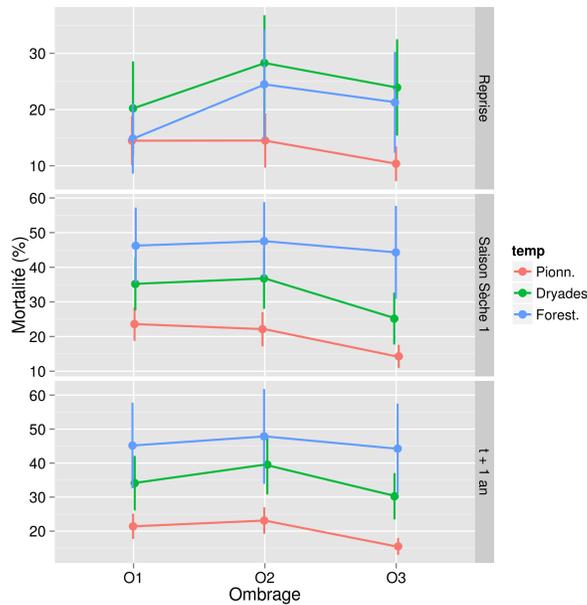


FIGURE 1.15 – Distribution du taux de mortalité estimé par espèce en fonction des groupes écologiques et pour 3 périodes du suivi. Seules les espèces dont l’effectif initial était ≥ 10 individus sont considérées ($n = 33$, cf. Annexe A.2)). Pour les espèces utilisées lors des 2 phases de plantation, un taux moyen entre les 2 phases a été calculé.

correspondant à la saison sèche, que pendant la première et concerne les espèces les plus sensibles (forestières).

L’examen des relations entre mortalité et ombrage conforte en partie ces hypothèses, mais révèle globalement un effet bénéfique limité de l’ombrage préservé lors des travaux sur la survie des plants. Au cours de la première période, la mortalité des différents groupes est relativement constante quelque soit le niveau d’ombrage. Ceci reste vrai chez les espèces pionnières dans la seconde période, qui supportent donc bien les niveaux d’ensoleillement les plus élevés. Chez les espèces des deux autres groupes de succession (dryades et forestiers), on observe une décroissance de la mortalité dans les 2 groupes de placettes les plus ombragées, c’est-à-dire un effet bénéfique de l’ombrage chez ces espèces.

Dans l’ensemble, l’effet de l’ombrage sur la survie au cours de la saison sèche apparaît faible. Un examen plus détaillé montre les espèces connues comme étant les plus sensibles à un fort ensoleillement associé à un stress hydrique important n’ont pas bénéficié de l’effet protecteur de l’ombrage : ANTBOR, APHTHE, CASORI et DIOBOR. Bien qu’« indifférentes » à l’échelle de l’île de La Réunion, au sens où elles sont présentes à la fois en forêt mégatherme hygrophile et semi-xérophile, dans des conditions de stress hydrique important, ces espèces occupent en milieu stressant les habitats les plus favorables en termes de conditions hydriques et d’ensoleillement (ravines, bas de falaises,...). L’ombrage préservé dans l’ensemble sur la zone de reconstitution n’est donc pas suffisant pour permettre une bonne installation de ces espèces dans les premiers temps de la reconstitution.

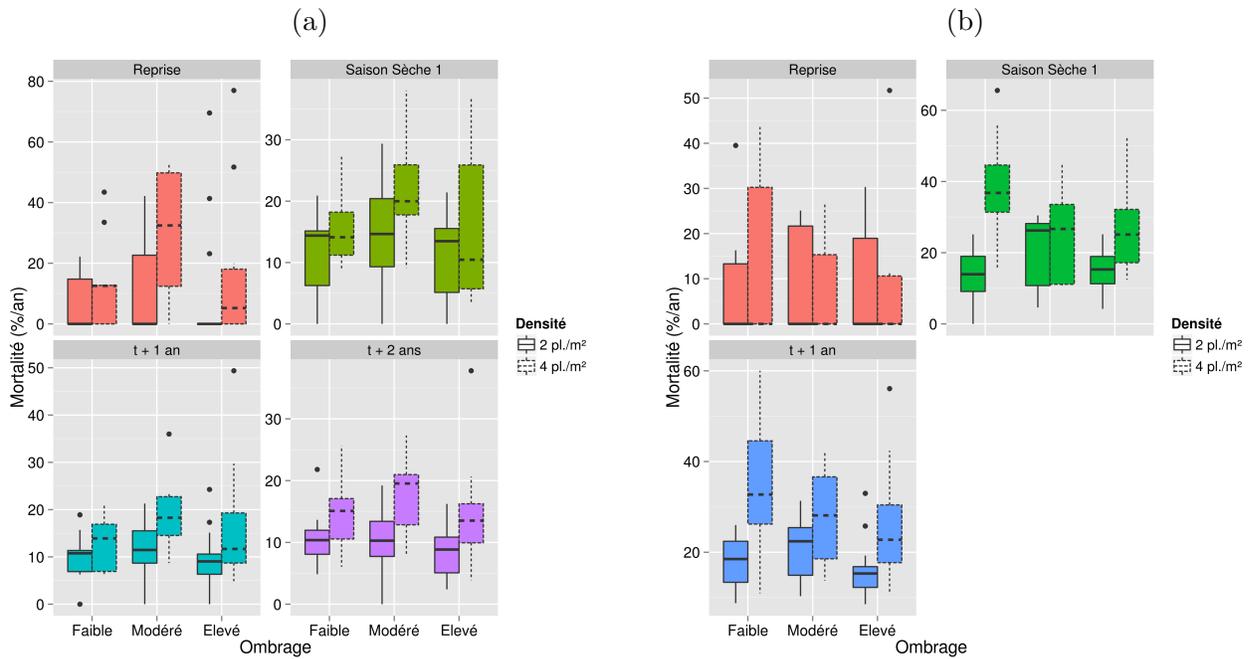


FIGURE 1.16 – Relations entre le taux de mortalité annuel moyen estimé pour les différentes périodes et le niveau d’ombrage des placettes (cf. 4.2, p. 27) : (a) pour les plantations de la première phase (2012, modalités D et E), (b) pour les plantations de la deuxième phase (2013, modalités A et B).

5.1.5 Relation entre taille à la plantation et survie

Une des contraintes des plantations dans le milieu naturel pour le prestataire des travaux était d’obtenir des plants d’une taille suffisante, moins sensibles *a priori* au stress lié à la plantation que des individus plus petits. La figure 1.17 représente la relation entre la taille de l’individu mesurée lors du premier relevé à la fin de la période reprise, soit cinq semaines après plantation, et la survie des plants au cours du suivi. Cette figure montre un effet positif de la hauteur sur la survie des plants : les plants ayant survécu à la fin du suivi, soit deux ans pour les plantations de la première phase et un an pour ceux de la deuxième phase, étaient en moyenne plus grands au moment de la plantation ($h \approx 49$ cm) que les individus retrouvés morts ($h \approx 41$ cm).

Ce résultat peut-être nuancé selon les espèces introduites dans la zone de reconstitution (cf. Annexe A.10, p. 134). Les différences de taille à la plantation entre les individus morts ou ayant survécu sont en général faibles, mais vont dans l’ensemble dans le sens d’une meilleure survie des plants de taille supérieure.

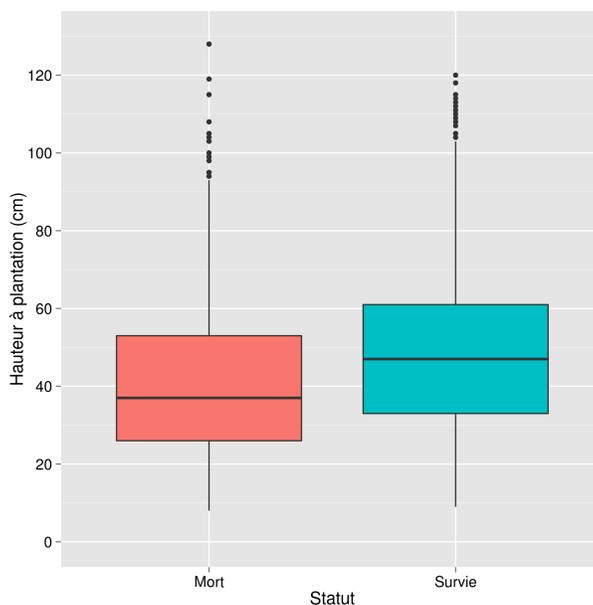


FIGURE 1.17 – Relations entre la taille de l'individu à la plantation et le taux de survie.

5.2 Suivi et évaluation de la croissance

5.2.1 Croissance par espèce

Afin synthétiser les résultats de croissance, une analyse de classification hiérarchique a été réalisée en prenant en compte l'ensemble des variables (croissance absolue et relative, $n = 6$). Quatre groupes ont été retenus par souci de simplicité (Figure 1.18). Quatre espèces, *Abutilon exstipulare*, *Phyllanthus casticum*, *Dombeya acutangula* et *Dodonea viscosa* constituent les espèces les plus rapides pour la croissance (Figure 1.19). Un second groupe contenant *Doratoxylon apetalum* et *Stillingia lineata* en particulier, deux espèces de taille réduite à la plantation, montrent de bonnes performances, bien qu'un peu moindres. Le troisième groupe contenant les espèces du genre *Ficus* et les Monocotylédones (*Dracaena reflexa*, *Latania lontaroides*) sont moins performantes, en particulier du point de vue de la hauteur. Enfin le quatrième groupe contient les espèces les moins performantes dans l'ensemble et montrant également une survie relativement faible.

Les mesures de croissance ont mis en évidence des comportements très variables entre espèces. En terme de croissance absolue, les estimations varient entre 6,0 (*Eugenia buxifolia*) et 51,8 cm/an (*Abutilon exstipulare*) de croissance moyenne en hauteur pour la première année après plantation⁴, entre 4,0 et 64,9 cm/an pour la couronne, les mêmes espèces montrant les valeurs extrêmes, et entre 1,7 (*Coptosperma borbonica*) et 19,3 mm/an (*Abutilon exstipulare*) pour le diamètre à la base. La figure 1.19 présente la croissance de l'ensemble des espèces suivies. Les résultats pour la croissance absolue montrent les variations de taille réalisées par les différentes espèces ramenées à la durée de

4. L'espèce *Dictyosperma album* a montré une croissance quasi-nulle avec des individus pour la plupart en dépérissement.

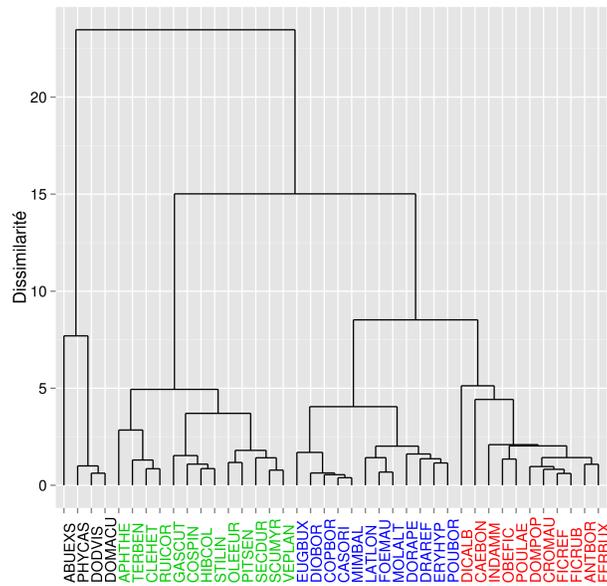


FIGURE 1.18 – Classification hiérarchique des espèces à partir des valeurs moyennes de croissance absolue et relative pour les trois dimensions mesurées (hauteur, diamètre au collet, diamètre de couronne). Les espèces sont finalement classées en 4 groupes.

la période considérée, en cm.an^{-1} . Les résultats obtenus pour la croissance relative permettent de comparer les espèces entre elles sur une échelle de performance, c'est-à-dire une variation de taille sur une période donnée ramenée à la taille des individus, en cm.cm.an^{-1} (ou an^{-1} , POORTER et GARNIER, 2007).

Les résultats de croissance absolue présentent un intérêt plutôt opérationnel pour les gestionnaires : ils permettent de distinguer les espèces les plus performantes en moyenne pour ce critère et d'optimiser ainsi un choix d'espèces indigènes pour l'occupation rapide de l'espace et la production de biomasse et ainsi limiter les effets de la compétition avec les espèces exotiques. Toutefois, cette mesure de croissance dépend de la taille caractéristique des espèces, voire de la taille des individus au moment des plantations : une espèce ou des individus plus grands auront tendance à montrer des accroissements plus importants que des espèces ou des individus de taille plus limitée : par exemple, *Dombeya acutangula* vs. *Fernelia buxifolia*. La croissance relative peut alors être utilisée pour prendre en compte ces différences et faciliter la comparaison des vitesses de croissance entre espèces (POORTER et GARNIER, 2007). Cette mesure de croissance permet de caractériser les performances relatives des espèces d'un point de vue écologique.

Il est intéressant de constater que le classement des espèces varie selon la mesure retenue pour la comparaison, absolue ou relative. Parmi les espèces présentant la plus forte croissance absolue en hauteur, on peut retenir en particulier *Abutilon exstipulare*, *Phyllanthus casticum*, *Dombeya acutangula* et *Dodonea viscosa* (Figure 1.19). Des espèces comme *Ruizia cordata*, *Gastonia cutispongia* et *Clerodendrum heterophyllum* montrent une croissance en hauteur relativement élevée mais en

revanche une croissance plutôt faible pour la couronne. Parmi les 10 espèces avec les vitesses de croissance les plus élevées, 5 sont des espèces pionnières, 3 des dryades et 2 des forestières. À l'autre extrémité de l'axe, *Eugenia buxifolia*, *Diospyros borbonica* et *Coptosperma borbonica* en particulier sont les espèces ayant la plus faible croissance en hauteur parmi l'ensemble des espèces réintroduites, inférieure à 10 cm.an^{-1} sur la période considérée. Ces résultats sont à nuancer, car pour ces espèces les plants introduits étaient de petite taille au moment des plantations. Ces espèces montrent toutefois une croissance relative également faible.

La figure 1.20 représente les mesures de croissance relative obtenues par groupe écologique (cf. Tableau A.1). Comme attendu, les espèces pionnières montrent une croissance plus rapide que les espèces dryades et forestières, notamment en diamètre de couronne et diamètre à la base. De façon plus surprenante, les espèces forestières montrent une croissance relative en hauteur similaire à celle des espèces pionnières. Pour la croissance en couronne, les dryades croissent en moyenne avec des valeurs similaires aux espèces forestières, elles présentent toutefois une variabilité interspécifique plus importante (Figure 1.20).

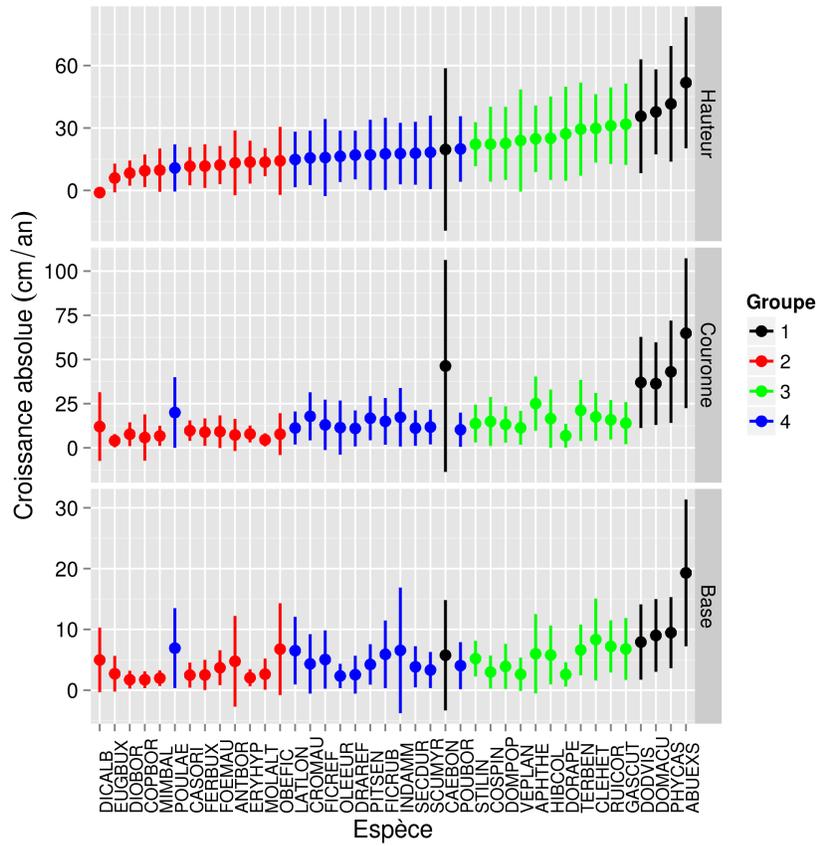
5.2.2 Croissance par modalité de plantation

Première phase de plantation (2012) La figure 1.21 présente la croissance absolue en hauteur des individus plantés, par modalité de plantation pour les périodes 2012-2013 et 2013-2014. Ces mesures concernent les modalités de plantations circulaires, et seules les densités sont comparées. La croissance en hauteur est peu variable selon la densité de plantation (environ 35 cm.an^{-1}). Elle est plus forte la première année de plantation et ralentie lors de la deuxième année. Ces tendances sont similaires sur la croissance en diamètre de la couronne et sur la croissance en diamètre à la base (Annexe A.13, p. 140).

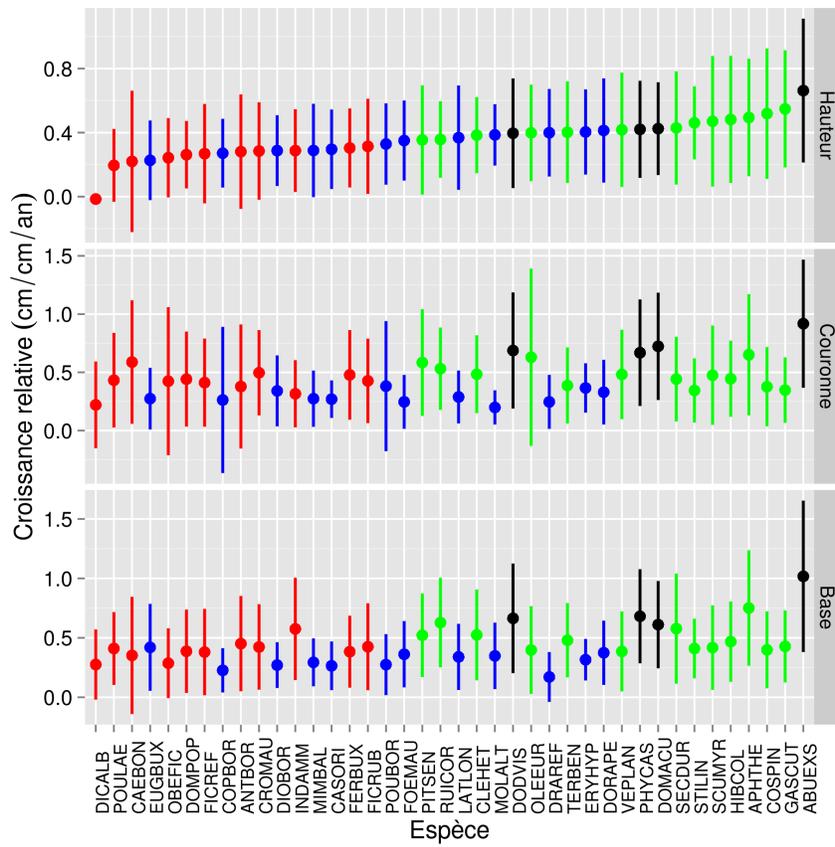
Seconde phase de plantation (2013) La figure 1.21 (b) représente la croissance absolue en hauteur des individus plantés par modalité de plantation pour les plants de la seconde phase (partie basse de la zone de reconstitution) pour la période 2013-2014. Ces mesures concernent donc les modalités de plantations en **bande** et seules les densités sont comparées. Nous remarquons que la croissance en hauteur lors de la première année sont très similaires (environ 15 cm.an^{-1}) quelques

FIGURE 1.19 – (p. suiv.) Croissance des espèces en hauteur, diamètre de couronne et diamètre à la base (collet) pour la première année de suivi après plantation (moyenne \pm écart-type) : (a) croissance absolue en cm/an , (b) croissance relative en cm/cm/an (ou an^{-1}). Les espèces sont classées selon leur vitesse de croissance en hauteur, seules celles avec au moins 5 individus vivants ont été considérées ($n = 40$ espèces). Pour les espèces plantées lors des deux phases (2012 et 2013), la moyenne inter-annuelle a été retenue. Les espèces sont indiquées par un code correspondant aux trois premières lettres des noms de genre et d'espèce (cf. Annexe A.1, p. 113). Les couleurs correspondent au groupe déterminées par classification hiérarchique sur les variables de croissance ($n = 6$).

(a)



(b)



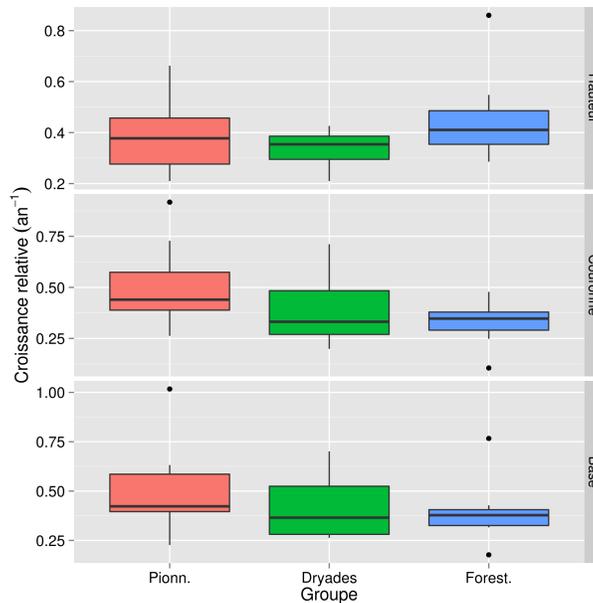


FIGURE 1.20 – Croissance relative des plants par groupe écologique auquel appartiennent les espèces suivies. Croissance relative pour les trois variables de taille mesurées sur le terrain : hauteur, diamètre de couronne et diamètre à la base.

soit la densité de plantation. Ces tendances sont similaires sur la croissance en diamètre de la couronne et diamètre à la base (annexe p.140).

5.2.3 Effet de l’ombrage sur la croissance

La figure 1.22 représente les croissances relatives en hauteur et en couronne des individus selon un niveau d’ombrage estimé : faible, modéré ou élevé (cf. p. 27). Concernant la croissance relative en hauteur, nous remarquons un effet positif de l’ombrage. Plus l’ombrage est fort, plus le taux de croissance en hauteur est élevé. Pour des ombrages faible et modéré, aucune différence n’est notable entre les deux modalités. Concernant la croissance relative en diamètre de la couronne, aucun effet de l’ombrage n’est visible, les taux de croissance ne variant que très peu entre un ombrage faible et un ombrage élevé.

5.3 Suivi et évaluation de l’état phytosanitaire

Le suivi de l’état phytosanitaire a permis d’affiner la description des conditions de développement des plants introduits sur le terrain, et ainsi la performance des espèces plantées, en complément de leur survie. Des indicateurs des symptômes les plus courants ont été relevés (cf. 3.3.2, p. 23) et codés selon deux niveaux d’intensité. Pour chaque symptôme, deux niveaux d’intensité ont été distingués selon la proportion du feuillage concerné : < 50 % ou > 50 %. Dans le cas de la défoliation, ces niveaux ont été estimés par comparaison visuelle avec des individus sains. Les résultats présentés ici rendent donc compte de la sensibilité des espèces introduites dans la zone vis-à-vis des principaux

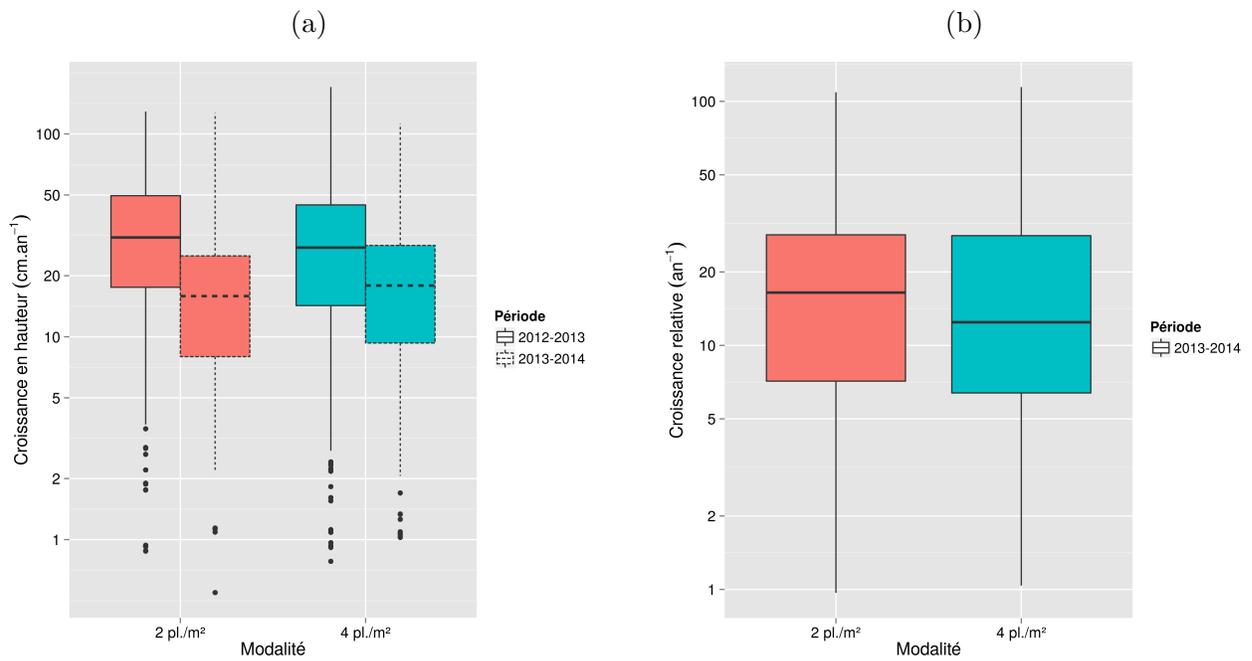


FIGURE 1.21 – (a) Croissance en hauteur par modalité de plantation (D et E) pour les périodes 2012 – 2013 et 2013 – 2014, (b) Croissance en hauteur par modalité de plantation (A, B) pour la période 2013 – 2014. Échelles logarithmiques.

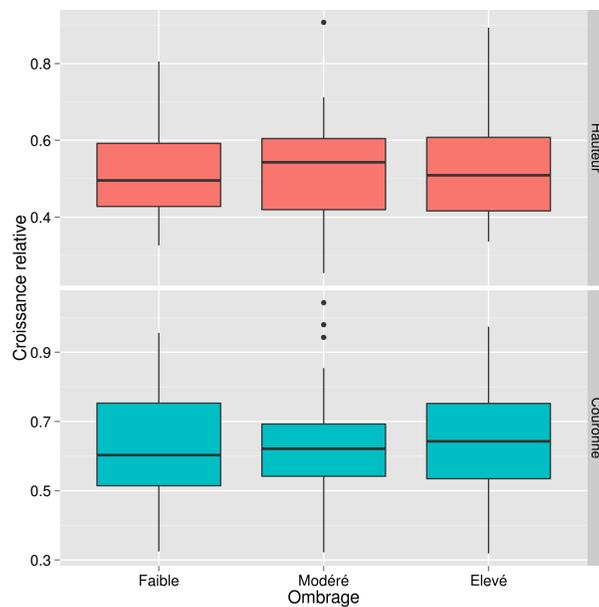


FIGURE 1.22 – Croissance relative en hauteur et en couronne des individus plantés selon le niveau d'ombrage reçu par les placettes suivies (moyenne par placette).

symptômes attendus. La figure 1.23 montre la proportion moyenne d'individus concernés par les symptômes observés tout au long du suivi. Le tableau 1.4, p. 46, synthétise ces résultats par espèce.

Dans l'ensemble, aucun symptôme généralisé n'a été observé de façon critique pour les populations introduites durant les deux années de suivi. Néanmoins quelques remarques peuvent être émises, concernant la sensibilité des espèces :

- *Antirhea borbonica*, *Aphloia theiformis*, *Dictyosperma album* et *Turraea thouarsiana* semblent avoir mal supporté les conditions hydriques de la zone (pluviométrie, ombrage).
- Des cas d'herbivorie ont été constatés pour *Hibiscus columnaris*, *Abutilon exstipulare*, *Ficus reflexa* et *Ficus rubra*, mais leur tolérance semble relativement bonne (Figure 1.24).
- Des attaques de rat et d'achatine ont été constatées sur *Obetia ficifolia* au cours de la deuxième année après plantation en modalités D et E (plantations de 2012). Les attaques étaient localisées sur des secteurs proches de la ravine de la Petite Chaloupe (Figure 1.24).
- Quelques cas d'attaque par oïdium ont été relevés sur *Dombeya acutangula* mais sans conséquence notable sur la survie de l'espèce (Figure 1.24).

TABLE 1.4 – Observations basées sur le suivi de l'état phyto-sanitaire des plants vivants. Des commentaires sont notés pour les espèces présentant un état phyto-sanitaire général potentiellement problématique ou une mortalité élevée. La sensibilité des espèces aux différents symptômes est indiquée selon une échelle qualitative : ~, pas de symptôme observé, +, ++ et +++ : sensibilité faible, moyenne et forte pour le symptôme correspondant. Les codes désignent les espèces selon les trois premières lettres des noms de genre et espèce.

Code	Herbivorie	Stress hydrique	Pathogène	Observations
ABUEXS	++	~	~	Espèce connue pour ne pas supporter l'excès d'eau à la plantation
ANTBOR	~	+++	~	Espèce de sous bois, préférant les milieux ombragés
APHTHE	~	+++	~	Espèce de sous bois, préférant les milieux ombragés en zone sèche
CAEBON	~	++		
CASORI	~	++	~	Espèce préférant les milieux ombragés
CLEHET*	+	~	~	
COPBOR				
COSPIN	+	++	~	
CROMAU*	+	+	~	
DICALB	~	+++	~	
DIOBOR	+	++	+	Espèce de sous bois, préférant les milieux ombragés
DODVIS	+	+	++	

TABLE 1.4 – (cont.)

Code	Herbivorie	Stress hydrique	Pathogène	Observations
DOMACU	+	+	+	
DOMPOP*	~	~	~	
DORAPE	~	++		
DRAREF	~	++	~	Individus bouturés, observations de boutures mortes plantés précocement (absence de racines)
ERYHYP*	~			
EUGBUX	~	+	~	
FERBUX	~	+	~	Plants de taille réduite à la mise en terre
FICREF	++	~	+	Signes d'attaque par chenille tordeuse (Tortricidae)
FICRUB	++	~	~	Signes d'attaque par chenille tordeuse (Tortricidae)
FOEMAU*	~	~	~	
GASCUT*	~	++	~	Pourriture racinaire constatés sur pieds morts : asphyxie due à un excès d'eau
HIBCOL*	++	~	~	Observations d'attaque d'acariens <i>Tetranychus sp.</i>
INDAMM*	~	+	~	
LATLON	~	~	+	Présence de cochenilles et fourmis
MIMBAL	~	++	~	
MOLALT	~	~	~	
OBEFIC*	+++	+	~	Pourriture racinaire constatée sur pieds morts, espèce sensible aux excès d'eau conduisant à l'asphyxie. Attaque de rat et achatine (<i>Achatina fulva</i>) constatées
OLEEUA	~	+	~	
OLEEUR	~	+	~	
PHYCAS	~	~	~	
PITSEN	~	++	~	
PLEPAC	~	+	~	
POUBOR*	~	++	~	Espèce sensible aux excès d'eau, pourriture racinaire observée
POULAE	~	++	~	

TABLE 1.4 – (cont.)

Code	Herbivorie	Stress hydrique	Pathogène	Observations
RUCOR*	+	+	+	
SCOHET*				
SCUMYR	~	++	~	
SECDUR	~	+	~	
STILIN	~	++	~	Espèce sensible aux excès d'eau
TERBEN	+	+	~	
TURTHO	~	+++	~	Aucun symptôme constaté à la reprise, mais 100 % de mortalité après saison sèche pour les plants suivis (effectif faible). Espèce de sous bois, préférant les milieux ombragés
VEPLAN	~	++	~	Fragile à l'état juvénile, préférant les milieux ombragés

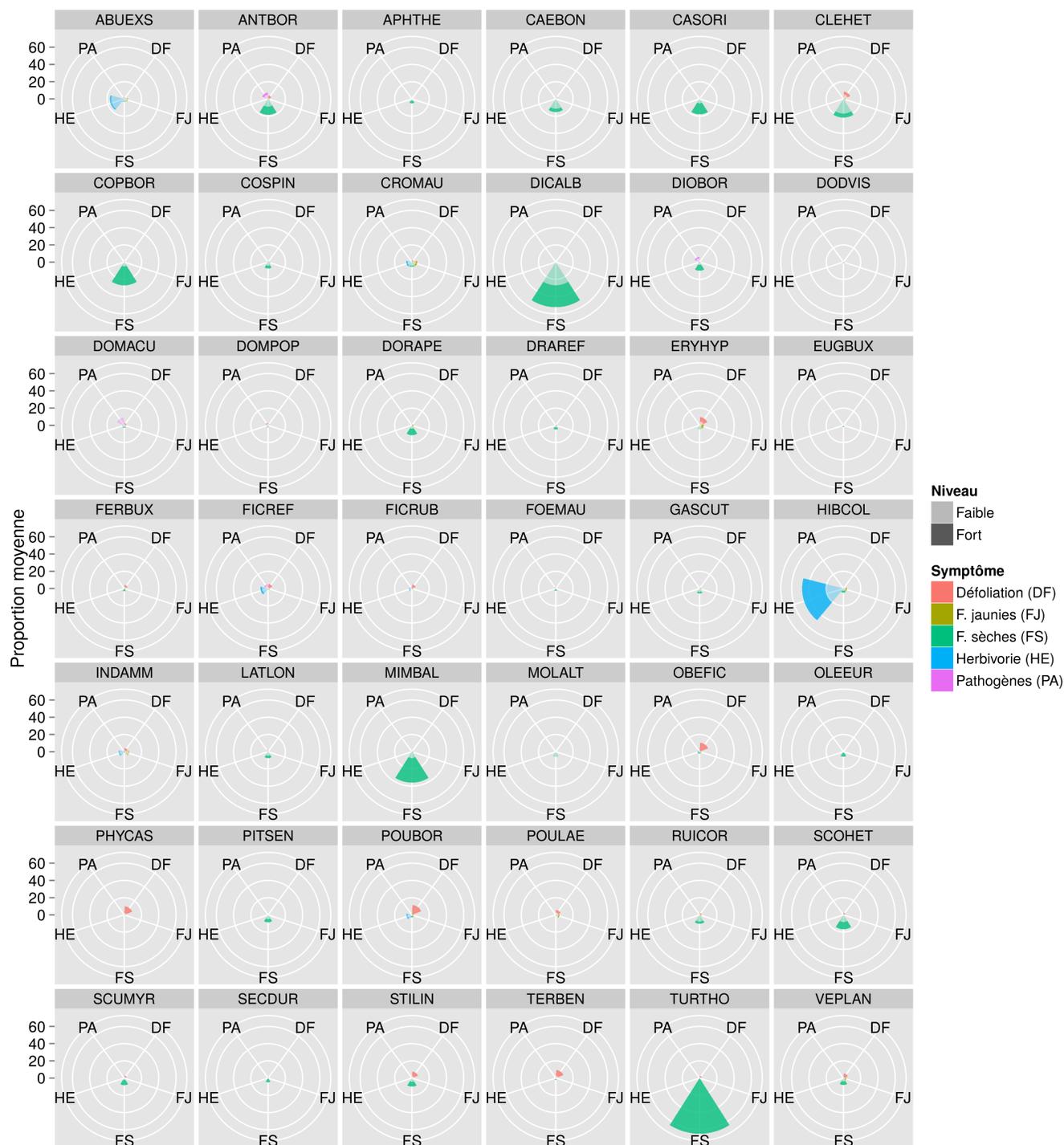


FIGURE 1.23 – Résultats du suivi de l'état phyto-sanitaire des plants afin d'estimer la sensibilité des espèces introduites aux principaux symptômes attendus en zone de reconstitution. Pour chaque type de symptôme et chaque degré (faible / fort), il s'agit de la proportion moyenne des individus observés (%) présentant le type de syndrome (cf. légende).

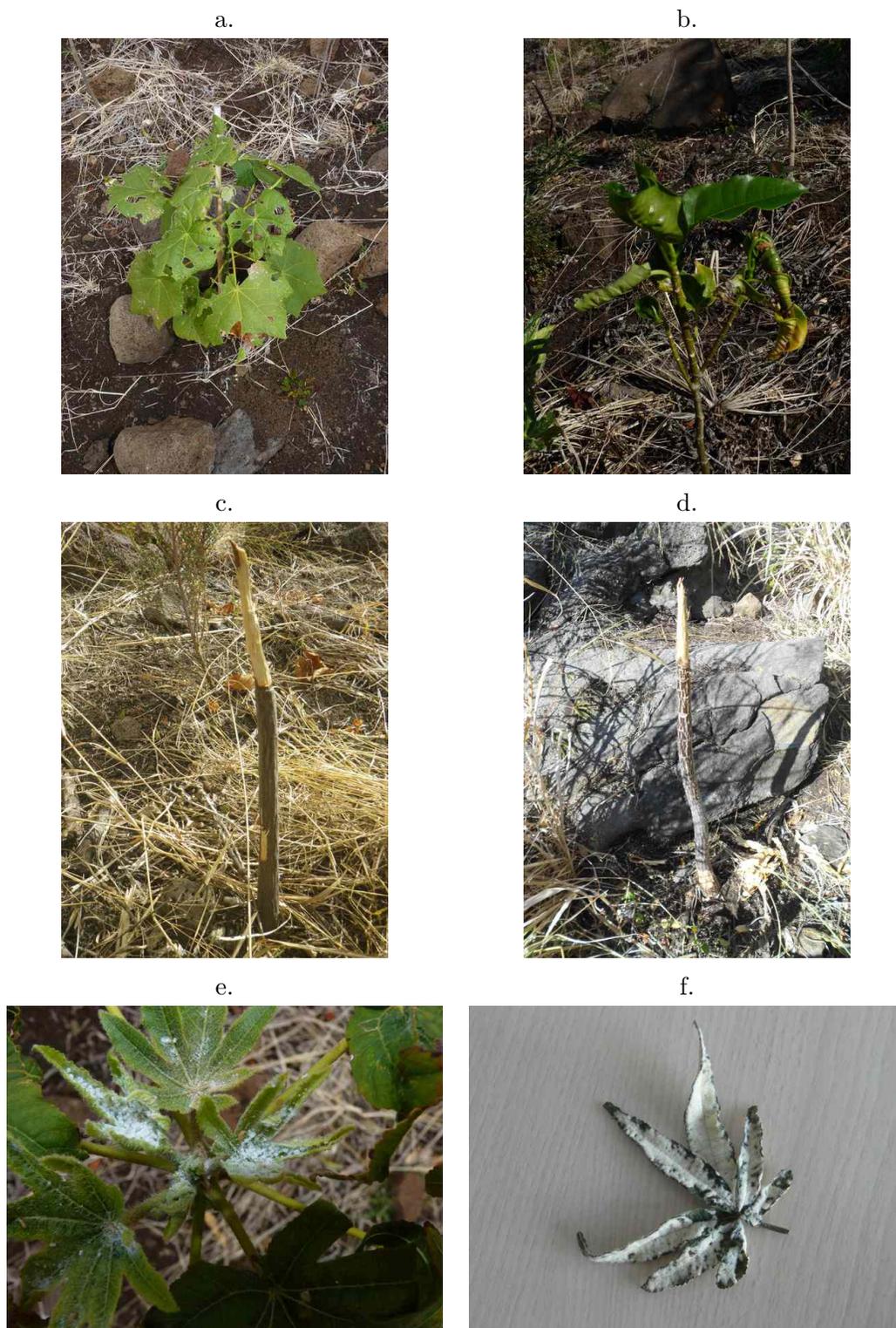


FIGURE 1.24 – Exemple de symptômes observés sur plant : (a) d’herbivorie sur *Hibiscus columnaris*, (b) parasitisme par une chenille tordeuse (Tortricidae) sur *Ficus rubra*, (c) et (d) attaques de rat et achatine sur *Obetia ficifolia*, (e) et (f) cas d’oïdium sur *Dombeya acutangula*.

5.4 Densité de plantation et ré-invasion

L'une des difficultés des opérations de restauration écologique, particulièrement en zone de reconstitution dans le cas du programme COREXERUN, est de limiter les processus de ré-invasion par les espèces exotiques, dans la mesure du possible. Leur développement important peut gêner le développement des plants introduits voire compromettre leur survie. Les espèces herbacées en particulier peuvent en peu de temps coloniser entièrement le milieu, surtout après une perturbation du milieu induite par les travaux de restauration écologique au sens large (dégagement du couvert végétal exotique, dégagement du sol, aménagement des placettes de plantations), comme ceux entrepris dans le cas de la zone de reconstitution. Cette dynamique rapide est nettement visible à partir du suivi de la zone par photographie aérienne (pp. 119 – 122). Afin d'évaluer et quantifier cette dynamique, un indicateur de recouvrement des espèces présentes par placette a été mesuré, en % de la surface concernée, pour l'ensemble des placettes de suivi, et selon différentes strates de hauteur. Pour simplifier, on considère ici le recouvrement total toute strate confondue (somme des recouvrements). La figure 1.25 représente le recouvrement total observé lors du suivi des placettes de plantations dans la zone de reconstitution écologique (A, B, C, D, E, F). Les 4 périodes de suivi sont représentées : reprise, saison sèche, un an après plantation ($t + 1$) et deux ans après plantations ($t + 2$, ne concerne que les placettes de la première phase de plantation).

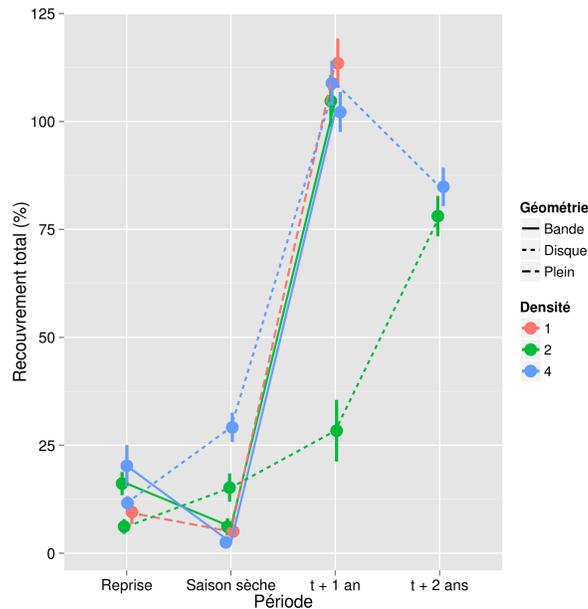


FIGURE 1.25 – Recouvrement végétal total observé lors du suivi des placettes de plantation dans la zone de reconstitution : somme des recouvrement spécifiques (moyenne \pm erreur standard. Densité : en plant.m²).

En fin de période de reprise, le recouvrement au sein des placettes est homogène et compris entre 6 et 20 % en moyenne (Figure 1.25). Au cours de la première saison sèche, les recouvrements évoluent différemment selon l'année de plantation : le recouvrement en fin de saison sèche augmente pour les

plantations de la première phase (2012, disques), et diminue au contraire pour les plantations de la deuxième phase (2013, bandes et plein). Le recouvrement moyen varie alors entre 2 % et 30 % (Figure 1.25).

Un an après plantation, le recouvrement est élevé et supérieur à 100 % pour une majorité des placettes suivies, hormis pour les plantations en disques de densité à 2 pl/m² (Figure 1.25). En saison des pluies, les espèces exotiques ont ainsi totalement ré-ennahit et recouvert les placettes. La différence de trajectoire en fonction de la densité de plantation pour les modalités en disques est à relier aux actions d'entretien (désherbages + paillage) mises en place par le GCEIP : une partie des placettes de suivi avaient fait l'objet de ces actions avant le troisième passage du suivi ($t + 1$), par rapport aux autres placettes qui n'étaient pas encore concernées à ce moment-là.

Enfin, deux ans après plantation, le recouvrement moyen des placettes en disques (2012) reste élevé mais moindre qu'à $t + 1$ an. L'effet des actions de désherbages est notable ici, mais le recouvrement reste important malgré les efforts fournis, le recouvrement par les espèces exotiques « explosant » littéralement à la saison des pluies (cf. photographies aériennes p. 122). En conclusion, après deux années de suivi, les effets de la densité de plantation sur le recouvrement des exotiques et la dynamique de ré-invasion restent peu visibles. Cet effet limité est à également relier aux actions d'entretien dont les conséquences restent difficiles à évaluer et séparer de la dynamique naturelle de croissance de la végétation en l'absence d'un suivi détaillé de ces actions (placettes concernées, dates d'action, méthodes).

Chapitre 2

Suivi et évaluation du volet restauration

Sommaire

1	Description des travaux	53
2	Méthodes d'échantillonnage	56
2.1	Populations d'espèces rares	56
2.2	Suivi de la végétation en place	58
2.3	Suivi de la régénération	58
2.4	Mesure des conditions lumineuses	59
2.5	Étude de la pluie de graines	60
3	Résultats du suivi	61
3.1	Populations d'espèces rares	61
3.2	Lutte mécanique	64
3.3	Suivi du recouvrement végétal	73
3.4	Coupe et ouverture du milieu	75
3.5	Suivi de la régénération	77
3.6	Pluie de graines	81
3.7	Lutte chimique	85

1 Description des travaux et déroulement

Les zones retenues pour la restauration écologique sont localisées dans la ravine de la Grande Chaloupe, entre les communes de St Denis et de la Possession (Figure 2.1). Ces zones forestières plus ou moins envahies ont des caractéristiques différentes décrites dans le rapport de l'étude diagnostic sur leur état de conservation (MADAULE et al., 2010). Dix zones ont été délimitées sur le terrain dans le cadre des études préliminaires au projet, représentant une surface totale d'environ 21 ha. Les limites finales des zones concernées par les travaux ont été établies par le prestataire des travaux (Office National des Forêts (ONF)) en accord avec le maître d'ouvrage (PNRun). La faisabilité des

travaux sur le terrain liées à l'accessibilité, et la délimitation de zones de sécurité pour le travail des ouvriers concernées ont conduit à des zones de surface finalement plus restreinte (Figure 2.1).

Les travaux de restauration écologique se sont déroulés selon deux types d'orientations principales présentées dans le cahier des clauses techniques particulières du marché de restauration écologique (LIFE+/COREXERUN, 2012a) :

1. Actions de restauration prévues sur deux zones (5 et 7) à structure forestière équilibrée et à dominante indigène (MADAULE et al., 2010). Les objectifs de cette action sont de supprimer les espèces exotiques envahissantes (EEE), favoriser la régénération naturelle et de renforcer les populations d'espèces indigènes déjà présentes dans les zones (Article 3.1.1 et 3.1.2 (LIFE+/COREXERUN, 2012a)).
2. Actions de réhabilitation prévues sur huit zones (1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 et 10) à structure forestière déséquilibrée et dominée par des espèces exotiques (MADAULE et al., 2010). Les objectifs de cette action sont la lutte contre les EEE, de favoriser la régénération naturelle et de renforcer les populations d'espèces indigènes déjà présentes dans les parcelles, ou d'enrichir le milieu en espèces indigènes présentes naturellement sur le massif de la Montagne (Articles 3.2.1 et 3.2.2 (LIFE+/COREXERUN, 2012a)).

Concernant la lutte contre les EEE, ces orientations ont finalement été déclinées en deux modalités différant selon l'échelle d'intervention :

Action de dégagement des stations d'espèces rares (A1) Cette action a consisté à dégager mécaniquement les stations d'espèces rares de la végétation exotique concurrente, EEE en



FIGURE 2.1 – Zones de restauration du projet COREXERUN : limites retenues pour les travaux (couleur).

TABLE 2.1 – Surface des zones de restaurations initiales et établies suivant les couches SIG disponibles dans la phase initiale du projet (Z10 manquante initialement) et établie lors des prospections conjointes ONF/PNRun pour la délimitation précise des zones de travaux,

Zone	Surface initiale (m ²)	Surface établie (m ²)
Z1	11723,6	9973,3
Z2	5481,8	11762,5
Z3	19750,5	26814,0
Z4	16445,0	7597,5
Z5	73818,6	16264,1
Z6	14101,6	13067,1
Z7	40968,1	14772,1
Z8	26329,3	21764,0
Z9	16469,1	12127,9
Z10	<i>Non renseigné</i>	25000,8
Total	225087,6	166626,0

particulier, afin de favoriser le développement et la régénération de ces espèces. Les travaux étaient focalisés sur une zone limitée autour de chaque individu connu. Les dix zones ciblées pour les travaux de restauration ont été concernées.

Action de lutte intégrale contre les EEE (A2) Cette action a consisté à lutter contre les EEE à l'échelle des zones de restauration, suivant les recommandations générales fournies par l'étude diagnostic sur l'état de conservation des formations forestières (MADAULE et al., 2010). Ces recommandations ont été complétées par les consignes du maître d'ouvrage issues d'une visite de terrain et rassemblées dans une fiche de prescription par zone. Six zones ont été finalement retenues pour la lutte intégrale, les zones 2, 4, 5, 6, 7 et 10.

Pour les deux types d'action, une lutte dite initiale a été effectuée mécaniquement par les équipes de l'ONF dans les zones 3, 4, 5, 6, 7, 9 et 10 entre août 2011 et janvier 2012, ainsi qu'en juin 2012 (fin des travaux sur la zone 10). Une partie des opérations de lutte initiale contre les EEE a été réalisée par les équipes du GCEIP (zone 1, 2, et 8) entre novembre 2011 et janvier 2012 ainsi qu'en mai-juin 2012 pour la zone 2. Dans une deuxième phase de travaux (2012), des opérations de contrôle ciblé ont été réalisées par l'ONF et le GCEIP à partir de juin 2012. Ces opérations ont été achevées fin octobre 2012 pour l'ensemble des zones. De même, le GCEIP a effectué des opérations de contrôle des inflorescences de *Furcraea foetida* entre juillet et octobre 2012 sur les zones 10 et 7 (source ONF).

Enfin, dans une dernière et troisième phase de travaux effectuée entre juin et septembre 2013, les équipes de l'ONF sont à nouveau intervenues dans l'ensemble des zones de restauration pour un contrôle global des EEE (coupe manuelle) et en fin d'année 2013 pour le contrôle / éradication de

Furcraea foetida en zones 2, 4, 5 et 8. Un résumé des actions de lutte est présenté zone par zone en Annexe A.6, p. 141.

La lutte mécanique a principalement concerné les strates ligneuses, mais une part importante de l'effort a aussi été concentré sur le Choca vert *Furcraea foetida* présent initialement en abondance en particulier dans les zones 2, 4, 5, 7 (MADAULE et al., 2010)). Dans les zones de lutte contre les EEE en général, il est attendu que les activités de restauration favorisent le rétablissement d'une végétation indigène structurée et capable de se régénérer.

2 Méthodes d'échantillonnage

Afin de mesurer et suivre l'impact des travaux et la réaction de la végétation, nous avons mis en place plusieurs soit individuel et ciblé sur les espèces rares, soit concernant les communautés végétales et basé sur des quadrats permanents marqués sur le terrain. Des relevés répétés dans le temps ont été effectués afin de mesurer un ensemble d'indicateurs de structure, de composition et de régénération de la végétation. Un suivi de la pluie de graines a également été mis en place afin de mesurer l'importance de la pression de propagules des EEE et des espèces indigènes au sein de deux des zones de restauration écologique (Z5 et Z10).

2.1 Suivi des populations d'espèces rares

Espèces concernées et connaissances préalables

De manière intuitive, les espèces rares sont définies comme celles dont les effectifs sont faibles (quelques dizaines d'individus) à très faibles (quelques individus). Toutefois la rareté reste une notion subjective et peut être définie de différentes manières par rapport à la taille des populations, l'aire de répartition et la spécificité d'habitat (RABINOWITZ, 1981). Localement, le Conservatoire Botanique National de Mascarin (CBNM) caractérise la rareté à l'échelle régionale sur la base d'un indice mesurant la fréquence d'occurrence des espèces au sein de mailles (1×1 ou 2×2 km) couvrant l'ensemble de l'île (CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. ET AL. COORD.), 2010). Dans le cadre du projet COREXERUN, la rareté a été évaluée empiriquement à l'échelle du massif de la Montagne à partir de (i) relevés floristiques effectués dans la zone par le CBNM, et (ii) l'expertise naturaliste des botanistes impliqués dans le programme COREXERUN. Une liste de 23 espèces rares a été établie à l'issue d'ateliers de travail et incluse comme annexe du marché pour la présente étude (LIFE+/COREXERUN, 2012b).

Les effectifs connus ou estimés de ces espèces ont été recensés en utilisant comme point de départ des relevés existants : dans la phase initiale des travaux de restauration, des prospections ont été réalisées dans 5 des zones de restauration (partenariat CBNM/ONF) et ont permis de compléter les relevés effectués au préalable par le CBNM dans le cadre de mesures compensatoires (HIVERT et LACOSTE, 2009). Les données existantes ont été compilées au sein d'une couche SIG concernant 8 des 10 zones (hors Z5 et Z6).

Les travaux réalisés par le prestataire (ONF) pour cette action ont consisté à dégager mécaniquement les stations d'espèces rares de la végétation exotique concurrente, en particulier les Espèces

Exotiques Envahissantes (EEE), afin de favoriser leur développement et leur régénération. Les travaux étaient focalisés sur une zone limitée centrée autour de chaque individu connu au sein des dix zones de restauration.

Protocole de suivi et indicateurs

Parmi les espèces considérées, les deux espèces du genre *Erythroxylum* peuvent être abondantes localement, en particulier dans les zones 5 et 6. En accord avec le maître d'ouvrage, il a été décidé que le suivi concernerait un nombre limité d'individus de ces espèces dans ce type de situation.

Afin d'évaluer les travaux de dégagement des espèces rares et leurs effets dans les différentes zones de restauration, l'inventaire et la cartographie disponibles ont été complétés à l'échelle des dix zones dans le cadre du présent suivi. Les individus de plus de 1 mètre de hauteur connus ou découverts lors du suivi ont été identifiés, marqués à l'aide d'étiquettes métalliques tenues par un fil nylon lâche, et géoréférencés à l'aide d'un GPS (précision de l'ordre de 3 à 5 m en général). Pour chaque individu, un ensemble d'indicateurs a été relevé :

Survie : Constat de la présence de l'individu vivant,

Taille : Mesure du diamètre (pour les individus > 1 cm DBH) et estimation de la hauteur,

État phyto-sanitaire : Observation de signe de dépérissement, d'attaque de pathogènes, etc, selon la codification employée pour le volet reconstitution écologique (cf. 1.4, p. 46)

État phénologique : Observation de la présence de boutons floraux, de fleurs, fruits verts ou fruits mûrs, observation de nouvelle feuillaison ou de perte du feuillage.

Encombrement du houppier Afin de mesurer la compétition directe avec d'autres espèces, un indice semi-quantitatif a été utilisé pour mesurer le niveau d'encombrement des houppiers, c'est-à-dire la proportion du volume du houppier occupé par des branches / rameaux / feuilles d'autres plantes. Cinq catégories sont définies : 0, houppier entièrement dégagé, $1 : 0] - 25\%$, $2 : [25 - 50\%$; $3 [50 - 75\%$, $4 : \geq 75\%$. Les espèces responsables de l'encombrement ont également été identifiées.

Indice d'exposition de couronne : Indice semi-quantitatif mesurant l'environnement lumineux d'un individu. Cet indice a été développé pour l'étude des tempéraments d'espèces forestières en forêt tropicale (DAWKIN, 1958). Il permet de caractériser les conditions lumineuses les plus fréquentes dans lesquelles sont présents les individus selon les espèces considérées (CLARK et CLARK, 1993; MARKESTEIJN, POORTER et BONGERS, 2007). Essentiellement utilisé en forêt tropicale humide, il a été adapté ici au cas de la semi-forêt semi-sèche. L'indice consiste en 5 catégories d'exposition selon l'existence de trouées proches dans le couvert :

1. individu en sous-bois sans trouée visible à proximité,
2. trouées petites et diffuses au-dessus de l'individu,
3. trouée(s) latérale(s) large(s),
4. lumière verticale directe (trouée large au-dessus de l'individu),
5. individu émergent : houppier en pleine lumière.

2.2 Suivi de la végétation en place

Des quadrats de suivi (5×5 m) ont été établis dans les 6 zones de restauration ayant fait l'objet de la lutte intégrale. Leur centre a été repéré par des bornes métalliques et les coins par des piquets en bois marqués à la peinture. Le tableau ?? résume le nombre de quadrats suivis par zone de restauration. Ces quadrats ont été positionnés dans le sens de la plus grande pente avec pour origine le coin en bas à gauche. Des indicateurs simples ont été relevés à l'échelle des quadrats :

- Mesures de diamètre (DBH > 1 cm) et hauteur (> 1 m) des individus d'espèces ligneuses,
- Estimation du recouvrement dans les deux strates inférieures (< 1 m et [1-2[m).

Dans chaque quadrat ont été identifiés, positionnés, et mesurés les individus présents, ce qui permet de décrire finement la composition floristique et la structure de la végétation au sein de ces quadrats. Les mesures répétées dans le temps permettent de suivre les réponses de la végétation en réponse aux actions de lutte contre les EEE. Les modifications de structure et de composition de la végétation ont ainsi été décrites par strate au sein des quadrats.

Dans le cas d'individus multicaules, la hauteur maximale a été relevée et les tiges de DBH > 1 cm mesurées individuellement. Lorsqu'elles étaient trop nombreuses, le DBH moyen a été estimé et le nombre de tiges compté. Dans l'analyse des tailles, on utilisera comme variable la surface terrière totale par individu, c'est-à-dire la somme des surfaces de section des tiges. La surface terrière permet d'inclure l'ensemble des tiges dans l'analyse des surfaces occupées par les espèces indigènes et les EEE. De plus la surface terrière est un bon indicateur de la biomasse présente localement.

Suite aux travaux de lutte, les individus montrant des rejets ont été pris en compte, comme individus multicaules le cas échéant, dès lors que les rejets observés au moment du passage après travaux dépassaient 1 m de hauteur. Dans ce cas, le nombre de rejets et la hauteur maximale des rejets ont été relevés.

2.3 Suivi de la régénération

Le suivi de la régénération a été effectué dans des mini-quadrats plus restreints (1×1 m) situés aux quatre coins et au centre de chaque quadrat principal de 25 m^2 (soit 20 % de la surface d'un quadrat). Dans chaque mini-quadrat, les indicateurs suivants ont été relevés :

- abondance de la régénération naturelle, par comptage des plantules et juvéniles dans 4 classes de taille : [2 – 5[cm, [5 – 10[cm, [10 – 40[cm, [40 – 100[cm,
- recouvrement des espèces non-ligneuses.

Le recouvrement par les rochers a également été estimé à l'échelle des quadrats de 5×5 m et des sous quadrats de 1×1 m. Dans certains quadrats, et du fait du positionnement au sein de cahos rocheux dus à la géomorphologie locale, des mini-quadrats se sont retrouvés dans des zones plus ou moins rocailleuses (Figure 2.2). Toutefois sur l'ensemble des 52 quadrats suivis, le nombre d'observations ($n = 260$) répétées dans le temps et la surface représentée (soit 260 m^2) permettent d'obtenir un échantillonnage relativement fin pour le suivi de la régénération.

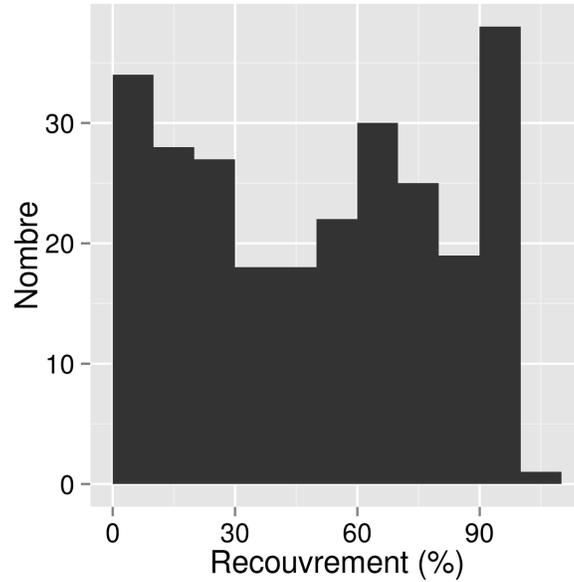


FIGURE 2.2 – Histogramme montrant la distribution du recouvrement par les rochers au sein des quadrats de suivi de la régénération (1 × 1 m). Pour l’analyse ultérieure, seuls les quadrats avec un recouvrement en rochers < 80 % sont retenus ($n = 220$).

2.4 Mesure des conditions lumineuses

Parmi les effets attendus des travaux de lutte mécanique contre les espèces invasives figurent l’ouverture du couvert forestier et les modifications des conditions lumineuses induites et expérimentées par la végétation restante, indigène et exotique. Afin de mesurer ces effets, des mesures de PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) ont été effectuées dans chaque mini-quadrat à l’aide d’un appareil de type Li-Cor.

L’interception de l’énergie lumineuse peut-être mesurée en écologie par la loi de Beer-Lambert qui relie l’énergie lumineuse reçue au-dessus d’un couvert végétal, I_0 , au LAI (*Leaf Area Index*) et à l’énergie lumineuse arrivant sous le couvert, I , mesurée grâce au Li-Cor. Le LAI mesure la surface de feuillage projetée au sol par m^2 , qui est un indicateur de la quantité de feuillage présente localement. La loi de Beer-Lambert relie ces variables selon la formule : $I = I_0 e^{-k \times LAI}$, soit $\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = k \times LAI$, où k est un coefficient d’extinction positif. Les mesures réalisées permettent d’estimer le LAI local du couvert végétal, relié à l’ouverture du milieu. Les travaux de lutte ayant consisté à éliminer une partie du couvert, on s’attend à ce que le LAI diminue entre l’état initial (EI) observé et l’état après lutte (P1) : $LAI_{EI} > LAI_{P1}$. L’appareil utilisé permet de réaliser des mesures moyennes sur une durée de 15 s afin de diminuer l’effet des variations rapides dues aux changements de luminosité du fait des variations de la couverture nuageuse.

Une difficulté majeur de ces mesures réside dans la connaissance (*i*) du paramètre k qui varie selon le type de végétation considérée (COURNAC et al., 2002), et est en l’occurrence inconnu pour les forêts semi-sèches réunionnaises, et (*ii*) de I_0 , devant être mesuré simultanément que I en milieu

totalemment ouvert (ou selon une échelle semi-quantitative basée sur les ombres portées et les tâches de soleil en sous-bois). Afin de palier à ces difficultés, les résultats sont ici basés sur l'estimation de $-k \times \text{LAI}$ (BARET et al., 2008), et sur des mesures effectuées à 2 hauteurs différentes (sol et 2 m), ce qui limite toutefois l'estimation du LAI à la strate entre 0 et 2 m de hauteur : $\ln\left(\frac{I_{2m}}{I_{sol}}\right) = k \times \text{LAI}_{02}$.

Les variations de $\ln\left(\frac{I_{2m}}{I_{sol}}\right)$ entre deux dates EI et P_i sont reliées aux variations de LAI et permettent de quantifier les variations d'ouverture du couvert végétal : $\ln\left(\frac{I_{2m}}{I_{sol}}\right)_{P_i} - \ln\left(\frac{I_{2m}}{I_{sol}}\right)_{EI} = k \times (\text{LAI}_{02}^{P_i} - \text{LAI}_{02}^{EI})$.

2.5 Étude de la pluie de graines

Des pièges à graines et litière (COTTRELL (2004), Figure 2.3) ont été installés dans deux des zones de restauration écologique d'avril 2012 à mai 2013 : 12 en zone 5 (Cap Francis) et 12 en zone 10. Ces pièges ont été construits à l'aide d'une toile synthétique perméable à l'eau, fixée sur un cadre en PVC de 50×50 cm ($0,25 \text{ m}^2$). Les pièges ont ensuite été fixés à même le sol sur le terrain, chaque piège étant situé à proximité d'un quadrat de suivi (5×5 m). Ce dispositif permet de d'avoir des données couplées entre la pluie de graines, qui estime la pression de propagules, et la régénération.



FIGURE 2.3 – Exemple de pièges à graines mis en place sous couvert forestier pour l'étude de la pluie de graines : on constate la présence de litière, graines et débris végétaux dans le piège.

Le contenu des pièges a été relevé mensuellement et stocké en chambre froide à 2°C avant traitement. Les échantillons récoltés dans les pièges ont ensuite été séchés à l'étuve et leur contenu en matière sèche pesé. Les graines ont ensuite été triées du reste de la litière. Les graines de moins de $0,80$ mm ont été séparées par tamisage et dénombrées. Lorsque leur nombre été trop élevé ($\gtrsim 100$), il a été estimé par extrapolation à partir du comptage d'un sous-échantillon sur une surface fixée. Le reste des graines a été séparé de la litière par un tri manuel et comptabilisé sous la loupe binoculaire. Le volume de litière collecté peut varier fortement entre les dates de collecte et les pièges. Lors du tri des graines un biais peut apparaître si un plus grand effort est fourni sur certains échantillons. Une simple limite de temps ne résout pas le problème, car plus le volume est large plus le temps de

tri est long. Afin d'éviter ce biais la «règle des deux-minutes» a été appliquée. Un compte à rebours de deux minutes est déclenché et réinitialisé à chaque fois qu'une graine est trouvée avant la fin des deux minutes. Si plus aucune graine n'est trouvée après une recherche de deux minutes, le tri prend fin. Ainsi les échantillons sont évalués de façon standard (COTTRELL, 2004). Une fois séparées du reste de la litière, les graines ont été identifiées jusqu'à l'espèce lorsque cela été possible. Le traitement effectué n'a pas permis de mettre en germination les graines non identifiées, détériorées lors du séchage.

Cette étude de la pluie de graines est complétée ici par des données issues d'un dispositif d'étude similaire destiné à étudier la phénologie de la forêt semi-xérophile dans le contexte d'études diagnostiques préliminaires. Ce dispositif constitué initialement de 32 pièges à graines et situé en amont de la ravine de la Grande Chaloupe, sur le site dit du Ti Bondieu (TDB), permet la comparaison avec un site témoin hors zones de restauration.

3 Résultats du suivi des actions de lutte mécanique

3.1 Suivi et évaluation des populations d'espèces rares

Effectifs

Les relevés ont concerné l'ensemble des 10 zones de restauration du programme COREXERUN à raison d'une campagne de terrain par an (2 passages au total en 2012 et 2013). Les travaux de restauration ont facilité la prospection dans les zones les plus impactées et ont conduit à un inventaire plus précis des effectifs et des positions des espèces rares concernées. Les effectifs connus pour ces espèces ont pu donc être ré-évalués à la hausse dans les zones concernées. Les individus relevés concernent 21 taxons suivis, pour 392 individus. Les effectifs varient de 1 pour les espèces les plus rares (*Ruizia cordata*, *Tabernaemontana persicariifolia*) à 62 pour *Erythroxylum hypericifolium* (Figure 2.4). Les effectifs sont parfois supérieurs aux effectifs connus comme c'est le cas pour *Obetia ficifolia* ou même *Vepris lanceolata* ou *Scolopia heterophylla*. Dans certains cas, elles peuvent être inférieurs, ces différences s'expliquant par (i) le fait que des individus observables à la jumelle sont présents en dehors des zones travaillées, mais non accessibles sans moyen particulier, cordage ou autre, et ne sont pas inclus dans le suivi, (ii) des imprécisions éventuelles dans les données initiales, (iii) le suivi limité à une sous-ensemble d'individus pour 3 espèces *Erythroxylum hypericifolium*, *Erythroxylum sideroxyloides* et *Hibiscus columnaris* (Z5, Z6 et Z10). Quatre taxons présents dans la liste initiale n'ont pas été retrouvés durant les campagne de terrain : *Caesalpinia bonduc*, *Psathura borbonica*, *Pyrostria orbicularis* et *Tabernaemontana mauritiana*. À noter qu'un individu non référencé de *Zanthoxylum heterophyllum* (Bois blanc rouge, Poivrier des hauts, Rutaceae), espèce non présente dans la liste initiale, mais protégée régionalement et supposée rare (statut R?, CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. ET AL. COORD.), 2010) a été localisé au sein des zones de restaurations.

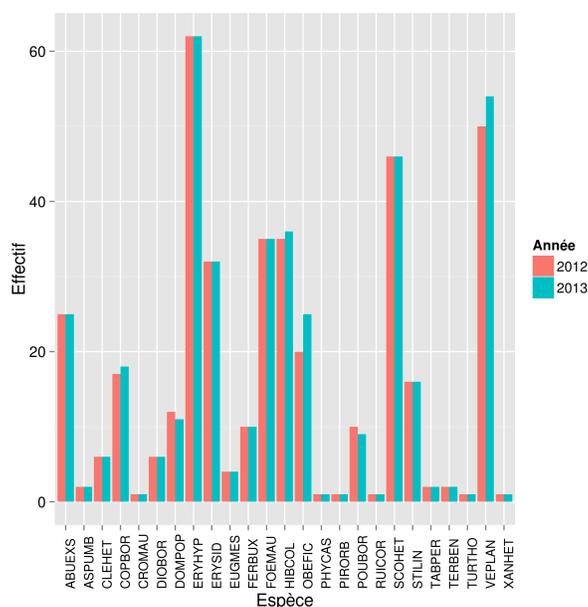


FIGURE 2.4 – Effectifs inventoriés dans le cadre du suivi des espèces rares au sein des zones de restauration lors du premier passage en 2012, et lors du deuxième passage en 2013.

Dégagement et exposition des houppiers

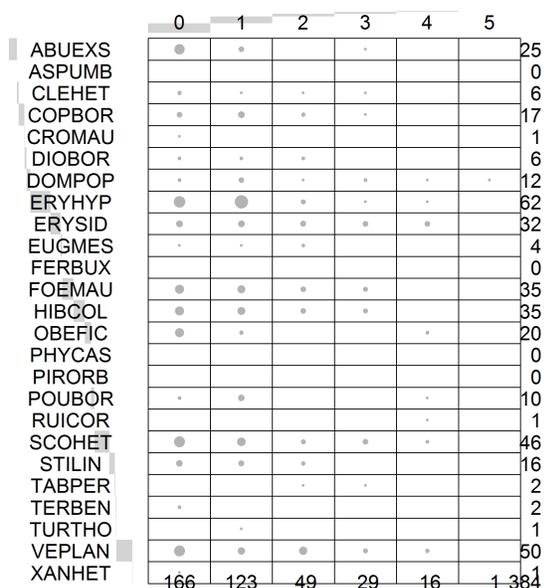
Les premiers relevés concernant les indices d’encombrement et d’exposition des houppiers ont eu lieu après les travaux de dégagement des individus, l’absence de notation initiale des indices rend donc difficile l’évaluation des actions de dégagement des houppiers. La plupart des individus observés montrent toutefois des indices d’encombrement faible : 43 % avaient des houppiers totalement dégagés et 29 % des houppiers envahis à moins de 1 % (Figure 2.5). Ces niveaux faibles peuvent être interprétés comme étant le résultat des actions de lutte et de dégagement. Cette analyse est à compléter avec l’examen des espèces responsables des encombrements importants, qui comprennent une proportion importante d’espèces indigènes (non montré). Les indices d’encombrement élevés rendent donc plutôt compte des interactions entre espèces indigènes et non de l’effet de l’invasion.

La plupart des individus observés montrent des indices d’encombrement faible. (37 % ont des houppiers totalement dégagés et 36 % à moins de 25 %). De même, l’accès à la lumière non limitante se fait pour une grande majorité des espèces concernées, avec plus de 78% des individus montrant des indices d’expositions 4 et 5. Ces résultats sont les résultats directs des travaux de lutte et de dégagement. On peut noter toutefois des particularités spécifiques dans le cas d’espèces à effectifs suffisants comme par exemple *Abutilon exstipulare*, *Clerodendrum heterophyllum* ou *Poupartia borbonica*.

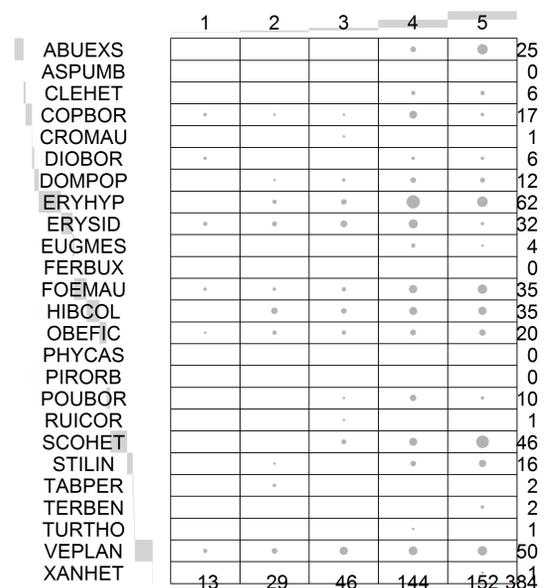
État de la régénération

Le suivi de la régénération n’a pas permis d’obtenir de résultats concrets en termes de nouveaux individus lors des deux sessions de relevés sur le terrain. Il apparaît que, même avec un dégagement

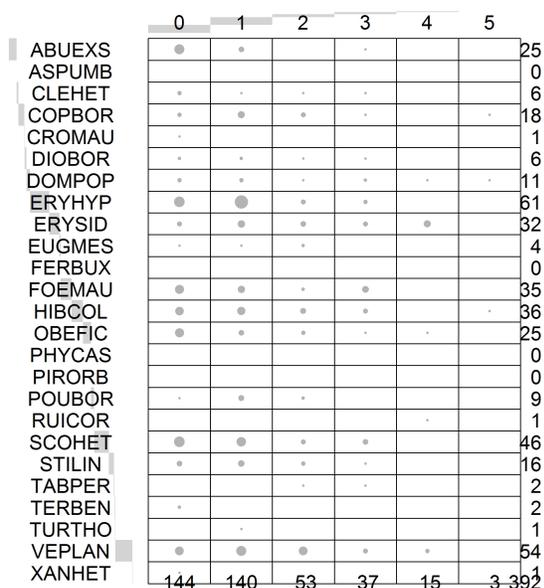
a. Encombrement du houppier (2012)



b. Exposition à la lumière (2013)



c. Encombrement du houppier (2013)



d. Exposition à la lumière (2013)

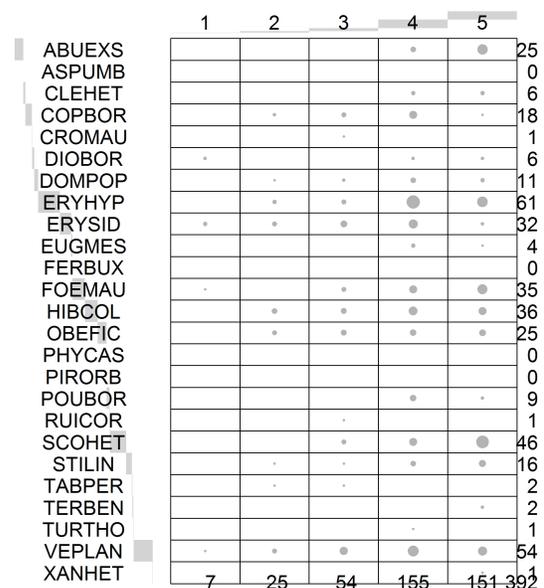


FIGURE 2.5 – Indice d’encombrement du houppier (*gauche*) et indice d’exposition de la couronne (*droite*) des individus d’espèces rares à l’échelle des zones de restauration pour les deux années de suivi : 2012 (haut) et 2013 (bas, cf. p. 57 pour la description des catégories 1 à 5). La taille des symboles indique le nombre d’individus dans chaque catégorie. Les nombres indiquent les totaux marginaux, et les tracés gris les proportions des différentes catégories.

effectif des espèces rares sur un diamètre de 5 mètres autour de l'individu, aucun nouvel individu issu de la régénération des ces espèce n'a été recensé lors des prospections 2012 et 2013. Il semble donc important de continuer le suivi de la régénération afin d'identifier toute nouvelle régénération éventuellement favorisée par les travaux de lutte et de dégagement des houppiers.

3.2 Lutte mécanique contre les Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)

Le suivi de la lutte intégrale a concerné les zones de restauration 2, 4, 5, 6, 7, 10 (Table 2.1). La mise en place du suivi avant les actions de lutte a permis de caractériser l'état initial (EI) des différentes zones avant travaux (mais voir remarques ci-dessous). Un second passage pour la mesure des différents indicateurs, noté P1, effectués après les travaux a permis d'évaluer l'effort de lutte et les premiers effets sur la végétation. Deux autres passages ont été effectués, notés P2 et P3, réalisés conjointement après les travaux de lutte ciblé et les travaux de contrôle globale.

3.2.1 Remarques sur le déroulement du suivi

Le déroulement des travaux, et les contraintes liées aux interventions des différents prestataires n'ont pas permis de répartir les actions de suivi et d'évaluation de façon homogène dans le temps. Les durées variables entre les travaux et les relevés pour le suivi influencent nécessairement les résultats, en particulier la réaction des EEE et la production de rejets suite aux coupes effectuées. Le tableau 2.2 compile les dates de passage des différents prestataires et indique pour chaque zone le délai en semaines entre les travaux de lutte et les différents relevés pour le suivi. Les différentes périodes de travaux et de suivi sont synthétisés graphiquement zone par zone en Annexe A.6 (p. 141 et suivantes).

Les premiers relevés (P1) ont été effectués entre 9 semaines (Z6) et 23 semaines après les travaux de lutte initiale pour la zone 5. Les seconds relevés (P2) ont été effectués entre 7 semaines (Z4 et Z7) et 19 semaines (Z5) après les travaux de contrôle ciblé (ONF2). Les zones 5, 7 et 10 ont fait l'objet d'un deuxième passage de contrôle ciblé effectué entre 7 et 12 semaines avant P2 (ONF2_BIS). Les derniers relevés de suivi (P3) ont été effectués entre 9 semaines (Z10) et 19 semaines (Z4) après les travaux de contrôle globale. Les zones 2, 4 et 5 ont fait l'objet d'un deuxième passage, ciblé principalement sur la lutte contre *Furcraea Foetida*.

Plusieurs remarques peuvent être faites sur les interventions réalisées pour le suivi. En zone 5, l'état initial manque pour les indicateurs de suivi, les travaux initiaux de lutte ayant été effectués antérieurement à la date de début du suivi. En zone 2, l'intervention du GCEIP sur la zone a eu lieu en avril-mai 2012 bien après les travaux sur les autres zones de restaurations, ce qui a eu pour conséquence l'absence de relevés pour le passage 1 (P1, Tableau 2.2) du suivi sur la zone 2. De même, le passage fin 2012 est décalé de 10 semaines par rapport aux autres interventions (ONF2). La zone 10 a été traitée partiellement lors de la phase initiale des travaux. La fin de l'intervention a eu lieu en juin 2012 soit 20 semaines après la date des premiers relevés.

TABLE 2.2 – Dates de travaux et de de suivi au sein des zones de restauration concernées par la lutte intégrale. EI : relevé pour la caractérisation de l'état initial, T1 : travaux de lutte initiale, T2 : travaux de contrôle ciblé, T3 : travaux de contrôle global. Les dates séparées par – indiquent les mêmes travaux complétés à une date ultérieure. P1 à P3 : passages pour le suivi et le relevés des indicateurs après travaux.

Zone	EI	T1	P1	T2	P2	T3	P3
2	08/11/11	30/04/12		07/11/12	28/08/12	21/07 – 15/09/13	27/09/13
4	06/10/11	21/10/11	27/01/12	07/08/12	29/10/12	01/07 – 15/09/13	12/11/13
5		15/08/11	23/01/12	21/07 – 07/09/12	06/12/12	15/06 – 21/09/13	15/10/13
6	28/09/11	15/10/11	25/01/12	21/08/12	04/12/12	07/07/13	11/10/13
7	21/11/11	01/12/11	06/02/12	15/09 – 15/10/12	03/12/12	01/08/13	15/11/13
10	14/10/11	15/11/11 – 15/06/12	01/02/12	01/08/12	30/10/12	21/08/13	29/10/13

3.2.2 Niveau d'invasion et effort de lutte

La figure 2.7 présente les niveaux d'invasions mesurés dans les quadrats de suivi sur l'ensemble des zones de restauration. Elle rend compte de la distribution du niveau d'invasion des zones traitées, en proportion d'individus (Figure 2.7, haut) et de surface terrière (Figure 2.7, bas) (surface des troncs à 1,30 m de hauteur) représentées par les EEE au sein des peuplements ligneux (>1 m de hauteur) au cours du suivi (EI, P1, P2 et P3). À l'état initial (EI) et d'un point de vue général, l'allure de la distribution des valeurs est asymétrique, que ce soit en nombre d'individus qu'en surface terrière. L'état initial en zone 5 n'entre pas dans l'analyse, les travaux de lutte ayant été effectué ultérieurement à EI. Le niveau d'invasion de l'ensemble des zones est supérieur à 40 % des individus. La zone 2 est la zone la plus impactée par les EEE (90 % d'individus) suivi des zones 4, 7, 6 et 10. Pour la surface terrière, les résultats pour la Z2 sont sous-estimés, les quadrats de suivis ayant été positionnés autour d'individus d'*Obetia filicifolia* de taille importante. Les zones 4 et 10 apparaissent plus hétérogènes en termes d'invasion, la zone 10 présentant à l'état initial un niveau d'invasion faible en surface terrière (10 %). La zone 6 est la zone où les EEE occupaient la surface terrière la plus importante (≈ 35 %), suivie par la zone 7 (25 %) et la zone 4 (20 %).

L'effet de la lutte mécanique est directement visible dans toute les zones à partir des premiers relevés après travaux (P1), et en particulier en termes de surface terrière. Le niveau d'invasion de l'ensemble des zones est inférieur à 40 % des individus observés. La zone 5 présente le niveau d'invasion le plus faible (15 %), les autres zones (4, 6, 7 et 10) ayant des niveaux d'invasions équivalents (entre 33 % et 39 % des individus). En terme d'occupation de l'espace (surface terrière), la zone 5 apparaît la plus dégagée, alors qu'en zone 7, les EEE occupent encore 15 % de la surface. Les zones 4, 6 et 10 voient aussi leur surface inférieure à 10 % d'occupation des EEE.

Dans l'ensemble, les distributions sont plus symétriques pour les effectifs que pour la surface terrière. Dans la zone 5, les EEE représentent une surface terrière médiane minimale à l'échelle des 6 zones indiquant un effort de lutte important. Si l'on compare P1 et EI, la zone 7 est celle dont le niveau d'invasion a le plus baissé passant de 60 % d'individus issues d'EEE à moins de 15 %

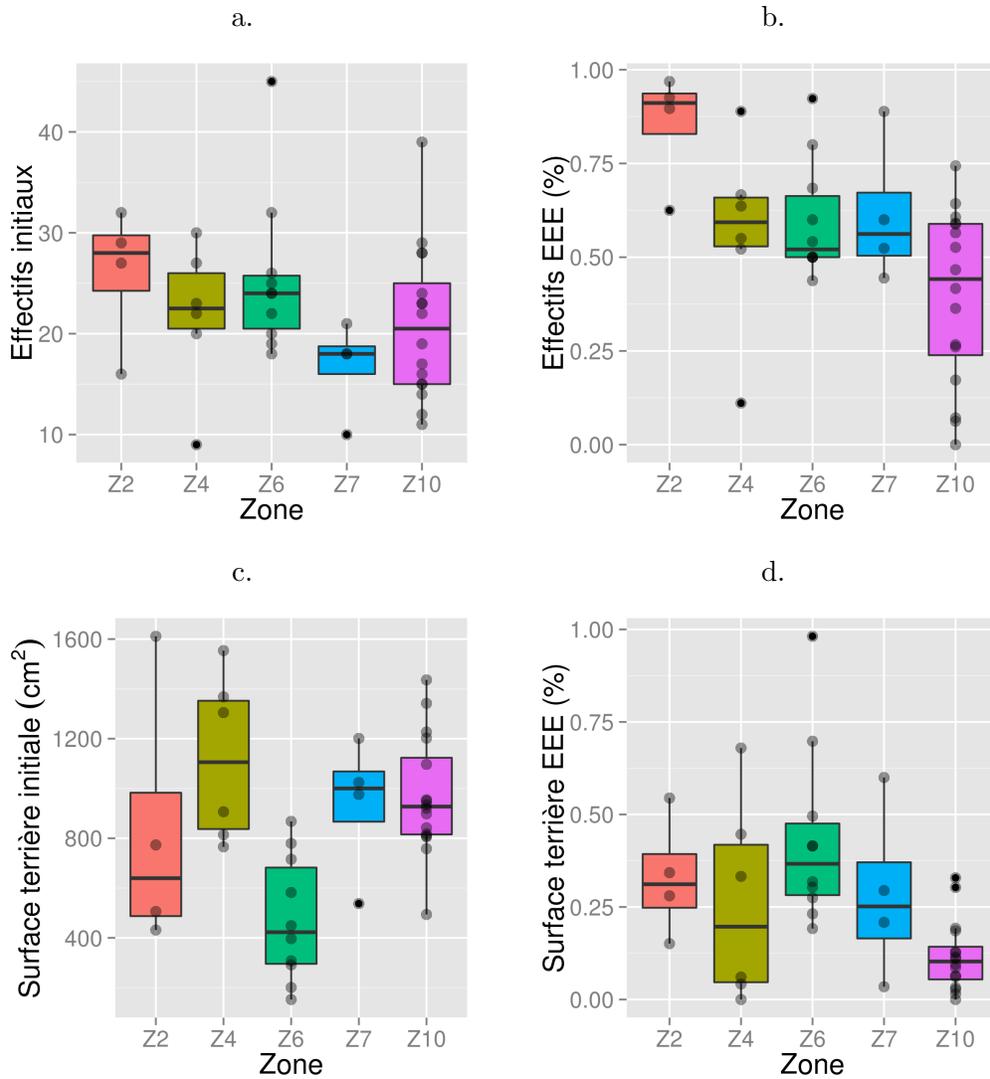


FIGURE 2.6 – Structure des zones de restauration écologique et niveau d’invasion à l’état initial : (a) Effectifs totaux des individus d’espèces ligneuses (> 1 m de hauteur), (b) effectifs des espèces exotiques envahissantes (EEE, en %), (c) surface terrière totale, (d) proportion de la surface terrière représentée par les EEE.

d’individus issues d’EEE. Suivent les zones 6, 4 et 10. La zone 6 est celle dont la surface terrière a le plus baissé par rapport à l’EI, suivie des zones 4, 10 et 7.

Au deuxième relevé de suivi P2, nous remarquons dans le cas de la zone 2 un pourcentage d’individus d’EEE nettement à la baisse ainsi qu’une surface d’occupation médiane inférieure à 5 %. Les travaux de coupe manuelle ont conduit à une baisse notable du taux d’invasion. Pour les autres zones, le niveau d’invasion, en termes d’individus est en baisse pour l’ensemble des zones. La zone 5 est celle qui présente l’effectif minimum en terme d’individus d’EEE et révèle donc toujours un effort de coupe important. Suivent les zones 4, 6, 7 et 10 qui ont des niveaux d’invasions

équivalents inférieurs à 10 %. En termes de surface terrière, les zones 5, 7 et 10 ont vu une légère baisse de la surface d'occupation, qui reste inférieure à 10 %.

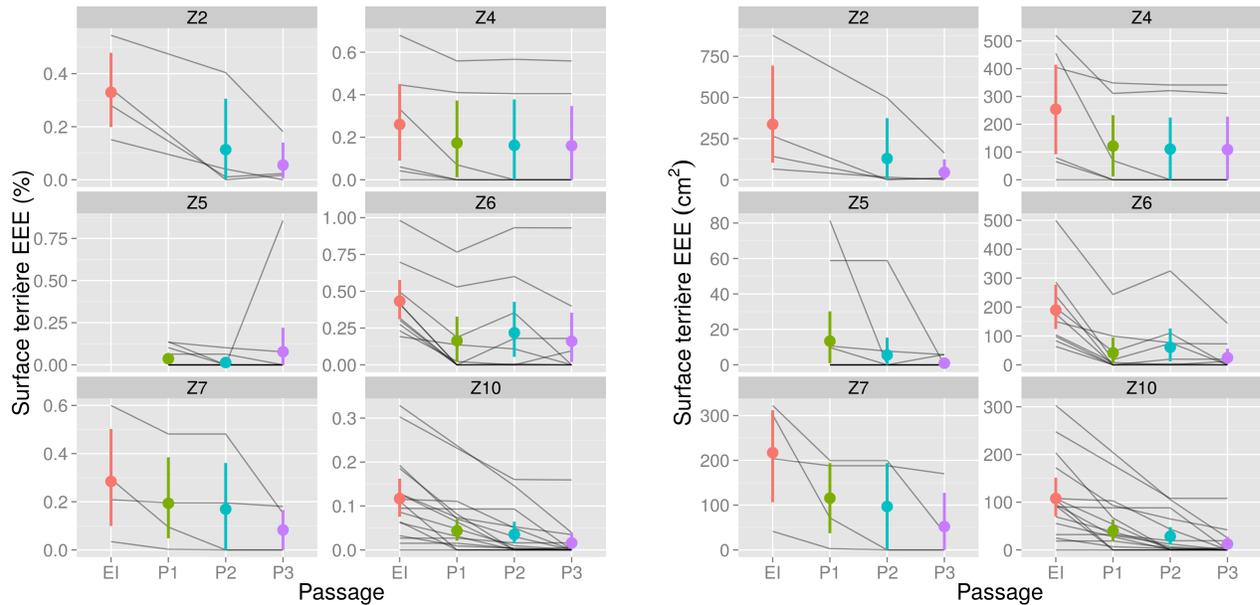


FIGURE 2.7 – Évolution du niveau d'invasion au sein des zones de restauration en réponse aux travaux de lutte mécanique.

Une des difficultés liées au suivi est le décalage temporel entre les actions de lutte mécanique et les relevés de végétation. Les derniers relevés du suivi (P3) montrent l'évolution du niveau d'invasion entre 24 et 30 mois après les opérations de lutte initiale et quelques semaines après les opérations de contrôle globales des zones de restauration. Nous relevons que le niveau d'invasion est variable selon les zones concernées, la zone 2 ayant un niveau d'invasion le plus élevé (≈ 75 % des individus), suivi de la zone 6 avec un peu moins de 20 % d'individus d'EEE. Les zones 4 et 7 ont des niveaux d'invasions avoisinant les 15 % d'individus issus des EEE. Les zones 5 et 10 montrent un niveau d'invasion minimal en termes d'effectifs. Du point de vue de l'occupation de l'espace, les EEE représentent en zone 5 et 10 le minimum de surface terrière, tout comme dans les zones 2, 6 et 4 où la surface d'occupation est minimale mais répartie de façon hétérogène selon les quadrats relevés. En zone 7, la surface en EEE avoisine 10 %. L'effet de la coupe de contrôle est donc fortement visible en termes de surface terrière, mais moins en termes d'individus d'EEE. Nous constatons une légère recrudescence des EEE en fin de suivi, en particulier dans les zones 2, 4 et 7. La dynamique rapide de ces espèces laisse supposer une ré-invasion en absence de lutte prolongée dans le temps. L'ensemble de ces résultats est résumé par indicateur dans le tableau 2.3 p.68.

3.2.3 Effets sur la structure verticale de la végétation

Quatre strates de hauteur ont été considérées dans l'étude de la végétation :

- arbustive basse (ab), de 1 à 2 m,
- arbustive haute (aH), de 2 à 4 m,

TABLE 2.3 – Résumé synthétique des tendances observées pour les indicateurs et structure et de composition de la végétation (distributions de taille, et niveaux d’invasion) lors du suivi de six zones de restauration ayant fait l’objet d’une lutte intégrale contre les EEE. Effort de lutte : +++ : fort, ++ : modéré, + : faible. ↗↗ : forte hausse ; ↗ : hausse moyenne ; ↘ : diminution. La ré-invasion prend en compte à la fois la reproduction végétative par rejets et la colonisation des strates basses par les espèces exotiques.

Indicateur	Zone					
	Z2	Z4	Z5	Z6	Z7	Z10
Effort de lutte	+++	++	+++	+++	++	+
Structure verticale	≠	≠	=	=	≠	≠
Niveau d’invasion	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Ré-invasion	↗↗	↗	↘	↗	↘	↗

- arborée basse (Ab), de 4 à 8 m,
- arborée haute (AH), de 8 à 16 m.

La hauteur maximale observée dans les quadrats de suivi est de l’ordre de 11 m et atteinte par un individu de *Stillingia lineata*. La figure 2.8 représente la structure verticale de la végétation observée dans l’état initial et après travaux (P1, P2 et P3) considérant l’ensemble des individus supérieurs à 1 m de hauteur. La figure 2.9 représente la proportion d’individus d’EEE dans les différentes strates à l’état initial et après travaux (P1, P2 et P3). L’analyse des deux figures permet d’évaluer l’effet de la lutte sur la structure verticale en relation avec la lutte par chacune des zones de restauration.

Zone 2 : A l’état initial, les strates aH et Ab dominent dans cette zone alors que la strate AH est absente (Figure 2.8). Après travaux et lutte ciblée (P2), la structure verticale est modifiée : les strates arborées hautes et arbustives basses accusent une forte baisse d’effectif et la strate ab, constituée entièrement d’EEE initialement, a disparu (Figure 2.9). Les densités ont donc fortement diminué après travaux, et les seules EEE présentes le sont dans la strate Ab. Au passage 3, nous constatons une hausse des effectifs dans les strates ab et aH. Il en est de même pour les individus d’EEE, leur nombre dans la strate ab étant redevenu identique à l’état initial. Les EEE issues de la strate aH sont présents en faible quantité au P3. Les densités en EEE ont fortement chuté par rapport à l’état initial. La zone 2 présente un étagement de la végétation plus équilibré en terme d’indigénat mais très peu dense (milieu ouvert).

Zone 4 : Avant travaux, la zone 4 présente une majorité d’individus appartenant à la strate Ab, la strate AH étant très peu représentée. Très peu d’individus sont présents dans les strates arbustives avec seulement 2 individus en moyenne par quadrat en strate ab. Les EEE sont majoritaires dans la strate Ab. Après les premiers travaux (P1), le nombre d’individus diminue dans chacune des strates exceptée la strate ab. Les EEE sont nettement moins présentes dans la strate Ab et ont disparu de

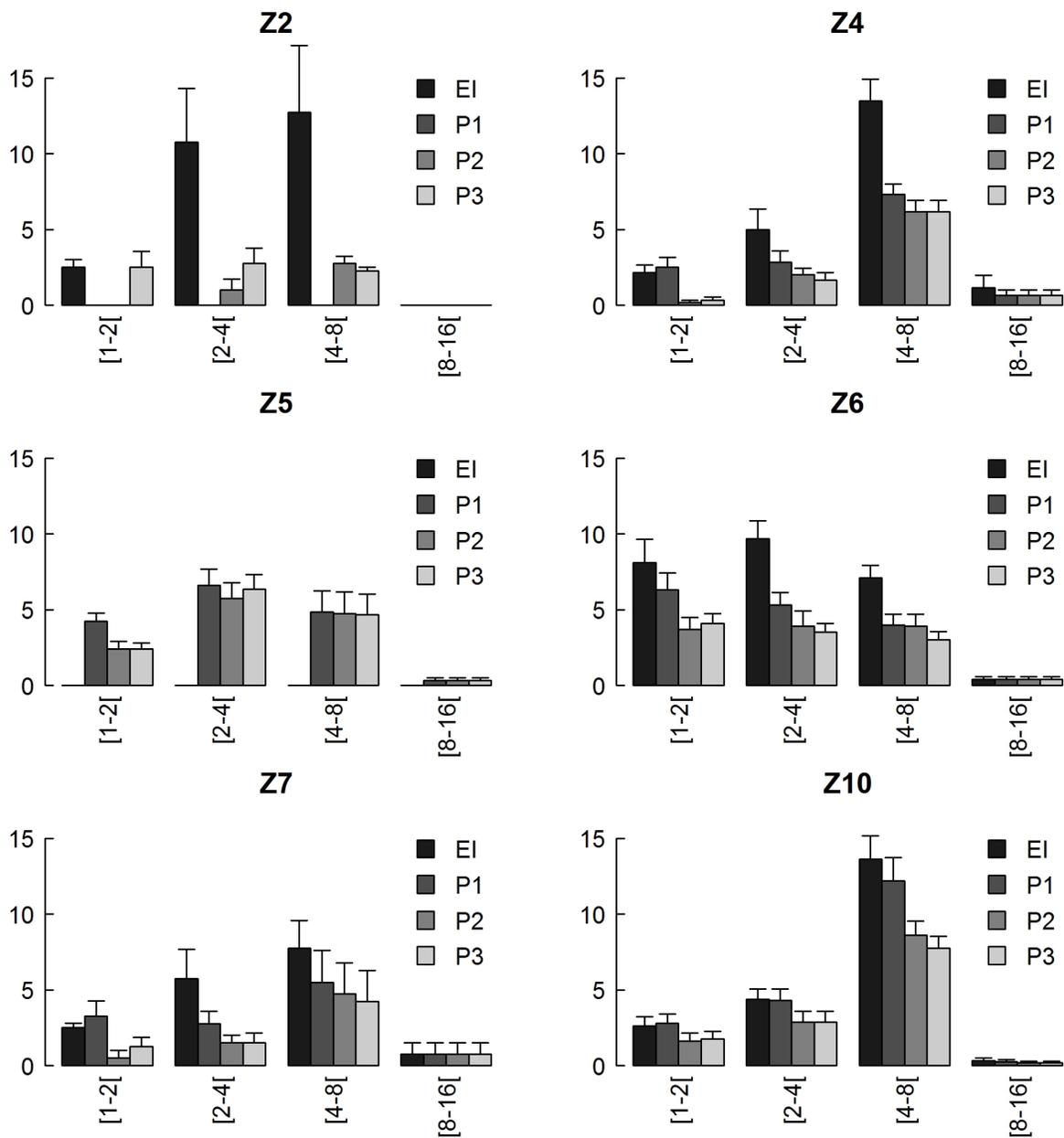


FIGURE 2.8 – Structure verticale de la végétation observée dans l'état initial, après travaux de lutte initiale (P1), après lutte ciblée (P2) et après lutte intégrale (P3). En ordonnée, nombre d'individus par strate, moyenne inter-quadrats et erreur standard). L'état initial en Z5 et P1 en Z2 manquent dans l'analyse.

la strate ab. Cette tendance est confirmée avec les passages en P2 et P3 ou globalement le nombre d'individus diminue faiblement dans chacune des strates, résultats corrélés avec la diminution, voire la disparition totale en strate Ab, des EEE. La zone 4 apparaît ainsi avec un étage déséquilibré et peu dense.

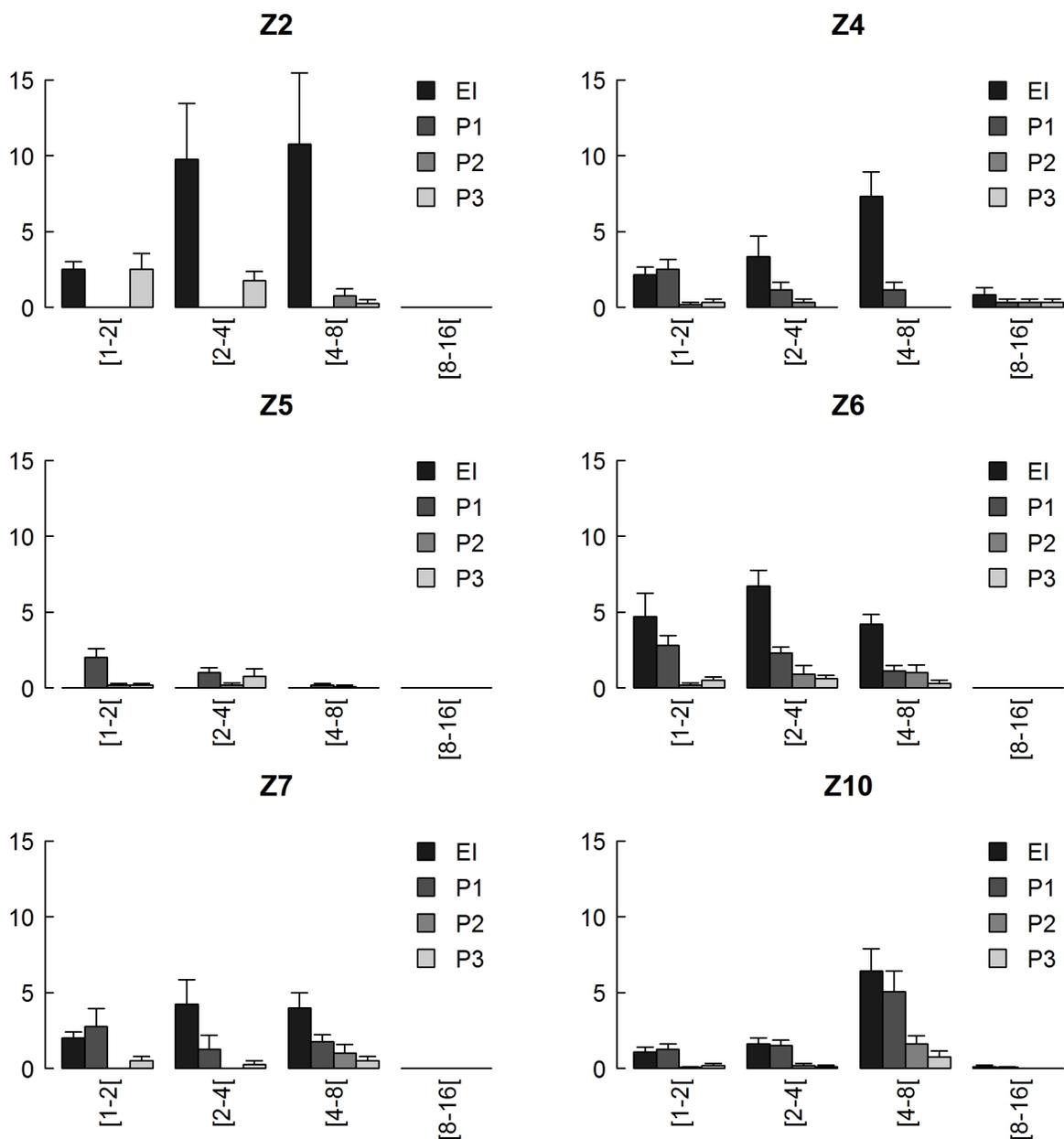


FIGURE 2.9 – Niveau d’invasion mesuré par strate (effectifs des EEE, moyenne inter-quadrats et erreur standard) après travaux de lutte initiale (P1), après lutte ciblée (P2) et après lutte intégrale (P3). L’état initial en Z5 et P1 en Z2 manquent dans l’analyse.

Zone 5 : La zone 5 présente, après travaux, une structure relativement équilibrée entre les trois premières strates, avec une strate AH représentée localement (1 individu en moyenne par quadrat). Les EEE sont présentes uniquement dans les strates arbustives. La structure est conservée sur l’ensemble des strates en P2 et P3. Les effectifs des EEE sont en baisse voire nuls pour ces trois strates.

Zone 6 : Á l'échelle de la zone, la structure verticale est très hétérogène avec des ouvertures importantes et des zones d'éboullis (MADAULE et al., 2010). Dans nos relevés, la zone 6 présentait avant travaux une structure verticale relativement équilibrée avec des strates ab et aH abondantes et très envahies et une strate AH peu présente. Après travaux, une baisse du nombre d'individus dans chacune des strates est observable, la structure est conservée mais avec des densités réduites. La strate AH, entièrement indigène, n'a pas été impactée par les travaux. La strate ab devient dominante, avec toutefois un niveau d'invasion peu modifié.

Après les travaux ciblées sur *Hiptage benghalensis* et *Furcraea foetida* (P2), nous remarquons un impact sur les EEE de la strate ab. La zone 6 est équilibrée au niveau des 3 premières strates, mais encore légèrement envahie. Suite aux opérations de lutte globale (P3 et t + 2 ans), les EEE sont quasiment inexistantes dans l'ensemble des strates, avec toutefois une légère augmentation des EEE dans la strate ab.

Zone 7 : Avant travaux, la strate aH et la strate Ab domine dans la zone 7. Les EEE y sont également présentes en quantité non négligeable (entre 4 et 5 individus par strate). La strate AH ne présente pas d'EEE. Après travaux, les strates intermédiaires baissent en nombre d'individus, la strate aH plus que la strate Ab. L'impact des travaux est visible sur ces deux strates alors que pour la strate ab, nous remarquons une augmentation du nombre d'EEE. Après la lutte ciblée (P2), la strate ab ne détient plus d'EEE tout comme la strate aH. Au P3 (15 semaines après contrôle globale), nous remarquons un très léger regain des EEE dans les strates arbustives et la strate Ab. La zone 7, peu dense, montre une structure très équilibrée avec une strate Ab dominante et peu d'individus dans les strates arbustives.

Zone 10 : Avant travaux, la strate Ab domine en zone 10, suivie des strates arbustives haute et basse. Très peu d'individus appartiennent à la strate AH. Après travaux, nous remarquons une diminution du nombre d'individus seulement en strate Ab, les strates arbustives voyant leur nombre d'individus stagner ou augmenter légèrement. Il en est de même pour les individus d'EEE, une baisse est observée dans la strate Ab, alors que dans les strates arbustives, nous remarquons une stagnation voire une augmentation (strate ab) du nombre d'individus d'EEE. Aux passages 2 et 3, nous remarquons une forte diminution du nombre d'individus en strate arborée. Ce résultat est corrélé avec la forte diminution du nombre d'individus issus d'EEE. De même, nous voyons en P2, l'absence d'EEE en strate ab, mais une légère reprise en P3. En strate aH, le nombre d'individus d'EEE est faible lui aussi.

La structure d'ensemble est conservée, elle reste déséquilibrée et avec des densités réduites du fait de la lutte. L'effet de la lutte est surtout notable à partir de P2, du fait de l'exécution des premiers travaux en deux fois sur cette zone (cf. Tableau 2.2). La strate Ab reste la strate dominante, suivie de la strate aH et la strate ab. L'effort de lutte a été réparti également dans les différentes strates (Tableau 2.3, p.68)

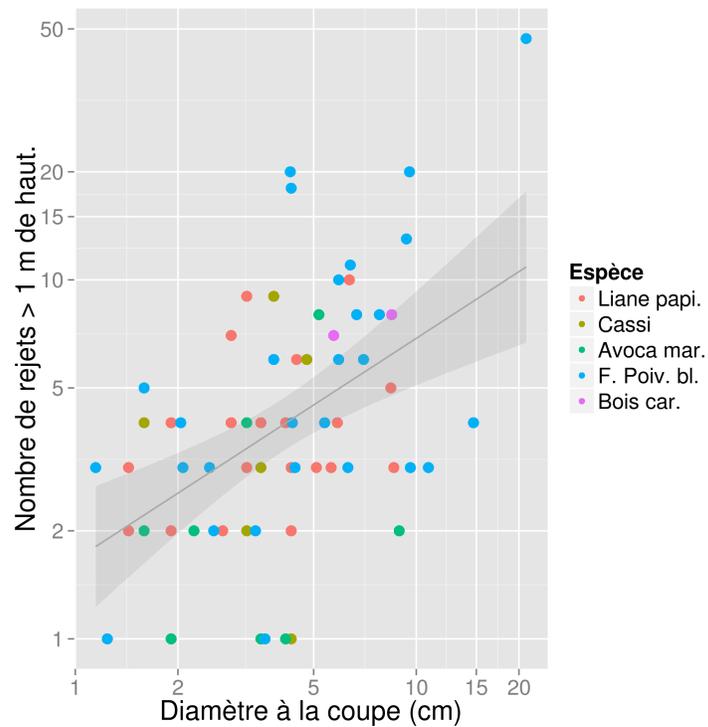


FIGURE 2.10 – Relation entre le diamètre avant coupe et le nombre de rejets supérieurs à 1 m de hauteur après travaux de lutte chez 5 espèces exotiques envahissantes : *Hiptage benghalensis* (Liane papillon), *Leucaena leucocephala* (Cassi), *Litsea glutinosa* (Avoca marron), *Rhus longipes* (Faux Poivrier blanc), *Tecoma stans* (Bois caraïbes)

3.2.4 Réaction des EEE et capacités de rejet

La figure 2.10 présente la relation entre le diamètre avant la coupe et le nombre de rejets chez cinq EEE après coupe. L'espèce exotique envahissante la plus représentée dans ces relevés est *Leucaena leucocephala* suivi de *Hiptage benghalensis*, *Litsea glutinosa* et *Rhus longipes* avec des effectifs cumulés supérieurs à 100 individus. Nous remarquons un effort de coupe important pour les espèces suivantes : *Hiptage benghalensis*, *Litsea glutinosa* et *Rhus longipes*. La réaction des EEE à la coupe dépend fortement de la taille des individus, comme le montre la figure 2.10 Le nombre de rejets, toutes espèces confondues, est proportionnelle à la taille initiale de l'individu coupé.

D'une manière générale et de façon attendue, les EEE révèlent une capacité à produire des rejets très importante. *Rhus longipes* et *Hiptage benghalensis* sont les espèces produisant le plus de rejets après les travaux de lutte initial au niveau des quadrats de suivi. Après les travaux de contrôle ciblé et global, nous remarquons une forte baisse des rejets pour l'ensemble des espèces. Ceci indique qu'un effort de lutte important a été fourni lors des travaux. Ces résultats sont toutefois dépendants du temps de passage entre les travaux de lutte et les relevés effectués. Les espèces concernées montraient encore des capacités importantes de rejet en fin de suivi et laisse supposer un regain de vigueur possible (Tableau 2.3, p. 68)

3.3 Suivi du recouvrement végétal

En complément du suivi du couvert ligneux, le suivi du recouvrement a permis d'évaluer la vigueur des espèces présentes, en particulier les EEE, pour l'occupation des strates basses où est présente la régénération des espèces de la canopée. Ces strates rassemblent le couvert herbacé non-ligneux ainsi que les stades juvéniles des espèces de la canopée et de la strate arbustive. Dans ces strates, les espèces ligneuses indigènes subissent une compétition intense par les EEE pour leur installation dans le milieu.

Les résultats concernant le suivi du recouvrement, ainsi que la régénération (p. 77) sont résumé par indicateur dans le tableau 2.4 p.81

Les figures 2.11 et 2.12 montrent l'évolution du % de recouvrement de la végétation dans les strates inférieures herbacée (*he* : 0 – 1 m) et arbustive basse (*ab* : 1 - 2m) des quadrats de restauration lors des 4 passages (EI, P1, P2, et P3) selon le statut des espèces observées adaptés d'après l'indice proposé par le Conservatoire Botanique Nationale de Mascarin (CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. ET AL. COORD.), 2010). L'analyse des deux figures permet de mesurer l'effet des travaux sur l'ouverture du milieu et l'impact sur les taxons envahissants.

Zone 2 : A l'état initial, nous remarquons un fort recouvrement par les espèces indigènes en strate *he* (11 %), représenté uniquement par *Plumbago zeylanica*. La strate *ab* est peu représentée, les EEE prédominant faiblement (1 %, *Hiptage benghalensis*, *Litsea glutinosa* et *Leuceanea leucocephala*). Le recouvrement des taxa de la strate *he* baisse fortement après travaux pour arriver en P3 à un taux < 5 % (indigènes inclus). Nous remarquons un regain des espèces envahissantes de la strate *ab* (inexistantes en P2) avec 5 % du recouvrement en P3 (*Kalanchoe pinnata* > *Litsea glutinosa* > *Hiptage benghalensis* > *Leuceanea leucocephala* > *Furcraea foetida*).

Zone 4 : A l'état initial, les espèces envahissantes dominent la strate *he* ainsi que la strate *ab* où nous remarquons un faible pourcentage de recouvrement des indigènes supérieur à 1m. Après travaux (P1), nous remarquons une baisse du recouvrement des espèces envahissantes pour la strate *ab*, baisse moins flagrante pour la strate *he*. Pour les 4 périodes de relevés et pour les deux strates, les taxa indigènes et exotiques ont des recouvrements faibles voire nuls (< 2 %). A P3, les recouvrements des taxons invasifs (strate *he* et *ab*) sont supérieurs aux taux avant travaux et restent importants (10 % et 15 %). Les espèces concernées sont *Furcraea foetida*, *Hiptage benghalensis*, *Panicum maximum* et *Litsea glutinosa*.

Zone 5 : A P1, les espèces indigènes dominent la strate *he* (7,5 %) ainsi que la strate *ab* (5%). Après travaux (P2), nous remarquons une baisse des taxons indigènes alors que les taxons exotiques émergent en strate *ab* (*Poaceae*). A P3 le recouvrement des indigènes ne représentent plus que 1% du recouvrement pour la strate *he*. Les espèces indigènes que l'on retrouve en P3 sont *Phymatosorus scolopendria*, *Pteridium aquilinum* et *Securinea durissima* ainsi que par la fougère *Christella* sp., genre indigène à la Réunion. Le taxon exotique émergent en fin de travaux en zone 5 est une Poacée inconnue.

Zone 6 : A l'état initial, les indigènes dominent la strate *he* (5%), suivi des taxa très envahissants (4 %) et indéterminés (2%). Le recouvrement de la strate *ab* est dominé par les espèces indéterminés (majoritairement *Nephrolepis* sp.) Au cours des travaux, une baisse du recouvrement des espèces invasives est notable pour la strate *he*. Les espèces indigènes voient leur recouvrement augmenter puis diminuer en fin de suivi (inférieur à 3% pour la strate *he*). Les erreurs standards sont inférieurs à 10 %, indiquant une répartition inter quadrat quasi homogène ; les espèces concernées sont *Nephrolepis bisserata*, la patte lézard *Phymatosorus scolopendria* et la fougère aigle *Pteridium aquilinum*. Concernant la strate *ab*, le recouvrement des espèces indéterminés (dominés par *Nephrolepis* sp.) devient nul en P2 et P3. Il en est de même pour les espèces très envahissants que l'on ne retrouve plus en P3 dans la strate *ab*. Les indigènes, par contre augmentent légèrement.

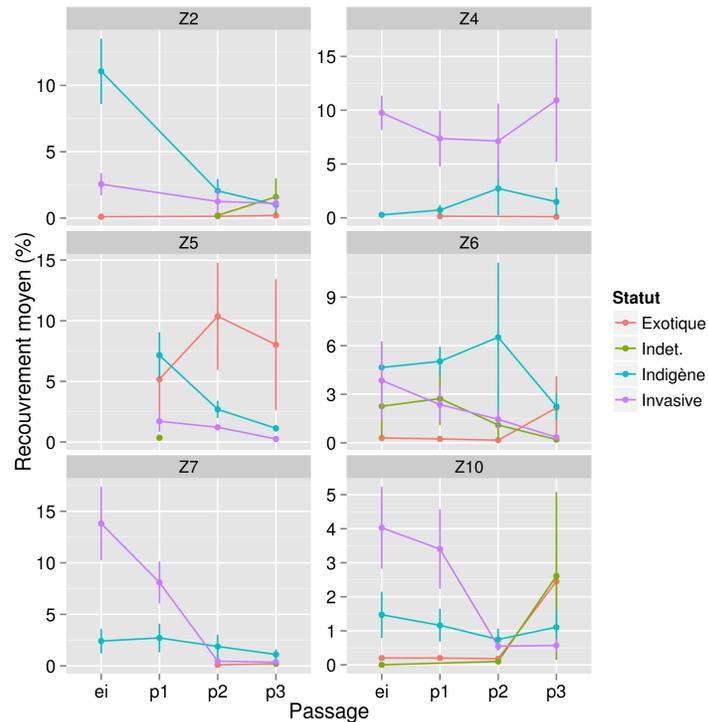


FIGURE 2.11 – Evolution du recouvrement strate *he* [0,1[m. pour l'ensemble des zones de restaurations et selon le statut des taxa présents. Pourcentage recouvrement cumulé (somme), moyenne inter-quadrat et erreur standard. L'état initial en Z5 et le passage 1 en Z2 n'entrent pas dans l'analyse.

Zone 7 : Le recouvrement en zone 7 de la strate *he* [0;1[m à l'état initial est représenté à plus de 12 % par les espèces exotiques envahissantes et notamment par *Furcraea foetida*. De même en strate *ab* [1;2[m les EEE représentent 11 % du recouvrement avec une présence massive de *Furcraea foetida*. Après travaux, et surtout après le passage de lutte ciblée (P2), nous remarquons une très forte baisse du recouvrement des EEE, avec un taux nul pour la strate *ab* et un taux <3 % pour la strate *he*. Les indigènes ont vu leur recouvrement baisser de moitié pour la strate *he* au cours des

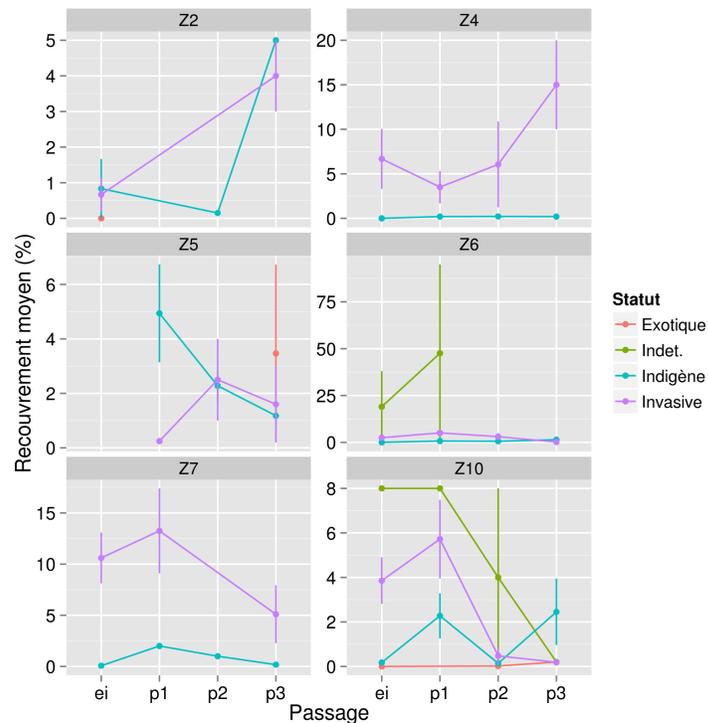


FIGURE 2.12 – Evolution du recouvrement strate *ab* [1, 2[m. pour l'ensemble des zones de restaurations et selon le statut des taxa présents. Pourcentage recouvrement cumulé (somme), moyenne inter-quadrat et erreur standard. L'état initial en Z5 et le passage 1 en Z2 n'entrent pas dans l'analyse.

travaux, la fougère *Phymatosorus scolopendria* majoritaire à l'état initial a été fortement impactée par les travaux. Nous retrouvons quelques juvéniles de *Securinega durissima*, *Doratoxylon apetalum* (en baisse entre EI et P3), et d'*Erythroxydon sideroxyloides*.

Zone 10 : Les EEE dominent les strates *he* et *ab* en zone à l'état initial (*Hiptage benghalensis* et *Furcraea foetida*) Les indigènes sont surtout représenté à l'EI en strate *he* par *Plumbago zeylanica* et *Rhipsalis baccifera*. Notons la présence de quelques juvéniles de *Doratoxylon apetalum* et *Eugenia buxifolia*. Après travaux, les EEE sont peu présentes, surtout après P2 (<1 %) pour la strate *he* avec une baisse considérable de *Hiptage benghalensis* et *Furcraea foetida*. Nous remarquons une augmentation des espèces indigènes au terme des travaux pour la strate *ab* avec la présence de *Doratoxylon apetalum*, *Eugenia buxifolia* ou bien encore *Rhipsalis baccifera*.

L'ensemble de ces résultats est résumé par type d'indicateur dans le tableau 2.3 (p.68).

3.4 Effet de la coupe sur l'ouverture du milieu

Afin de mesurer l'impact de la lutte sur l'ouverture du couvert, nous avons relié les données de surface terrière et de recouvrement à l'échelle des quadrats de 5 × 5 m (cf. 2.2, p. 58) aux mesures

d'intensité lumineuse : le recouvrement total a été estimé comme la somme des recouvrements dans les deux states (0 - 1 m et 1 - 2 m).

La figure 2.13 (p. 76) montre les relations entre l'ouverture du milieu et les variables de structure que sont la surface terrière et le recouvrement total dans l'état initial et après les travaux de lutte contre les EEE. Les valeurs négatives de $k \times LAI_{02}$ indiquent des situations où l'intensité lumineuse mesurée était plus forte près du sol qu'à 2 m de hauteur, c'est-à-dire des strates supérieures (Ab et AH) encombrées par rapport à des strates basses pouvant recevoir de la lumière latéralement. Une relation significative positive apparaît à l'état initial entre les valeurs de $kLAI$ et le recouvrement dans les strates basses (0 - 2 m). En revanche, l'encombrement estimé n'est pas relié à la surface terrière totale n'est pas relié à l'état initial. Ce résultat n'est toutefois pas surprenant étant donné les hauteurs auxquelles ont été effectuées les mesures (proche du sol et 2 m). Après travaux, on constate l'absence de relation avec les variables de structure, en particulier la relation avec le recouvrement total n'apparaît plus, ce qui indique des modifications importantes dans les conditions lumineuses.

De même, on constate l'absence de relation entre l'effort de lutte, mesuré par les variations entre les variables de structure, et les variations estimées du paramètre $k \times LAI_{02}$ estimant l'encombrement foliaire (Figure 2.14), quelle que soit la variable de structure considérée (surface terrière totale ou recouvrement total).

Ces résultats illustrent

1. l'importance du couvert végétal des strates basses (herbacée, he, et arbustive basse, ab) dans

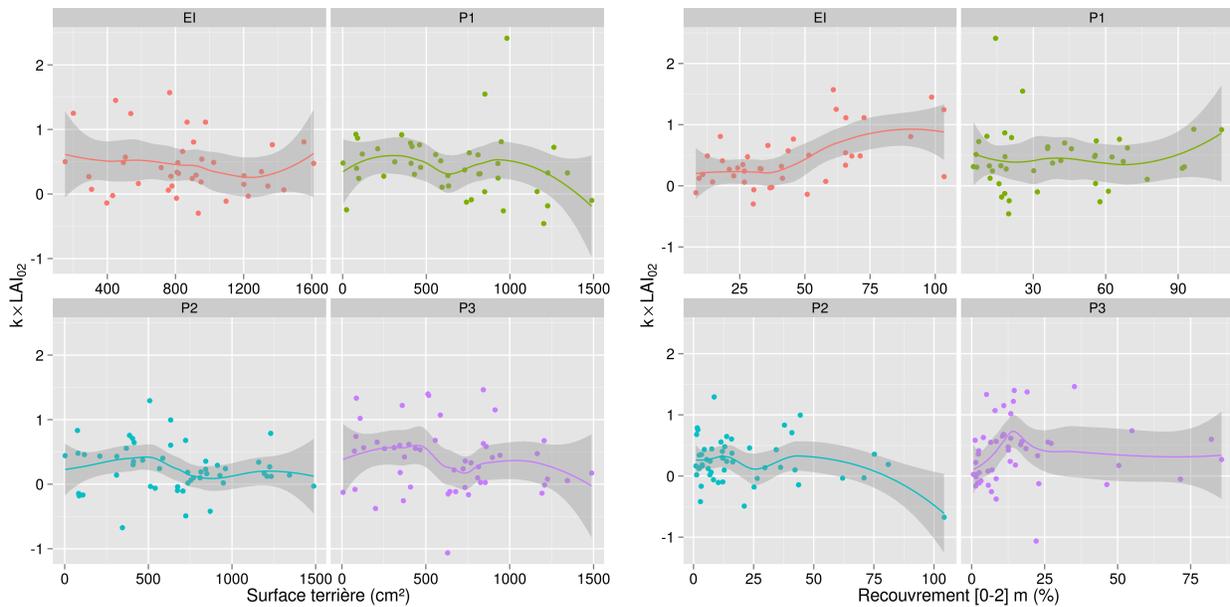


FIGURE 2.13 – Relations entre l'encombrement foliaire estimé par les variations de PAR (cf. 59) et la surface terrière totale (ST, droite) et le recouvrement total dans la strate 0 – 2 m (%) à l'état initial (EI) et lors des différents passages après travaux de lutte.

l'interception de la lumière dans les conditions caractéristiques des zones avant les travaux de lutte,

2. l'effet de la lutte sur les conditions lumineuses après coupe et en particulier la perte d'influence du couvert végétal des strates basses,
3. plus important, l'importante hétérogénéité des modifications dans les conditions lumineuses, reliées aux effets de la coupe mécanique du couvert. Hormis les limites dues aux variations rapides d'intensité lumineuse incidente liées à la nébulosité, ils semblent indiquer l'augmentation des apports de lumière latérale, ces apports pouvant être importants dans des situations de pente forte. Ils indiquent également la faible prédictabilité des effets de la coupe mécanique sur l'environnement lumineux. Ces effets peuvent être très variables dans l'espace en relation avec la nature des travaux (coupe dans le couvert ligneux, ou herbacé) et les conditions locales (pente, chaos rocheux).

3.5 Suivi de la régénération

Les figures 2.15 et 2.16 montrent l'évolution de la régénération des ligneux et non ligneux des quadrats de restauration à travers les 4 passages (EI, P1, P2, et P3) selon le potentiel invasif des taxons présents (CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. ET AL. COORD.), 2010).

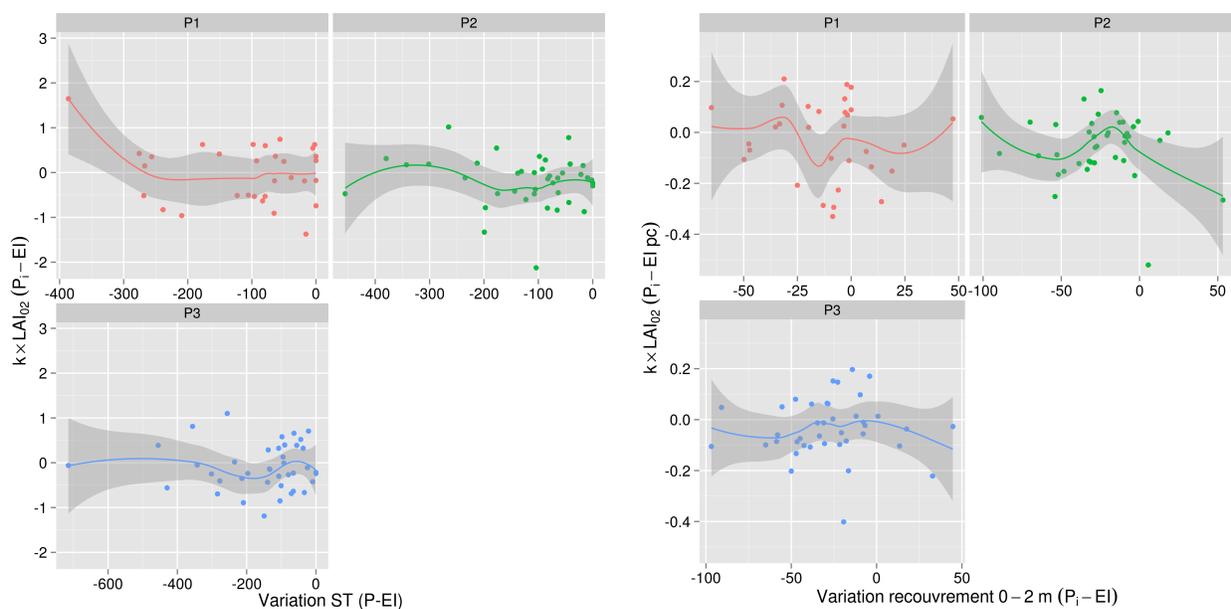


FIGURE 2.14 – Relations entre les variations d'encombrement foliaire estimé par les variations de PAR (cf. 59) et de structure entre l'état initial (EI) et les différents passages de suivi : surface terrière totale (ST, gauche) et le recouvrement total dans la strate 0 – 2 m (% , droite).

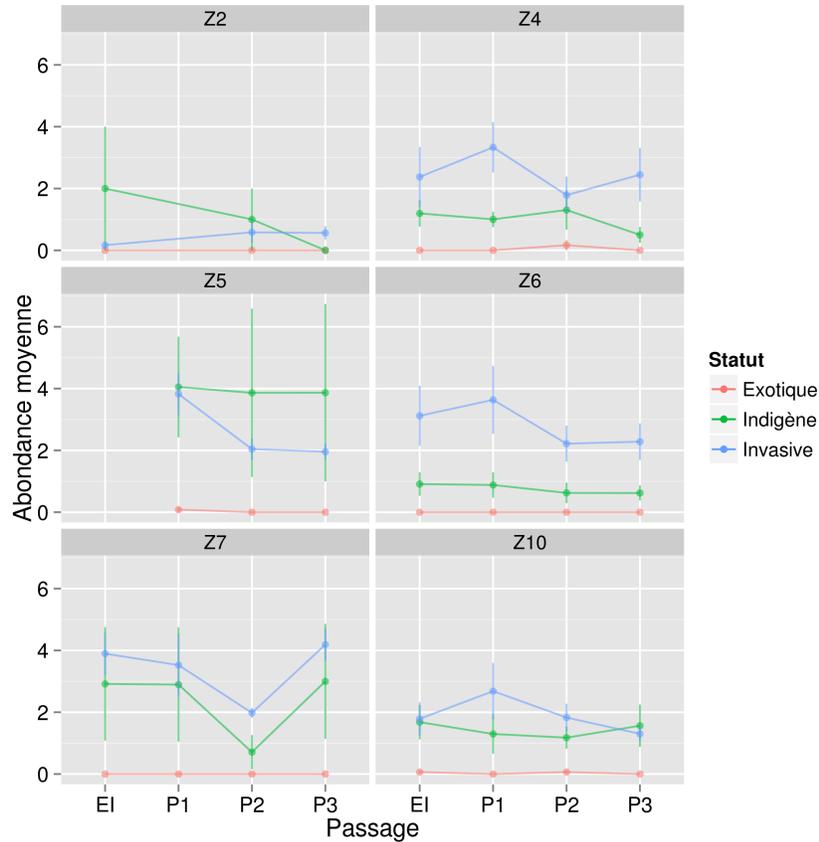


FIGURE 2.15 – Évolution de la régénération des espèces ligneuses au sein des zones de restauration : nombre de plantules et juvéniles des espèces de 2 à 100 cm de hauteur selon le statut indigène, exotique ou EEE. Moyenne par zone entre quadrats (25 m^2 , $n = 52$) des abondances observées dans les mini-quadrats (1 m^2 , $n = 5$) et cumulées par quadrat (barres verticales : erreur standard). Seuls les mini-quadrats avec moins de 80 % de recouvrement en rochers sont retenus. EI : État initial, P1 à P3 : passages pour suivi temporel.

Zone 2 : À l'état initial, on note la présence de *Litsea glutinosa* parmi les ligneux EEE observée dans les quadrats de régénération. *Doratoxylon apetalum* est le seul taxon indigène présent initialement. Parmi les non-ligneux, on note la présence de *Furcraea foetida* et *Kalanchoe pinnata* taxons très envahissants, et de *Rhipsalis baccifera*, cactacée indigène. Après travaux (P2 et P3), le nombre d'individus présents baisse dans l'ensemble. *Furcraea foetida* et *Rhipsalis baccifera* ont disparu des quadrats de régénération. On note l'apparition dans les relevés de la Fataque, *Panicum maximum*, poacée invasive en milieu ouvert, et de *Teramnus labialis* pouvant avoir localement un recouvrement important.

Zone 4 : À l'état initial, *Doratoxylon apetalum* et *Securinega durissima* sont les espèces indigènes les plus abondantes, mais en densité faible (Figure 2.15). *Hiptage benghalensis*, *Tecoma stans*, *Litsea*

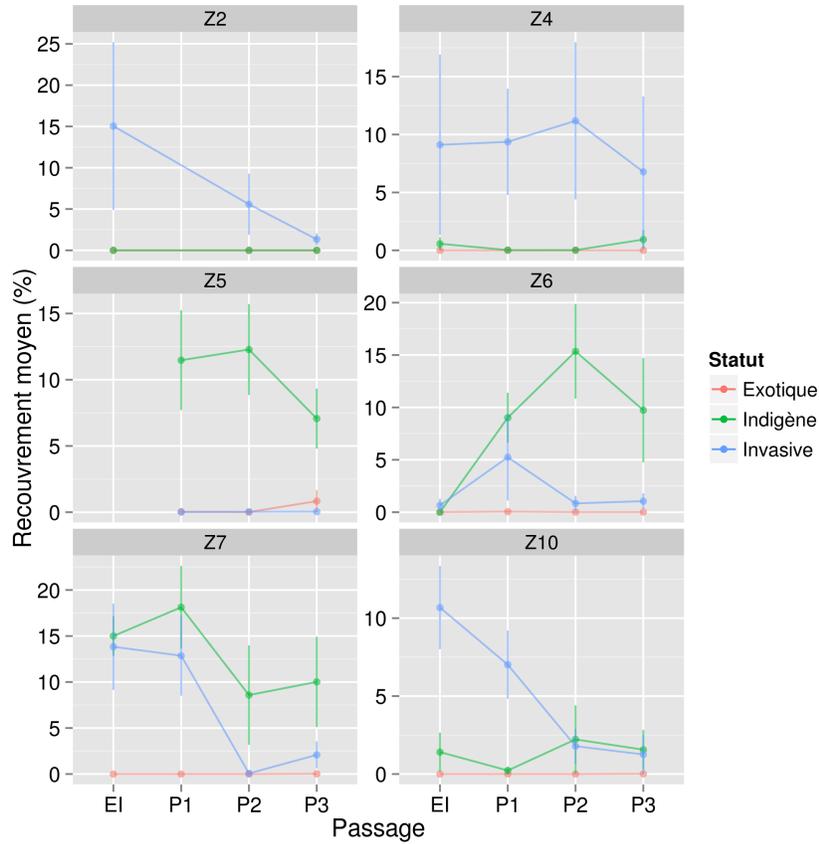


FIGURE 2.16 – Évolution de la régénération des végétaux non-ligneux au sein des zones de restauration : recouvrement cumulé (%) des espèces de 2 à 100 cm de hauteur selon le statut indigène, exotique ou EEE. Moyenne par zone entre quadrats (25 m^2 , $n = 52$) des abondances observées dans les mini-quadrats (1 m^2 , $n = 5$) et cumulées par quadrat (barres verticales) : erreur standard. Seuls les mini-quadrats avec moins de 80 % de recouvrement en rochers sont retenus. . EI : État initial, P1 à P3 : passages pour suivi temporel. Noter les échelles verticales différentes.

glutinosa et *Leuceana leucocephala* sont aussi présents en plus grand nombre. Les espèces non ligneuses, avant travaux, sont essentiellement représentées par *Furcraea foetida* et *Panicum maximum* (70 %).

A P1, nous remarquons une augmentation du nombre de juvéniles d'*Hiptage benghalensis*. Les effectifs des indigènes sont stables avec toutefois l'apparition d'individus de *Dombeya acutangula*, *Phyllanthus casticum* et de *Stillingia lineata* (juvéniles entre 2 et 5 cm). A P3, le nombre d'individus de *Doratoxylon apetalum* et *Securinega durissima* a baissé. Les individus de *Stillingia lineata*, *Phyllanthus casticum* et *Dombeya acutangula* n'ont pas été retrouvés. *Hiptage benghalensis* augmente et devient l'espèce majoritaire à P3. En fin de travaux, *Furcraea foetida* montre une baisse importante, tandis que *Panicum maximum* augmente en recouvrement mais de façon hétérogène.

Zone 5 : En zone 5, la régénération ligneuse indigène est relativement bien représentée dans les quadrats par rapport aux autres zones de restauration : par ordre décroissant, *Securinega durissima*, d'*Erythroxylum sideroxyloides* et *Eugenia buxifolia*. En dernier passage, nous remarquons une légère baisse du nombre d'individus indigènes, *Securinega durissima* est encore présent mais les effectifs des deux autres espèces baissent de moitié. Les EEE sont eux aussi présents à P1 représentés en ordre décroissant par *Litsea glutinosa*, *Rhus longipes*, *Hiptage benghalensis*, *Breynia retusa* et *Lantana camara*. En fin de suivi, leur nombre a baissé considérablement. Nous ne retrouvons plus *Hiptage benghalensis* ni *Lantana camara*.

Les espèces non-ligneuses sont majoritairement indigènes (*Pteridium aquilinum*, *Phymatosorus scolopendria* et *Angreacum eburneum* subsp. *superbum*). Peu d'EEE sont présentes à P1 alors que 17 % des individus sont représentés par des taxa indéterminés (*Christella* sp. et une Poaceae indéterminée). En P3, le recouvrement des espèces indigènes baisse, essentiellement du fait de *Phymatosorus scolopendria* dont le recouvrement baisse, sans doute en lien avec une forte exposition à des conditions d'intensité lumineuse élevée.

Zone 6 : À l'état initial, les EEE sont les abondantes dans la régénération ligneuse, en particulier *Litsea glutinosa* et *Rhus longipes*. Parmi les espèces non-ligneuses sont présents *Furcraea foetida* pour les EEE et *Angreacum eburneum* subsp. *superbum*, *Phymatosorus scolopendria* ou *Rhipsalis baccifera* chez les espèces indigènes. À P1, *Litsea glutinosa* est encore fortement présent ainsi que *Rhus longipes*. On note l'apparition de *Breynia retusa* et *Syzygium jambos*. Leur nombre reste relativement élevé en fin de suivi. *Litsea glutinosa* est toujours présent de façon très significative. Les espèces indigènes sont peu représentées (*Doratoxylon apetalum* et *Securinega durissima*), avec des effectifs très faibles mais stables au cours du suivi. En P1, *Furcraea foetida* augmente fortement pour ensuite diminuer en terme de recouvrement. En P3, le nombre d'espèces indigènes augmente avec *Nephrolepis biserrata*, *Phymatosorus scolopendria* et *Rhipsalis baccifera*. On note un pic de recouvrement de *Nephrolepis biserrata* non citée initialement en P2.

Zone 7 : Les individus ligneux sont relativement abondants mais mélangés en termes de statut à l'état initial, et essentiellement représentés par *Erythroxylum sideroxyloides* et *Litsea glutinosa*. Les espèces non-ligneuses envahissantes sont fortement présentes à l'état initial avec *Furcraea foetida* (45 % de recouvrement). Les espèces indigènes sont elles-aussi bien représentées à l'état initial (*Phymatosorus scolopendria*). En fin de suivi, les effectifs des EEE *Litsea glutinosa* et *Leuceana leucocephala* augmentent, de même que ceux des espèces indigènes (*Erythroxylum sideroxyloides* et *Securinega durissima*). En terme de recouvrement après travaux (P2), les EEE chutent considérablement en particulier *Furcraea foetida* dont le recouvrement diminue fortement suite aux actions de lutte ciblée. Toutefois en P3, *Furcraea foetida* et *Kalanchoe pinnata* montrent une légère hausse. Les espèces indigènes baissent en P3 (10 %).

Zone 10 : *Hiptage benghalensis* et *Litsea glutinosa* sont fortement présentes dans la régénération des espèces ligneuses. Parmi les espèces indigènes *Doratoxylon apetalum* et *Eugenia buxifolia* sont les plus abondantes. Concernant les espèces non ligneuses, nous retrouvons, à l'état initial un fort re-

couvrement des espèces envahissantes (48 %) représenté par *Furcraea foetida* et *Panicum maximum*. Les espèces indigènes sont représentée uniquement par *Rhipsalis baccifera*.

Après travaux (P3), l'abondance des indigènes diminue de moitié dans les quadrats de régénération. *Doratoxylon apetalum* y est minoritaire, le nombre d'individus d'*Eugenia buxifolia* est quasi identique. On note une baisse importante chez les EEE après travaux (P3). En recouvrement, une forte baisse concerne *Furcraea foetida*, tandis que *Rhipsalis baccifera* se maintient.

TABLE 2.4 – Résumé synthétique des tendances observées pour les indicateurs de régénération (abondance et recouvrement) par type biologique et statut lors du suivi de six zones de restauration ayant fait l'objet d'une lutte intégrale contre les EEE. +++ : très forte augmentation ; ++ : forte augmentation ; + : augmentation ; = : pas de tendance observée ; - : diminution.

Indicateur	Zone					
	Z2	Z4	Z5	Z6	Z7	Z10
Ligneux indigènes	=	=	=	=	=	-
Ligneux exotiques	-	-	+	=	+	-
Non-ligneux exotiques	=	-	=	=	=	=
Régénération non-lig. exotique	-	++	-	-	-	-

3.6 Suivi de la pluie de graines

L'analyse de la masse de matière sèche et du nombre de graines récoltées dans les pièges à graines montrent la forte saisonnalité de la production de litière et de la phénologie reproductive au sein des zones étudiées (Figure 2.17). Les deux processus montrent des patrons différents. La production de litière montre un pic net de production dans les mois de janvier à mars, la zone 10 montrant un schéma particulier avec 2 pics annuels dont un pendant la saison sèche en octobre. La pluie de graines montrent des patrons moins marqués et plus variables d'une zone à l'autre avec des pics de dissémination étalés d'octobre (TBD) à décembre (Z5) et janvier (Z10). Dans la zone 10, un pic important est essentiellement le fait d'une seule espèce indigène, mais dont la détermination reste incertaine (cf. *Vepris lanceolata*), et dont l'abondance dans la pluie de graines a pu être sur-estimée par la méthode d'estimation utilisée dans le cas de graines nombreuses.

En zone 5 de restauration (Cap Francis), 1716 graines représentant trente-deux taxons ont été capturées durant la période d'étude (avril 2012 – avril 2013) sur une surface totale de 6 m², soit une moyenne de 22 graines/mois/m². Dix-huit des taxons ont pu être identifiés jusqu'à l'espèce et neuf au niveau de la famille. Cinq taxons restent indéterminés et représentent une faible partie de la pluie de graines (8,3 % de la pluie de graines totale). Les abondances relatives des espèces montrent que les deux espèces les plus représentées sont *Rhus longipes* et *Agarista salicifolia* (Figure 2.18.a) avec respectivement 40% et 37%. Sur les dix-huit taxons identifiés jusqu'à l'espèce, dix sont indigènes et huit sont exotiques, représentant respectivement 49,6% et 42,6% de la pluie de graines totale (Figure 2.19.a). Six taxons présentaient au moins dix graines. *Erythroxylum hypericifolium* montre

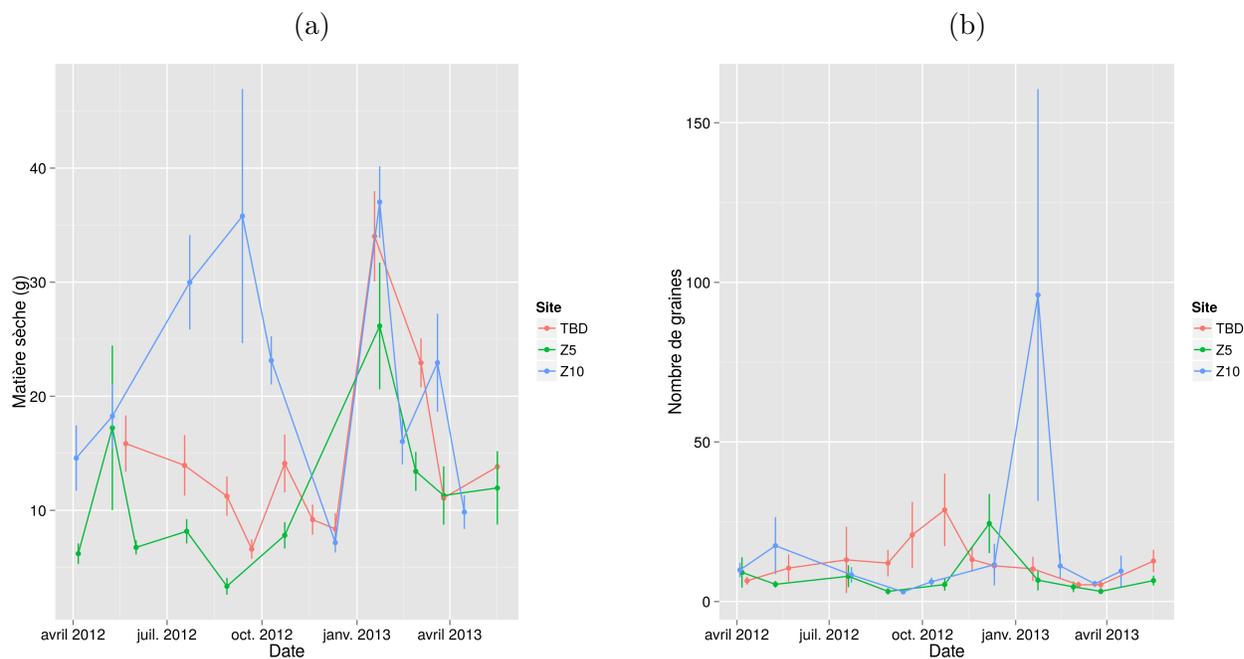


FIGURE 2.17 – (a) Production de litière (en g) et (b) abondance totale de la pluie de graines, estimées à partir des échantillons récoltés dans les pièges à graines situés dans trois zones d'étude à partir d'avril 2012 : deux zones de restauration (Z5 et Z10) et une zone forestière pour comparaison (Ti Bon Dieu, TBD).

un pic annuel au mois de mai (Figure A.20, p. 148). Concernant les autres espèces, aucun pic n'a pu être identifié.

Dans la zone 10, 7975 graines de trente-huit taxons ont été capturées sur une surface totale de 6m², soit une moyenne de 111 graines par mois et par mètre carré. Vingt-et-un des taxons ont pu être identifiés jusqu'à l'espèce, un au niveau du genre et trois au niveau de la famille. Plusieurs taxons restent indéterminés mais représentent une faible part de la pluie de graines (5,6 %). Les deux espèces les plus représentées dans la pluie de graines pour cette zone sont une espèce indigène, mais dont les effectifs ont probablement été sur-estimés lors des comptages (59,2 %) et *Rhus longipes* (12 %, Figure 2.18.b). Sur les vingt-et-un taxons identifiés jusqu'à l'espèce, huit sont indigènes et treize sont exotiques, représentant respectivement 79,3 % et 14,9 % de la pluie de graines totale (Figure 2.19.b).

En zone 10, sur vingt-et-un taxons identifiés douze présentaient au moins dix graines dans la pluie de graines mesurée (Figure A.21 & A.21, p. 150 & 150), mais pas de pic de dispersion, soit que les taxons étudiés ne présentent pas de saisonnalité marquée de dispersion, soit que l'effort d'échantillonnage n'a pas permis la détection d'un signal.

Sur le site de la crête Ti Bondieu, 10545 graines représentant quarante-neuf taxons ont été capturées sur une surface totale de 8 m² pendant la durée de l'étude au sein des zones de restauration, soit une moyenne de 25 graines/mois/m². Trente-quatre des taxons ont pu être identifiés jusqu'à

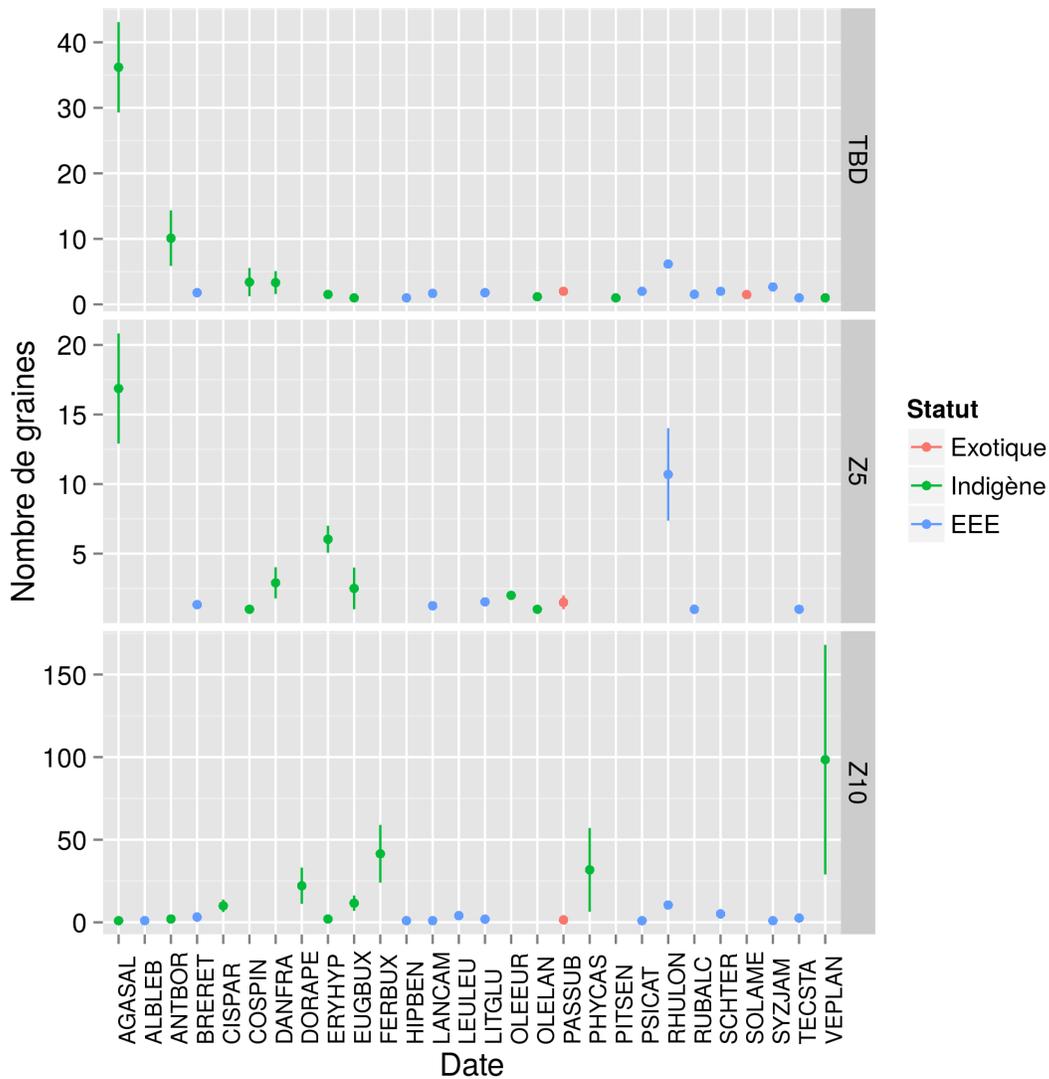


FIGURE 2.18 – Fréquence des espèces observées dans la pluie de graines dans les zones de restauration 5 (a) et 10 (b) et sur le site du Ti Bondieu (moyennes \pm err. std.) (c).

l'espèce, trois au niveau du genre et douze au niveau de la famille. Vingt taxons restent indéterminés et représentent une partie importante de la pluie de graines (33,2 %). Les deux espèces les plus représentées sont *Agarista salicifolia* et une Asteraceae non déterminée avec respectivement 45,3 % et 23,9 % (Figure. 2.18.c). Sur les trente-quatre taxons identifiés jusqu'à l'espèce, dix-sept sont indigènes et dix-sept sont exotiques, représentant respectivement 53,3% et 13,4 % de la pluie de graines totale (Figure 2.19.c). Dix-huit taxons ont fait l'objet d'un suivi phénologique MENDE, 2012. Pour la majorité de ces espèces, on observe une corrélation entre le signal de la fructification et la pluie de graines. Un exemple détaillé pour *Litsea glutinosa* (Figure 2.20) présente un pic de dispersion des graines corrélé avec un pic de floraison et de fructification annuel.

Il est difficile d'apprécier correctement la représentativité d'une espèce au sein de la pluie de

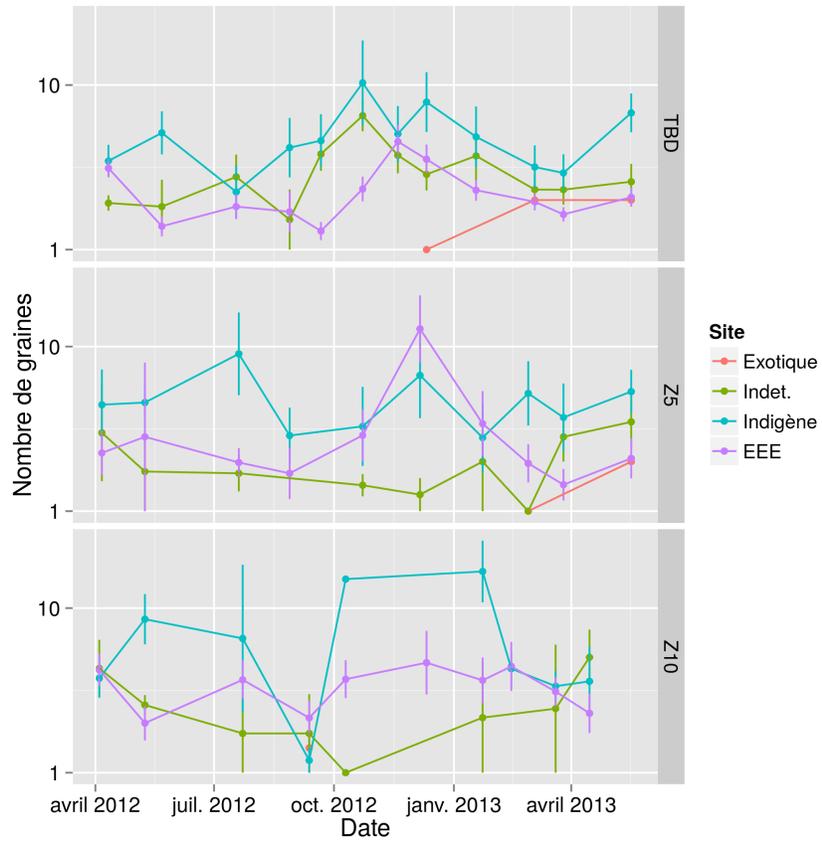


FIGURE 2.19 – Pluie de graines (effectifs) estimés dans les trois zones suivies (Z5, Z10 et Ti Bon Dieu, TBD) selon le statut des espèces rencontrées.

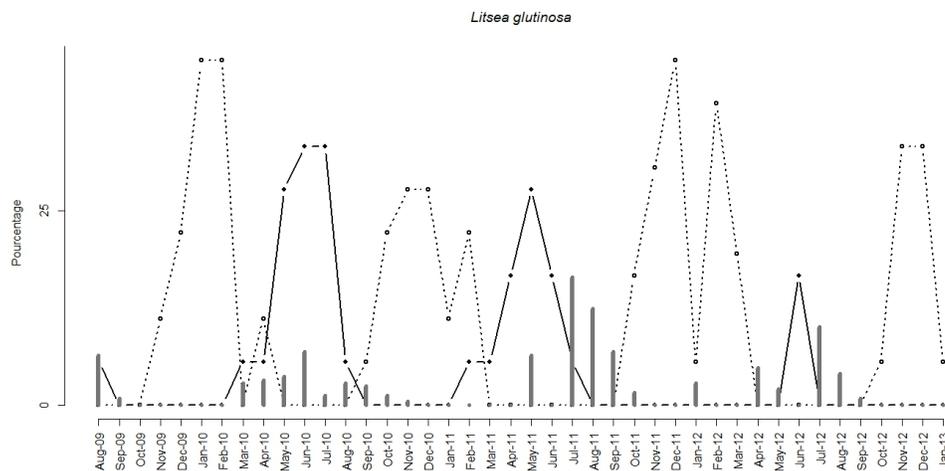


FIGURE 2.20 – Exemple de patron temporel observé pour l’espèce exotique *Litsea glutinosa* lors de l’étude de la phénologie sur le site du Ti Bondieu. Les lignes représentent le pourcentage d’arbres suivis en fleurs (pointillés) et portant des fruits mûrs (traits pleins). Les barres verticales représentent l’abondance des graines de l’espèce (échelle arbitraire).

graines à l’échelle de la communauté, principalement car le nombre de graines produites et dispersées varie fortement entre les espèces, les espèces très abondantes dans la pluie de graines expriment la plus grande partie de la variation du signal. Ainsi, 37,2 % de la pluie de graines en Z10 sont représentés par *Agarista salicifolia* (AGASAL). Il en est de même sur le site de la crête Ti Bondieu où il représente 38 % de pluie de graines. Cette espèce est anémochore et produit en moyenne une centaine de graines par capsule (Figure 2.21).

Le suivi et l’évaluation de la pluie de graines, bien que limité dans le temps a montré une diversité élevée de taxons présents, la plupart étant néanmoins représentés par peu de graines. Une partie de la pluie de graines restent indéterminée, essentiellement par manque de références pour comparaison et identification des graines récoltées. Parmi celles identifiées, les espèces indigènes sont bien représentées, mais l’examen des abondances relatives révèlent un déséquilibre important avec quelques taxons composant la majorité de la pluie de graines dispersées.

3.7 Suivi de la lutte chimique au phytocide

En collaboration avec la cellule Life+ du parc, un suivi sur la lutte chimique mis en place en interne par le parc a été effectué en 2012/2013. Les résultats ont été analysés et ont permis d’évaluer l’efficacité des traitements entre 2012 et 2013. Des opérations de lutte chimique ont été réalisées par l’ONF à partir de juin 2012 et ont concerné six espèces : *Ehretia cymosa* (ERYCYM), *Hiptage benghalensis* (HIPBEN), *Leucaena leucocephala* (LEULEU), *Litsea glutinosa* (LITGLU), *Rhus longipes* (RHULON), *Tecoma stans* (TECSTA). Les opérations effectuées ont consisté dans un premier temps à couper au sabre à canne les tiges principales et rejeter des individus ciblés par la lutte. Dans un second temps, un phytocide a été appliqué par pulvérisation au niveau des et rejets souches coupés.



FIGURE 2.21 – Exemple de matériel récolté dans les pièges à graines : capsule (a) et graine (b) d'*Agarista salifciolia*. Les échelles, non visibles représentent 2 et 0.5 mm respectivement.

Un suivi a été mis en place dans 3 zones de restauration (4, 5 et 10) afin d'évaluer l'efficacité des méthodes mises en place. Des individus ont été marqués sur le terrain au cours des opérations de lutte au moyen d'étiquettes (Fig. 2.22) puis ont été suivis par la suite. La survie de plants marqués a été observée au cours de deux passages effectués en mars 2013 et en octobre 2013.

La figure 2.23 montre la répartition des individus morts et ceux ayant survécu et qui ont pu être retrouvés au moment des deux passages. Les résultats indiquent une efficacité relative concernant les espèces *Hiptage benghalensis* et *Litsea glutinosa*, mais un traitement relativement inefficace concernant les espèces *Leucaena leucocephala* et *Tecoma stans* au vu des taux de survie important constaté pour ces deux espèces.



FIGURE 2.22 – Souche d'*Hiptage benghalensis* marquée pour le suivi de la lutte chimique.

Il est à noter que ces résultats restent partiels et ne concernent pas toutes les espèces ayant fait l'objet de la lutte. En effet, des difficultés ont été rencontrées sur le terrain pour retrouver l'ensemble des individus marqués, la présence de débris végétaux issus de la lutte pouvant camoufler les étiquettes.

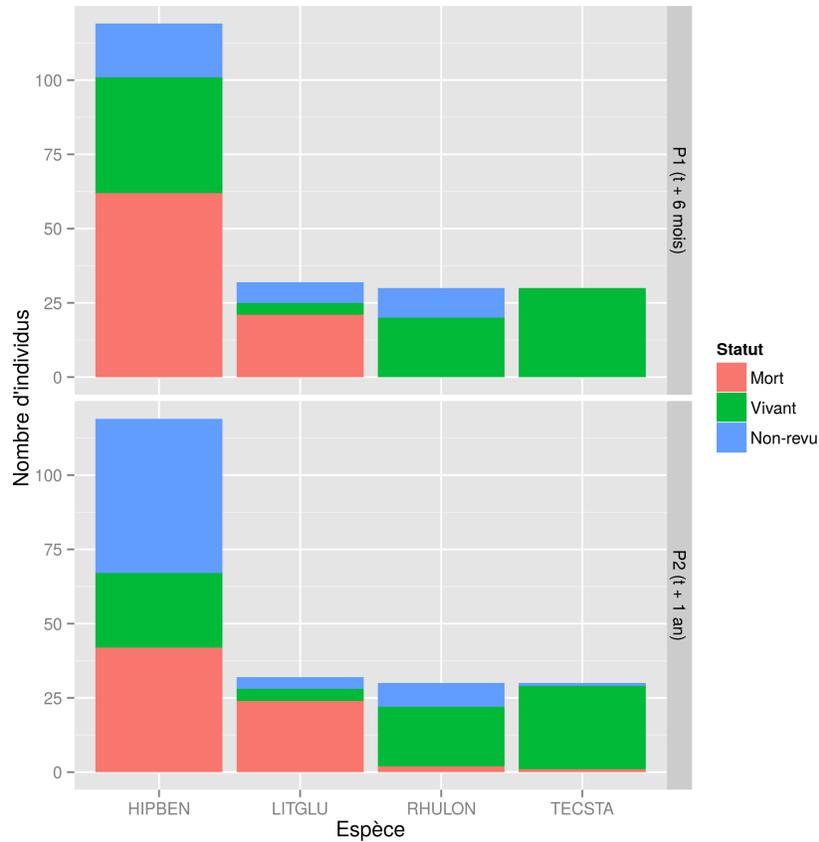


FIGURE 2.23 – Résultats du suivi de la lutte chimique contre 6 espèces exotiques invasives dans trois des zones de restauration (Z4, Z5 et Z10) pour les deux passages de suivi en 2012 (a) et 2013 (b). Du fait de difficultés lors du suivi (étiquettes perdues, pb de marquage), certains individus n'ont pas pu être suivis (marqués 'Non-revu').

Chapitre 3

Comparaison des actions de deux volets

Sommaire

1	Caractéristiques pédologiques	88
1.1	Pédologie en zone forestière	89
1.2	Comparaison des propriétés édaphiques	89
2	Réintroduction en milieu naturel	93
2.1	Résumé des travaux de plantation	93
2.2	Méthodes et résultats	93
3	Dynamique de ré-invasion	97
3.1	Évolution du recouvrement	97
3.2	Richesse spécifique	98

Dans ce chapitre, les deux volets reconstitution et restauration du programme sont comparés, les points de comparaison abordés concernent les conditions pédologiques, le succès des plantations réalisées, du point de la survie et de la croissance des plants, et la ré-invasion des zones plantées par les espèces exotiques.

1 Comparaison des sols perturbés de la zone de reconstitution avec un sol forestier

La zone retenue comme représentative de conditions forestières de type semi-xérophile est celle du Cap Francis (Zone 5 de restauration écologique, Figure 2.1)), dans laquelle la structure forestière est relativement bien préservée, qui montre un sol présent entre les chaos rocheux. Des prélèvements de sol ont été réalisés dans la partie forestière montrant un sol développé avec présence de litière (Figure 3.4). Les résultats présentés sont basés sur un échantillonnage à une période donnée, les conclusions tirées sont à nuancer en relation avec la saisonnalité des conditions climatiques, en premier lieu des précipitations.

1.1 Caractérisation pédologique d'un sol forestier (zone 5, Cap Francis)

En zone forestière, cinq prélèvements de sol ont été effectués au niveau de la ravine Grande chaloupe, au lieu dit Cap Francis, une des zones les plus représentatives et la mieux conservée de forêt semi-xérophile. Ces 5 échantillons, après classement automatique, correspondent à des andosols non perhydratés, caractéristique d'un relief de dissection à sols peu évolués (voir Annexe p. A.3). Les sondages à la tarière (5 profils effectués) font apparaître des sols homogènes de profondeur faible et peu variable (entre 22 et 41 cm), de texture grossière sur les 10 premiers centimètres et avec une litière épaisse. Dans l'ensemble les analyses montrent là aussi des propriétés comparables entre échantillons. Les prélèvements révèlent un pH neutre à légèrement acide (compris entre 6,29 et 6,98), une capacité d'échange cationique (CEC) moyenne (comprise entre 14,82 et 40,92 méq/100 g), en relation avec un taux de matière organique élevé dans les échantillons (teneur en C compris entre 3,557 et 8,185 g/100 g MS105). Les teneurs en sodium sont élevées. Les teneurs en magnésium, élevées, sont supérieures aux teneurs en calcium (hormis pour l'échantillon CAPECF05). Les teneurs en potassium sont normales, de l'ordre 0,076 à 0,189 mé/100g. Le rapport C/N indique une bonne minéralisation du milieu ($C/N > 10$) et une bonne disponibilité de l'azote pour les plantes.

Selon la littérature, les analyses des sols effectuées en milieu forestier, correspondent à l'unité 5 des sols modelés à dissection très accidentés. Ces sols font partie d'un vaste ensemble d'origine altéritique (ferrallitique, localement andique), ou des différences notables existent selon l'altitude et la pluviosité (RAUNET, 1991). La localisation et la topographie de la zone d'étude (550/600 m altitude, forte pente) ainsi que les analyses chimiques (forte taux en C, pH neutre à légèrement acide) semblent indiquer que ces sols sont effectivement des sols peu évolués à localement andique. Ils sont peu profonds, avec des taux en C normaux et très peu argileux. Leurs faciès correspondent à des colluvions de pente hétérogènes, alternant altérites remaniées, cailloux et matériaux cendreaux récents.

1.2 Comparaison des propriétés édaphiques entre sol perturbé et sol forestier

Composition chimique

D'un point de vue chimique, le sol forestier montre de meilleures teneurs en carbone et azote que les sols perturbés (Figure 3.1) et donc une meilleure fertilité. Le rapport C/N, qui caractérise la minéralisation du sol, est également plus élevé en milieu forestier qu'en milieu perturbé. Ces valeurs sont toutefois favorables et indiquent une bonne minéralisation d'ensemble. Les deux types de sol montrent une acidité relativement variable mais des pH similaires (Figure 3.1), favorables à l'assimilation des nutriments (la majorité des éléments sont assimilables pour des pH compris entre 6 et 7) par les plantes¹.

Concernant les autres éléments chimiques majeurs, la teneur en calcium (Ca) est en moyenne plus élevée en zone de reconstitution sur la planèze qu'en zone forestière (Figure 3.2). Cette différence est due principalement à l'abondance d'argiles minérales de type smectites en zone de reconstitution.

1. Il est possible que le pH du sol en zone de reconstitution évolue en réponse à l'amendement incorporé dans le substrat dans lequel les plants ont été introduits.

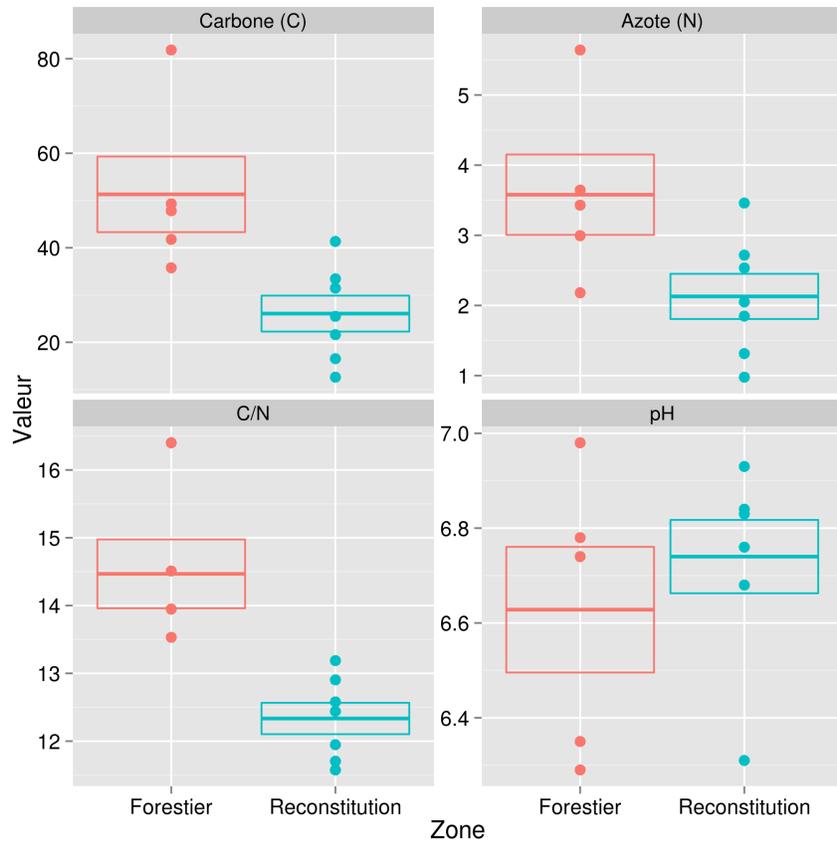


FIGURE 3.1 – Comparaison entre le sol forestier et les sols perturbés de la zone de reconstitution, teneur en C, N, indice C/N et pH.

Ces valeurs restent toutefois élevées pour les deux types de sol. Les teneurs en magnésium Mg sont très hétérogènes et plus faibles dans le sol forestier par rapport aux sols perturbés, mais toutefois élevées du fait de la présence d'olivine dans la roche mère. Les teneurs en potassium K sont elles aussi hétérogènes dans le sol forestier. En zone de reconstitution, le potassium proviendrait des particules d'argiles, alors que le potassium du sol forestier proviendrait de la décomposition organique. Enfin les sols perturbés tout comme le sol forestier sont saturés en Na. Dans l'ensemble, les fortes valeurs en Mg, Ca, et Na dans une moindre mesure, des sols en zone de reconstitution peuvent aussi indiquer l'influence des apports marins par les embruns.

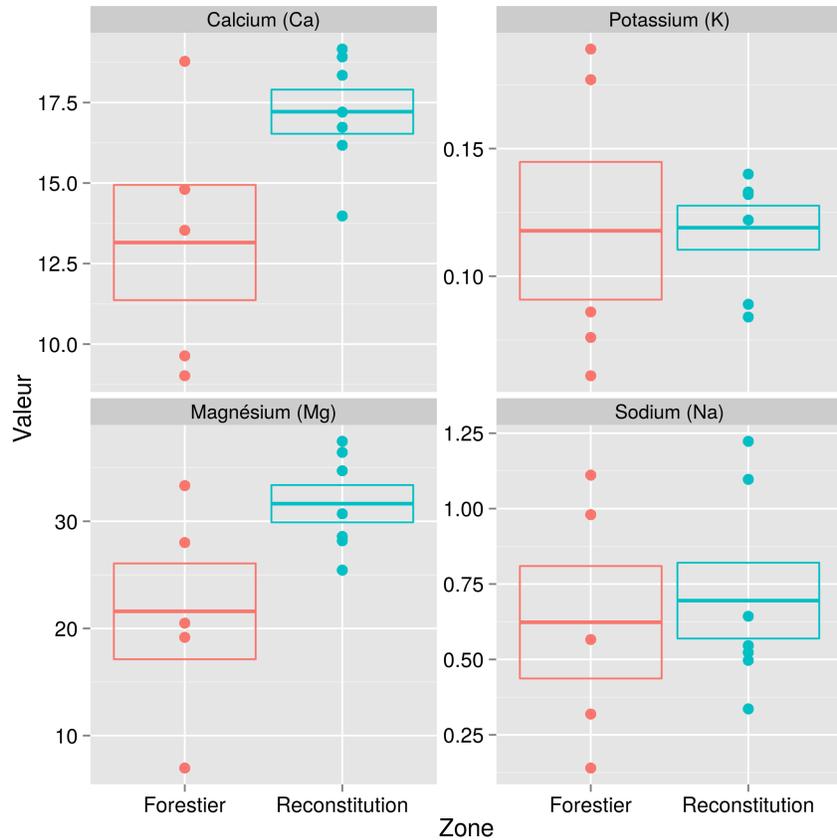


FIGURE 3.2 – Comparaison entre le sol forestier (Z5) et les sols perturbés de la zone de reconstitution (ZR) des teneur en éléments chimiques (Ca, calcium, K, potassium, Mg, magnésium et Na, sodium).

Propriétés physiques

La figure 3.3 montre les caractéristiques physiques (point de flétrissement, capacité au champ et réserve en eau utile) des sols perturbé et forestier. Le sol forestier montre dans l'ensemble une capacité de rétention en eau moindre que les sols perturbés de la planèze. Les sols de la planèze détiennent des valeurs d'humidité supérieures au sol forestier. Ces résultats indiquent une réserve en eau utile plus limitée dans le sol forestier qu'en zone de reconstitution (Figure 3.3). Ceci peut

être mis en relation avec le fait que le sol est apparu beaucoup moins profond en zone forestière que sur la zone de reconstitution, mais pourrait être nuancé en prenant en compte les variations saisonnières.

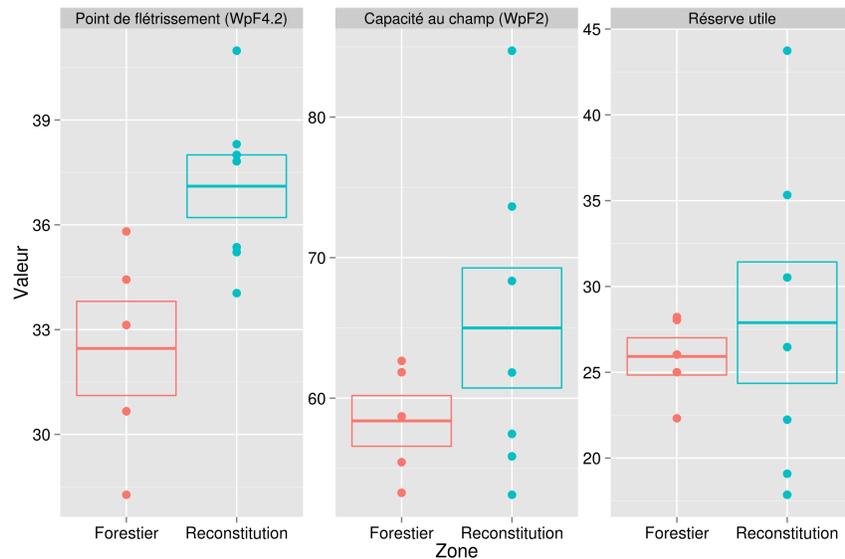


FIGURE 3.3 – Comparaison des propriétés physiques des sols : capacité au champ, point de flétrissement et réserve utile en eau, entre le sol forestier (Z5) et les sols perturbés de la planèze en zone de reconstitution (ZR).

Bilan

Les sols perturbés et forestiers présentent des similitudes avec une bonne minéralisation et disponibilité en éléments nutritifs. Les prélèvements effectués sur le site de reconstitution montrent un sol argileux (smectites), peu perméable et donc propice au ruissellement et à l'érosion. Des variations dans la pédologie sont notables en fonction de la topographie de la zone, en particulier selon la pente et la proximité avec le bord de la planèze (épaisseur de sol moindre). La caractéristique majeure de ces sols bruns vertiques est la présence d'argiles de type smectites, avec une forte capacité d'échange cationique, saturée en calcium et en magnésium. Une différence révélée par les analyses concerne l'accessibilité des réserves utiles en eau pour les plantes, plus limitées sur sol forestier peu épais.

Dans l'ensemble, les propriétés des sols étudiés sont favorables au développement de la végétation, même s'ils restent sources de contraintes : gonflement, engorgement, retrait pouvant être néfastes à l'enracinement. Toutefois, les vertisols de La Réunion sont à structure grenue très développée dans l'horizon superficiel, propriété favorable que n'ont pas tous les vertisols, et qui facilite la germination et limite le dessèchement du sous sol (RAUNET, 1991).

2 Réintroduction en milieu naturel

Hormis la lutte contre les espèces invasives, réalisée à l’engin mécanique pour le volet reconstitution et par des équipes d’ouvriers spécialisés pour le volet restauration, la réintroduction de plantes en milieu naturel est le principal point commun entre les actions réalisées dans les deux volets du programme COREXERUN. Ces plantations ont toutefois été réalisées dans des conditions techniques et environnementales différentes, ne serait-ce que du point de vue des caractéristiques des zones de plantation. Ces actions ont pour objectifs essentiels de reconstituer localement un couvert forestier indigène et de compenser la faible régénération naturelle d’espèces rares.

Dans cette partie sont présentés les travaux réalisés par le prestataire des travaux (ONF) et les résultats du suivi des plantations pour le volet restauration. Ils sont ensuite comparés avec les résultats pour la reconstitution écologique.

2.1 Résumé des travaux de plantation

Les plantations ont été effectuées de façon conjointe entre l’ONF et le GCEIP et se sont déroulées sur deux saisons (2012 et 2013), au lieu d’une initialement prévue. Initialement, trois zones devaient être concernées par des travaux de renforcement de populations : Z5, Z7 en 2012 et Z10 en 2013. Après concertation, il a été décidé d’intégrer les zones 1 et 2, plutôt que la zone 10, et de transférer une partie des plants d’*Obetia filicifolia* prévus en zone 7 dans ces deux zones afin d’y renforcer les populations de l’espèce déjà présentes. Le tableau 3.1 récapitule les actions de plantation effectuées par zone en 2012 et 2013.

En 2012, 5050 individus ont été plantés à raison de 1 pl/m² (Zone 5 et 7), et 1910 en 2013 à raison de 1 pl/m² (Zone 1 et 2). Le nombre de plants réintroduits dans les parcelles a finalement été augmenté, ce sont au total 6960 plants qui ont été concernés, dont 1856 représentants de 23 espèces rares parmi lesquelles 13 sont protégées. Le suivi réalisé a concerné les zones 5 et 7 uniquement. Les zones 1 et 2 ont fait l’objet d’un suivi particulier par la cellule Life+/COREXERUN du PNRun.

Au sein de la zone 5, trois sous-zones de plantation ont été traitées différemment lors des travaux (Figure 3.4) : deux sont situées dans la partie périphérique, occupée principalement par la Fougère Aigle *Pteridium aquilinum* (MADAULE et al., 2010), la troisième concerne une partie forestière relativement dégradée (canopée ouverte, envahie) du cœur de la zone (Cap Francis). Dans l’une des deux premières zones, relativement accessible, les travaux ont pu être réalisés à l’aide d’une petite pelle mécanique (défrichage et plantation), les deux autres zones, dont la partie forestière, ont été travaillées manuellement.

En zone 7, quinze individus de Bois d’ortie (*Obetia filicifolia*) ont été plantés manuellement en 2012 le long d’une bande d’environ 30 m située sur une barre rocheuse. Les individus ont tous été étiquetés sur le terrain et suivis individuellement par la suite.

2.2 Méthodes et résultats

En zone 5, nous avons installé dix placettes de suivi par zone de plantation (forestière, mécanisée et manuelle, $n = 30$ au total). Au sein de ces placettes, un suivi suivant le même protocole que celui



FIGURE 3.4 – Image aérienne de la zone de restauration 5 (Z5) montrant les trois zones de plantation : mécanisée et manuelle en zone périphérique envahie par *Pteridium aquilinum*, et forestière en cœur de zone (modalité C, Source : ONF). Les points oranges représentent la localisation des 30 plaquettes de suivi installées et les points verts les prélèvements d'échantillons de sol.

TABLE 3.1 – Résumé des actions de plantation en zones de restauration. Dans l'ensemble la densité retenue est 1 plant/m², les plantations ont été réalisées « en plein » lorsque l'espace était suffisant (périphérie de la zone 5, Figure 3.4) ou dans les espaces intersticiels entre arbres et arbustes en milieu forestier.

Zone	Effectif	Période	Placettes suivies
Z5, périphérie (mécanisée)	4000		10
Z5, périphérie (manuelle)	500	Mars 2012	10
Z5, cœur (Cap Francis)	450		10
Z7 (Crête Tan Georges)	15	Avril 2012	
Z1, Z2 (ravine Petite Chaloupe)	1995	Février 2013	
Total	6960		30

¹Source ONF.

mis en place dans la zone de reconstitution (p. 19), intégrant donc les mêmes indicateurs, a été réalisé. Quatre passages ont été effectués entre les plantations en juin 2012 et mai 2014 (Table A.3), dont un manque en partie forestière (à $t + 1$ an).

Suivi large : évaluation de la survie/mortalité

Un total de 468 individus de 24 espèces différentes ont été suivis. Deux individus morts au moment des relevés initiaux n'ont pas pu être identifiés. Les taux de mortalité pendant la période de reprise, bruts et annualisés, sont présentés dans le tableau A.9 en annexe p.133. Dans l'ensemble, les espèces réintroduites montre une survie quasi-totale à la reprise dans les trois zones de plantation de la zone 5.

Ce dernier résultat est en contraste avec la mortalité observée au sein des plantations de la zone de reconstitution où le taux moyen par placette est plus élevé (Figure 3.5.a). La survie des plants apparaît meilleure dans les conditions de la zone 5 de restauration, sans doute plus favorables à la végétation indigène du point de vue climatique. La majorité des espèces en commun entre les deux zones de plantation montrent une mortalité plus forte en planèze (ZR, Figure 3.5.b) qu'en zone de restauration en bord de ravine, où les taux sont souvent nuls pour la période de reprise mais également en saison sèche. La planèze sur laquelle repose la zone de reconstitution écologique est très exposée et était également très dégradée et envahie à l'état initial d'un point de vue structural (couvert réduit) et floristique. L'exposition à un fort ensoleillement et des conditions de sécheresse plus marquées² ont sans doute entraîné un stress hydrique important sur les jeunes plants, associé sans doute à l'effet plus important des cyclones en planèze qu'en situation plus abritée en bordure de rempart dans le cas de la zone 5.

Concernant les modalités de plantation en Z5, la meilleure survie apparaît dans la zone mécanisée, tandis que la zone de plantation manuelle est intermédiaire avec la zone forestière. Ces

². différences supposées *a priori*, car non quantifiables en l'absence de données de précipitations assez proches de la zone 5.

différences pourraient être liées aux conditions d'introduction (trous de plantation plus ou moins profonds et réguliers), avec des conditions de pente et sol plus difficiles en milieu forestier.

Concernant la zone de restauration 7 dans laquelle ont été plantés des individus d'*Obetia filicifolia*, deux ans après plantation, la totalité des plants était toujours vivants. Ces observations indiquent une bonne survie de l'espèce en milieu naturel, y compris au sein de cahos rocheux, cohérente avec sa distribution actuelle très réduite.

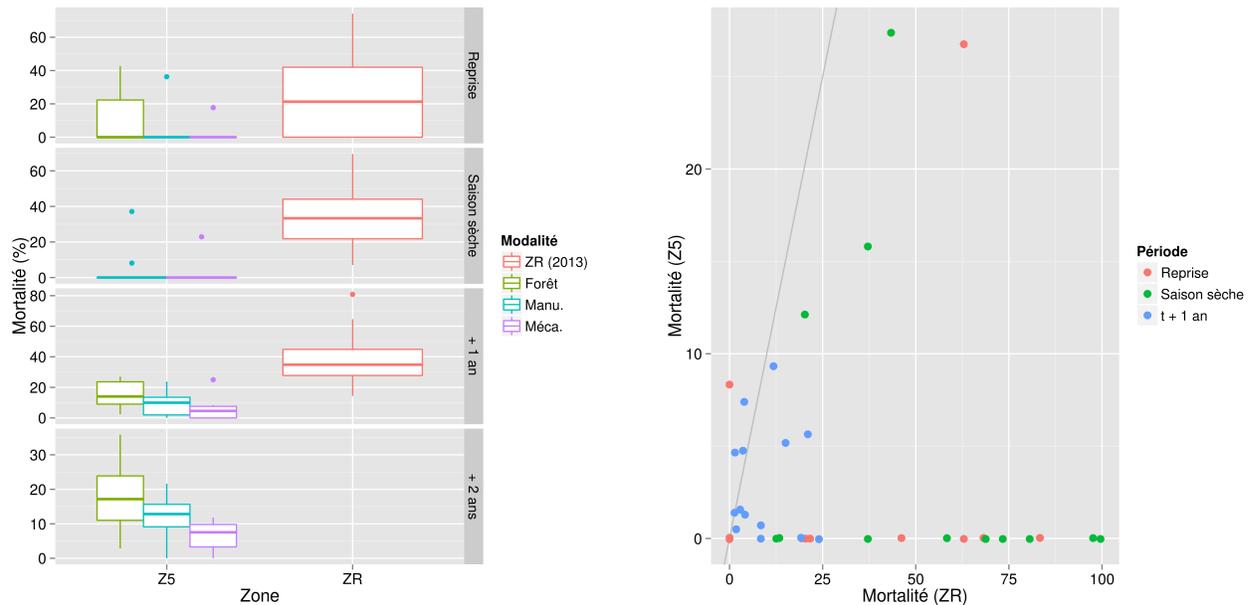


FIGURE 3.5 – Comparaison des actions de plantation des volets restauration (Zone 5, Z5) et reconstitution écologique (zone de reconstitution, ZR) : (a) mortalité à l'échelle des placettes suivies pour les périodes de reprise (5 semaines après plantation), de première saison sèche et à $t + 1$ an après plantation, (b) mortalité par espèce à l'échelle des placettes suivies pour différentes périodes de suivi : reprise (5 semaines après plantation), première saison sèche selon la zone, et à $t + 1$ an après plantation. Comparaison basée sur le suivi des placettes plantées selon la même géométrie (plein) et la même densité (1 pl/m²) dans les deux zones (modalité C en ZR, $n = 20$, et Z5, $n = 10$ par modalité). Un passage manque après saison sèche en zone forestière.

Suivi fin : évaluation de la croissance

Au total en Z5, 205 individus ont été concernés par le suivi fin (Méca. : 79, Manu. : 63, Forêt : 63, contre 153 pour la modalité C en zone de reconstitution). Dans l'ensemble, les mesures de croissance se sont relevées significativement plus favorables, indiquant un développement rapide des plants, dans la zone de reconstitution pour les trois dimensions mesurées. Au sein de la zone de restauration, les trois modalités montrent également des valeurs de croissance significativement différentes (non montré), avec des performances plus élevées en modalité mécanisée. La modalité

manuelle apparaissant en situation intermédiaire avec les placettes en milieu forestier, hormis pour la croissance en couronne (Figure 3.6.a). De façon inattendue, les valeurs de croissance pour la modalité mécanisée en zone de reconstitution sont semblables à, voire plus élevées que celles mesurées en zone de reconstitution (couronne, Figure 3.6.a). Au niveau spécifique, les performances relatives entre les deux zones sont variables, la différence entre les deux zones peut être positive ou négative selon les espèces (Figure 3.6.b). Cette variabilité pourrait indiquer une préférence écologique des espèces pour des conditions environnementales différentes entre les deux zones.

3 Dynamique des espèces exotiques en zones de renforcement

Le suivi du recouvrement végétal sur les placettes de plantation a permis d'évaluer la vitesse et l'importance de la colonisation de l'espace libéré lors des plantations par les espèces présentes localement, exotiques et indigènes. Ce couvert exerce une pression de compétition importante, notamment pour les ressources en eau. Parmi les espèces exotiques, certaines poacées (par ex. *Paspalum*, *Pennisetum* spp.) peuvent être très compétitives en milieu ouvert. D'autres espèces lianescentes ou rampantes (*Ipomea* spp.) peuvent gêner le développement des tiges et couvrir les feuilles, limitant ainsi la photosynthèse (Figure 3.7). Localement, des effets d'ombrage par les espèces exotiques pourraient être bénéfiques, mais n'ont été montrés à l'échelle du suivi.

3.1 Évolution du recouvrement

Les perturbations induites par les actions de restauration peuvent être profitables au cortège d'espèces exotiques présentes localement. Si ces processus de ré-invasion sont relativement connus et attendus, leur magnitude et leur vitesse sont *a priori* grandement variables selon les situations. La figure 3.8 présente l'évolution du recouvrement des espèces exotiques durant le suivi pour les modalités plantées à 1 pl/m² en zone de restauration (Z5) et de reconstitution écologique (ZR). Quatre périodes de suivi sont présentées : reprise (5 semaines après plantation), après la première saison sèche, un an après plantation et enfin deux ans après plantation. On constate que le recouvrement en zone de restauration (ZR) est dans les premiers temps, après la période de reprise et saison sèche, plus élevé que le recouvrement au sein de la zone de reconstitution (Z5, toutes modalités confondues). En période de reprise, le recouvrement en Z5 sur les placettes travaillées de façon mécanique est plus faible que le taux de recouvrement sur des zones travaillées manuellement (Figure 3.8).



FIGURE 3.7 – Exemple d'enlèvement après ré-invasion d'une placette de plantation par *Ipomea* sp.

Un an après plantation, on note dans l'ensemble une augmentation du recouvrement par les

espèces exotiques au cours du temps. Il augmente fortement en zone de reconstitution, et dépasse largement la situation en zone de restauration, où il diminue en zone forestière après la période de reprise, mais augmente en zone mécanisée. La dynamique de ré-invasion par les espèces exotiques apparaît donc plus importante et rapide pour le volet reconstitution (modalité C) qu'en zone de restauration. Dans cette zone toutefois, la zone mécanisée semble suivre une dynamique similaire à la zone mécanisée en reconstitution (Figure 3.8). Ces différences sont à relier à plusieurs facteurs en lien avec la situation géomorphologique des deux zones comparées, la zone de restauration étant située plus en altitude dans la ravine de la Grande Chaloupe (Figure 2.1, p. 54), bénéficiant de conditions climatologiques semblant plus favorables. La zone abrite en particulier la Fougère-aigle *Pteridium aquilinum*, cette espèce, considérée ici avec les espèces exotiques, a récemment changé de statut et est maintenant traitée en indigène (CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET, V. COORD.), 2013)³.

3.2 Richesse spécifique

Le tableau 3.2 présente un résumé de la richesse spécifique des zones de reconstitution (ZR) et de restauration écologique (Z5). Il montre le nombre d'espèces relevés durant l'ensemble du suivi du recouvrement et selon les modalités de plantation. Au total, le nombre de taxons observés, identifiées à l'espèce ou non, s'élève à 189 taxons. La détermination au niveau spécifique de taxons exotiques tels que les poacées, fabacées, astéracées, cypéracées s'est avérée difficile au cours du suivi. Un nombre plus élevé de taxons est présent en zone de reconstitution ($n = 130$) qu'en zone de restauration ($n = 86$). La diversité la plus élevée est constatée sur les modalités E, D, A et B. Les richesses spécifiques des modalités C et F sont réciproquement de 33 et 32 taxons. Ces résultats sont aussi expliqués par le nombre de placettes suivies, variable selon la modalité de plantation, mais ils donnent un aperçu de la diversité du cortège présent sur les différentes zones.

Concernant la zone de restauration (Z5), les richesses spécifiques par modalité sont comparables (Tableau 3.2) indiquant un nombre moins important de taxons exotiques herbacés à l'échelle de la zone de restauration ($n = 86$).

En comparant les indicateurs de richesse spécifique et de recouvrement entre zones, il apparaît que la dynamique de colonisation et de croissance des espèces exotiques est nettement plus forte en zone de reconstitution qu'en zone de restauration. La pression de compétition exercée par les espèces exotiques de la strate herbacée est plus marquée à basse altitude après une perturbation importante du milieu par les travaux mécaniques qu'en zone de bord de ravine (Z5) où la diversité du cortège floristique exotique est plus limitée.

3. Au vu de données sur sa répartition géographique à l'échelle mondiale (<http://www.cabi.org/isc/datasheet/45596>).

TABLE 3.2 – Diversité (richesse spécifique) mesurée dans les deux zones d'étude et par modalité. En zone de restauration, trois sous-zones sont distinguées selon le traitement mis en œuvre : plantations mécanisées ou manuelles en périphérie envahie par *Pteridium aquilinum* et manuelles en zone forestière (Cap Francis).

Zone	Modalité	Richesse spécifique	Total
ZR	A	43	130
	B	41	
	C	33	
	D	52	
	E	96	
	F	32	
Z5	Manuelle	40	86
	Mécanisée	46	
	Forêt	45	
Total			189

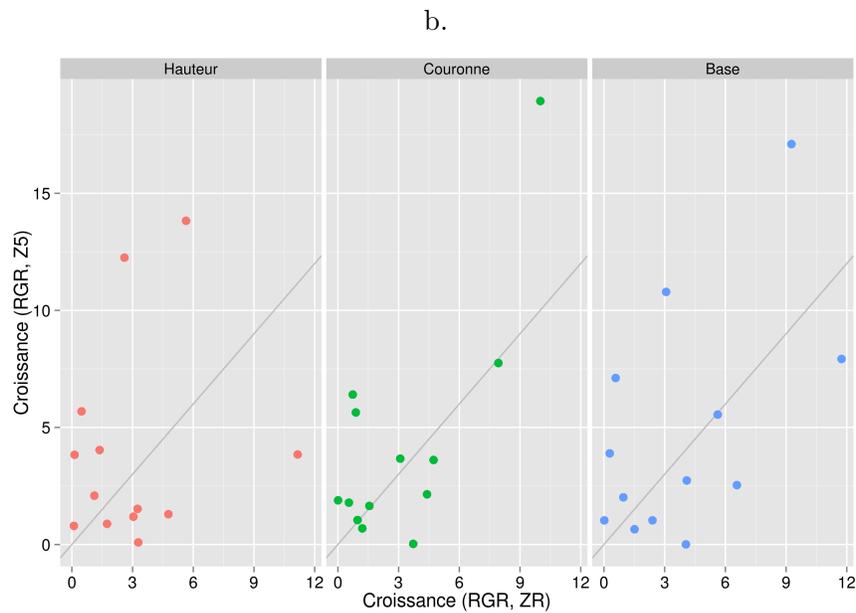
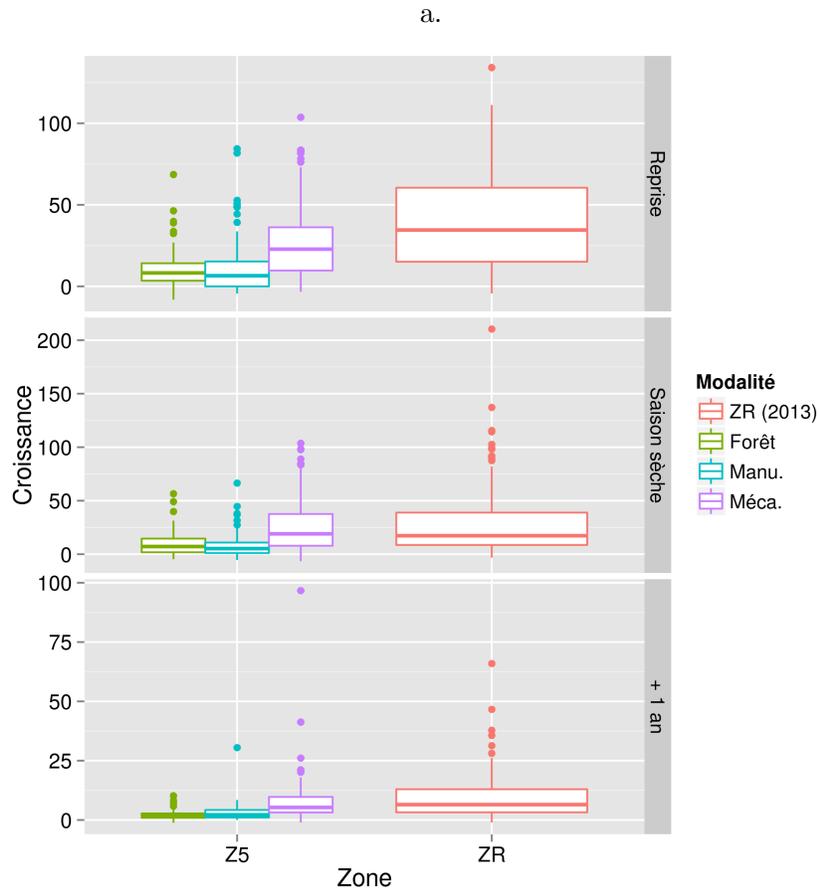


FIGURE 3.6 – Comparaison de la croissance relative à $t + 1$ an des plants introduits pour les volets restauration (Zone 5, Z5) et reconstitution (zone de reconstitution, ZR, modalité C) et les trois variables de taille mesurée (hauteur, diamètre de couronne et au collet) : (a) moyenne par placette , (b) comparaison des moyennes par espèce en commun entre les 2 zones.

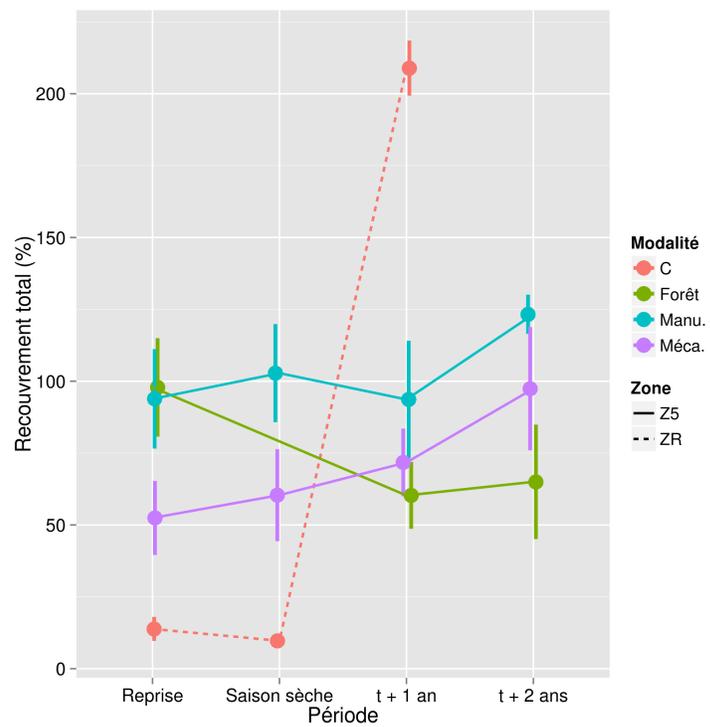


FIGURE 3.8 – Comparaison de la dynamique du recouvrement par les espèces exotiques au sein des placettes de plantation en zone de reconstitution écologique (ZR) et de restauration écologique (Z5).

Chapitre 4

Bilan et synthèse

Dans le contexte de la restauration écologique d'écosystèmes soumis à la pression d'invasions biologiques par des espèces exotiques, l'une des plus menaces les plus sérieuses sur le succès des opérations concerne les possibilités de nouvelles invasions après intervention humaine sur le milieu. Cette menace est d'autant plus réelle que les opérations de restauration écologique visent pour partie à éliminer une partie ou tout de la biomasse exotique invasive, elles miment ainsi sous certains aspects les effets d'une perturbation : libération d'espace, modifications des horizons superficiels du sol, production de débris végétaux, ... (Figure 4.1)



FIGURE 4.1 – Aperçu du terrain après élimination de la végétation exotique et avant préparation des placettes de plantation sur la zone zone de reconstitution.

Or les perturbations rendent à nouveau disponible une partie des ressources mobilisées par le couvert végétal, et peuvent donc être profitables au cortège d'espèces exotiques présentes, notamment celles ayant fait l'objet des opérations de lutte, *a priori* les plus problématiques localement. Le succès d'opérations de restauration écologique est théoriquement atteint lorsque le système restauré est capable de se maintenir de façon stable dans les conditions où on l'a ramené (Figure 3 et 4), proche de l'état de référence historique recherché. Ceci suppose que la résistance et la résilience, dont dépend la stabilité de l'écosystème restauré, soient effectivement rétablies, en tout cas améliorées par les opérations de restauration (Figure 4, p. 11).

Un milieu à fortes contraintes

La planèze sur laquelle s'est déroulé le volet reconstitution du programme ainsi que les zones de restauration en bordure de ravine présentaient initialement de fortes contraintes environnementales, tant sur les opérations de restauration elles-mêmes que sur le développement de la végétation indigène introduite dans le milieu. La situation en planèze, un recouvrement rocheux relativement important, et une végétation majoritairement exotique ont nécessité des moyens techniques particuliers et des efforts importants dans la lutte contre les EEE et dans la plantation d'un nombre élevé

de plants. En conséquence, la zone a été fortement perturbée par les opérations de préparation du terrain, ce qui a dans un sens favorisé les espèces herbacées présentes dans la zone et présentant des stratégies écologiques de type rudérales. Les analyses de sol ont montré un sol argileux avec une bonne réserve utile en eau, mais plutôt peu perméable et donc propice au ruissellement et à l'érosion. Du point de vue chimique, en revanche, la bonne fertilité du sol devrait offrir des conditions favorables au développement des plants installés dans le milieu.

Une forêt en devenir

Dès leur introduction dans le milieu, les plants ont été soumis au stress de la mise en terre dans le milieu d'introduction. Leur survie est apparue fortement liée aux conditions climatiques dans les premiers temps du suivi, en particulier les fortes précipitations au moment des plantations ont pu avoir un impact majeur sur la survie des plants. La mortalité des plants est apparue fortement variable lors des premières semaines de plantations et corrélée au montant de précipitations hebdomadaires reçues. Cet effet négatif a été pris en compte lors de la seconde phase de plantation, en préconisant un rythme de plantation ralenti en cas d'événement météorologique fort. Ce type d'événement reste difficilement prévisible, mais il paraît important d'en tenir compte dans la mesure du possible. La première saison sèche a également été une période forte mortalité pour les plants introduits. Les réactions des espèces au stress hydrique et au fort ensoleillement associés à cette période ont été dans l'ensemble conforme aux attendus, selon les connaissances disponibles pour ces espèces.

Un an, puis deux ans après plantation, les taux de survie sont toutefois satisfaisants. Des incertitudes demeurent bien sûr quant à la survie à moyen et long termes des individus plantés. Celle-ci peut être sous l'influence de facteurs développementaux liés aux conditions de culture par exemple. La présence de crosses racinaires, observée sur certaines plants morts, peut perturber les flux hydriques au sein de la plante au cours de son développement. Une recommandation essentielle concerne la maîtrise des itinéraires de culture des plants en pépinière afin de s'assurer qu'une proportion minimale des plants livrés sont introduits dans le milieu avec de tels contraintes sur leur développement. Cela passe notamment par la connaissance du développement des systèmes racinaires des espèces choisies (en pivot, fasciculé ou mixte), l'emploi systématique de godets anti-chignons, en particulier dans les cas de systèmes pivotants, et la maîtrise de la durée d'élevage en pépinière.

Concernant la régénération *in situ* des espèces introduites, des individus fructifères ont été observés dans le temps du suivi, indiquant la production locale de graines indigènes, sans toutefois que soit remarquée la présence de plantules. La régénération *in situ* pourrait faire l'objet d'un suivi



FIGURE 4.2 – Exemple de placette de plantation ombragée montrant un développement favorable des plants chez *Dombeya acutangula* et *Dodonaea viscosa* en particulier.

particulier permettant à terme d'estimer le recrutement au sein des populations installées.

Des itinéraires techniques centraux

Un certain nombre de choix techniques ont eu des impacts importants sur le succès de la mise en œuvre des actions de restauration écologique. Par exemple, le choix d'effectuer la préparation du terrain à la pelle-araignée avant plantation en zone de reconstitution, et des trous de plantation à la mini-pelle (zone de reconstitution et périphérie de zone 5), ont par exemple permis des gains de productivité importants. L'ensemble des plantations a alors pu être réalisé dans les temps impartis. Mais ces choix ont également eu des conséquences importantes sur le milieu. La préparation du terrain a conduit à une élimination importante de la biomasse exotique, notamment de la végétation ligneuse (arbustes et arbres bas), et à une exposition des strates basses à un ensoleillement important.

Le suivi a permis de mettre en évidence un effet favorable de l'ombrage préservé (Figure 4.2), mais le niveau d'ensemble est apparu relativement faible, en particulier pour les espèces non-inféodées aux milieux secs et connues pour occuper des micro-habitats particulièrement ombragés dans ces milieux. Une mise en terre des plants dans des situations d'ombrage vertical est préconisée dans la mesure du possible, au moins pour les espèces les plus sensibles. Ces situations peuvent toutefois conduire à une compétition avec les plantes responsables de l'ombrage et nécessitent des plants bien développés. De manière plus générale, le suivi a montré que les plants les plus développés survivaient mieux durant les premières périodes post-plantation.

À l'échelle du suivi réalisé, des tendances différentes semblent se dégager dans les performances des plants introduits dans le milieu selon les modalités de plantation. Toutefois, la diversité des facteurs d'influence, tels que les conditions de culture, la mise en œuvre des plantations, la climatologie variable du site selon les années, limitent l'interprétation de ces tendances. Il importe donc que le suivi initié soit poursuivi durant plusieurs années afin de confirmer, ou non, ces premiers résultats obtenus.

Des zones naturelles à préserver

Les actions de restauration écologique au sein des zones naturelles ciblées a conduit à une baisse importante de la pression d'invasion dans les zones impactées, à la fois en nombre d'individus et en surface terrière, en réponse immédiate aux travaux de lutte mécanique. La relation avec le niveau d'invasion initial mesuré montre que l'effort de lutte initial a été proportionnel au niveau d'invasion initial : les endroits les plus impactés contenaient la plus forte proportion de biomasse en EEE. L'action mécanique initiale a conduit à un niveau d'invasion limité visible dans le dégagement de la végétation indigène (p. 63) et la diminution de la biomasse en EEE (p. 2.7). Des changements importants dans la structure verticale de la végétation (p. 68) sont remarquables, bien que variables entre zones, indiquant l'ouverture du milieu. Cette ouverture implique des opportunités de développement pour les espèces indigènes présentes, mais également un espace disponible pour les EEE.

Les relevés suivants ont confirmé l'effort de lutte (contrôle ciblé et global), et des taux d'invasions

faibles dans les zones de restauration. Toutefois, une recrudescence des EEE à l'échelle de l'ensemble des zones est apparue en fin de suivi. Ce résultat tient en premier lieu aux capacités de reproduction végétative par rejet des EEE en réaction à la coupe mécanique. Des recherches sur la physiologie des EEE et la rémanence des produits utilisés pourraient augmenter l'efficacité technique des opérations de lutte chimique, mais soulève la question des effets sur l'environnement et la santé humaine.

Par ailleurs d'après le suivi de la régénération (pluie de graines et stades juvéniles de développement des espèces de la canopée), les espèces indigènes étaient bien représentées dans les graines dispersées, mais avec une dynamique de recrutement d'ensemble très lente, avec une forte mortalité saisonnière des stades précoces. Ce constat suggère que la pression de propagules indigènes demeure faible au vu des contraintes du milieu sur l'établissement des plantules, mais également un fort effet de la variabilité du régime des précipitations, saisonnière et inter-annuelle, l'eau restant la première ressource limitante du milieu à ces échelles. La banque de graines du sol tient alors sans doute un rôle central dans la régénération des peuplements, la survie au stade plantule étant fortement dépendantes du maintien dans le temps des conditions ayant été favorables à la germination des graines. On peut envisager que des actions d'ensemencement locales massives, après contrôle des EEE, visant l'abondance et la composition de la banque de graines des sols favorables et sur une surface optimisée, augmenteraient la sélection de génotypes d'espèces indigènes assez vigoureux vis-à-vis des conditions environnementales locales. Ce type d'action suppose de disposer de quantités suffisantes de graines viables et donc des capacités de récolte et de stockage adaptées.

Originalité et échelles

L'originalité du programme Life+ COREXERUN tient à deux aspects centraux dans la mise en œuvre d'actions de restauration écologique au sens large. Le premier aspect est la définition de deux volets majeurs structurant les travaux et le suivi scientifique. Le premier volet de reconstitution écologique s'est attaché à la plantation en espèces indigènes d'une zone de planèze de neuf hectares très dégradée par rapport à l'état naturel de la forêt semi-sèche (MADAULE et al., 2010). Le deuxième volet de restauration écologique, sans doute plus classique en termes de techniques de restauration employées et de mise en œuvre, a concerné dix reliques de forêt semi-sèche situées dans un contexte de ravine, allant de pair avec des conditions d'accessibilité et de circulation variables et difficiles (fortes pentes, chaos rocheux, ...).

Le second aspect original du programme concerne le nombre et la diversité des espèces introduites, ou ré-introduites, dans le milieu. La majorité des plantations (90 %) a concerné le volet de reconstitution écologique. Elles vont permettre à terme de former un fragment forestier de plusieurs hectares qui permettra de renforcer les populations des espèces plantées déjà présentes dans le massif de la Montagne, et de favoriser la connectivité entre fragments proches à l'échelle du massif. Ces fonctions seront également assurées par le fragment nouvellement formé à une échelle moindre en périphérie de la zone de restauration 5 au sein de la ravine de la Grande Chaloupe.

La diversité importante des peuplements mis en place dans ces fragments devrait assurer à terme une stabilité relative, selon l'hypothèse toujours débattue (THOMPSON et al., 2009), que la diversité des espèces, des interactions et des processus au sein d'un écosystème lui procure une résistance et

une résilience relative face aux pressions externes, et donc favorise sa stabilité. Cette hypothèse suppose que les actions entreprises aient été suffisamment importantes, en termes d'intensité et d'échelles, pour restaurer ces deux aspects de la dynamique des écosystèmes.

Sur ce point, une incertitude majeure réside dans la différence d'échelles, en particulier de temps, auxquelles ont lieu les actions de restauration écologique d'une part, et les processus écologiques de développement d'un écosystème d'autre part. Dans le cas du programme COREXERUN, les actions de lutte et de plantation ont été déclenchées dans la seconde moitié de l'année 2011. Le suivi présenté ici concerne une période de temps de deux à trois ans selon les actions considérées, relativement courte par rapport aux échelles de temps des processus écologiques en milieu forestier tropical sec, l'installation, le développement et la maturation du couvert végétal s'étalant sans doute sur plusieurs dizaines d'années. Les résultats présentés ici rendent compte de la phase précoce de ce processus complexe. Un suivi des zones concernées prévu pour relayer les activités du programme permettra de mieux comprendre les trajectoires écologiques initiées. Par ailleurs, seul un effort de lutte maintenu pendant plusieurs années permettra d'assurer une compétition suffisamment faible pour que les espèces indigènes en place assurent la reconstitution d'un couvert fermé et stable suffisamment résistant à la pression d'invasion par les espèces exotiques.

Dans le cas des forêts tropicales (semi-)sèches, les contraintes liées à la saisonnalité du climat peuvent rendre les processus écologiques relativement longs et particulièrement sensibles aux pressions et menaces externes, en particulier d'origine anthropique. Parmi ces menaces, les perturbations, en premier lieu les incendies, sans doute le phénomène le plus destructeur bien que moins fréquent que les cyclones, les ré-invasions, et le braconnage d'espèces rares constituent les plus sérieuses dans le cas présent. Il importe donc que soient planifiées et maintenues dans le temps des actions de gestion adaptative des zones ayant fait l'objet d'actions de restauration écologique, afin d'assurer le bénéfice futur des efforts fournis, en affinant la compréhension des trajectoires initiées. L'incertitude principale réside alors dans les moyens mis en œuvre et la volonté humaine d'y parvenir.

Perception et devenir du programme

Dans le cadre du marché ayant conduit à la présente étude, une partie des actions devait concerner une « enquête des usagers à proximité des zones de travaux » (LIFE+/COREXERUN, 2012b). La Grande Chaloupe est en effet reconnue comme un territoire à forts enjeux historiques, patrimoniaux, environnementaux et sociaux par les réunionnais où des projets antérieurs de développement ont pu déboucher sur des relations conflictuelles entre acteurs locaux. Une étude conduite en 2012 et menée en collaboration avec l'Unité de Recherche Gestion des ressources renouvelables et environnement (Green)) et le laboratoire Langues, textes et communication dans les espaces Créolophones et Francophones (LCF) a permis d'identifier les communautés d'acteurs concernées directement ou non, par le programme Life+/COREXERUN en particulier et plus généralement de la Grande Chaloupe (habitants et usagers autres), et de les analyser, en focalisant sur leurs interactions, leurs savoirs et leurs rapports à la Nature (CAPRA, 2012). Les méthodes sociologiques appliquées ont permis de cartographier ces communautés d'individus, ainsi que les éléments pouvant favoriser la

coopération ou la discorde en relation avec le programme.

L'étude a révélé une perception globalement positive du programme, notamment grâce à une communication et une médiation actives (CAPRA, 2012, Figure 4.3). La collaboration entre les différents acteurs s'est exprimée de façon nettement plus sensible que les conflits, non révélés ou mineurs, grâce notamment à des éléments de cohésion solides. Parmi les résultats marquants de l'étude, on peut citer *i* « l'existence de communautés diverses à la Grande Chaloupe, avec des interactions plus ou moins proches, une pluralité de rapports à la Nature et de perceptions de leur environnement, des approches diverses et compatibles sur des territoires proches, des zones fréquentées aux zones naturelles, ainsi que l'existence de nombreux éléments par lesquels s'établissent des liens et des coopérations entre communautés.

Ces quelques conclusions favorables laissent présager de l'appropriation positive des effets des actions de restauration écologique par les usagers des sites au sens large, et permettront d'envisager un développement local intégrant les particularités naturelles et sociales d'un territoire aux patrimoines riches.

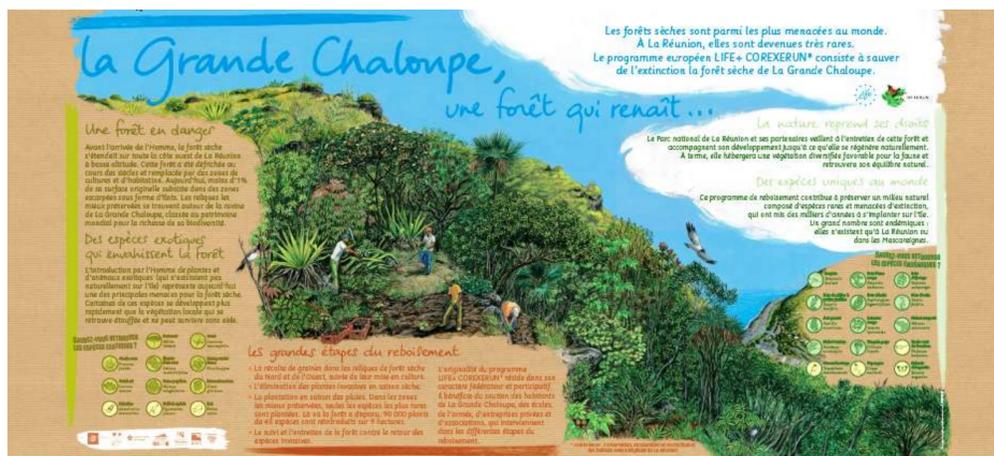


FIGURE 4.3 – Poster de communication sur le programme COREXERUN. Un exemplaire a été installé sous forme de panneau au niveau de la zone de reconstitution (dessin : C. Pourcher).

Bibliographie

- ANDEL, Jelte van et James ARONSON (2012). *Restoration Ecology : The New Frontier*. en. John Wiley & Sons.
- BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie : 2e édition, revue et augmentée*. Institut National de Recherche en Agronomie.
- BARET, S. et al. (2008). “Effects of Canopy Gap Size on Recruitment and Invasion of the Non-Indigenous *Rubus Alceifolius* in Lowland Tropical Rain Forest on Réunion”. In : *Journal of Tropical Ecology* 24.03, p. 337–345.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1932). *Plant sociology. The study of plant communities*. McGraw-Hill book company, inc., pp. xviii + 439 pp.
- BRUEGMANN, Marie M. (1996). “Hawaii’s dry forests”. In : *Endangered Species Bulletin* 11, p. 26–27.
- CABIN, Robert J. et al. (2002). “Effects of light, alien grass, and native species additions on hawaiian dry forest restoration”. In : *Ecological Applications* 12.6, p. 1595–1610.
- CADET, T. (1977). “La végétation de l’île de la Réunion, étude phytoécologique et phytosociologique”. 362 p. Thèse de doct. Saint-Denis : Université de la Réunion.
- CAPRA, I. (2012). *Analyse des communautés d’acteurs de la forêt de la Grande Chaloupe, île de La Réunion*. Master 2 Agris Mundus.
- CLARK, D.B. et D.A. CLARK (1993). “Comparative analysis of microhabitat utilization by saplings of nine tree species in neotropical rain forest”. In : *Biotropica* 25, p. 397–407.
- CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET, V. COORD.) (2013). *Index de la flore vasculaire de la Réunion (Trachéophytes) : statuts, menaces et protections. - Version 2013.2*. (mise à jour du 12 décembre 2013). format numérique Excel TM 2007. Conservatoire Botanique National de Mascarin. Saint-Leu (Réunion).
- CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. ET AL. COORD.) (2010). *Index de la flore vasculaire de la Réunion (Trachéophytes) : statuts, menaces et protections*. Conservatoire Botanique National de Mascarin.
- COTTRELL, Tom (2004). “Seed rain traps for forest lands : Considerations for trap construction and study design”. In : *Journal of Ecosystems and Management* 5.1.
- COURNAC, L. et al. (2002). “Fast determination of light availability and leaf area index in tropical forests”. In : *Journal of Tropical Ecology* 18.2, p. 295–302.
- D’ANTONIO, C. M. et J. C. CHAMBERS (2006). “Using ecological theory to manage or restore ecosystems affected by invasive plant species”. In : *Foundations of restoration ecology*, p. 260–279.

- DAWKIN, H.C (1958). “The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda / H.C. Dawkins”. In :
- GERHARDT, Karin et Håkan HYTTBORN (1992). “Natural dynamics and regeneration methods in tropical dry forests - an introduction”. en. In : *Journal of Vegetation Science* 3.3, p. 361–364.
- GILLESPIE, Thomas W. et Tanquy JAFFRÉ (2003). “Tropical dry forests in New Caledonia”. en. In : *Biodiversity & Conservation* 12.8, p. 1687–1697.
- HIVERT, J. et F. LACOSTE M. & Picot (2009). *Actions de connaissance sur la flore et la végétation dans le cadre des mesures compensatoires au projet Tram-Train (massif de la Montagne – île de la Réunion), Volume 1 : rapport & annexes*. CBNM, SREPEN, Région Réunion.
- HOLDRIDGE, L. R. (1967). “Life zone ecology”. English. In : (rev. ed.) 206 pp.
- HOLLING, C S (1973). “Resilience and Stability of Ecological Systems”. In : *Annual Review of Ecology and Systematics* 4.1, p. 1–23.
- JANZEN, D. H (1988). “Tropical dry forests : the most endangered major tropical ecosystem”. In : *Biodiversity* 521.14, p. 130–137.
- La Liste rouge des espèces menacées en France. Flore vasculaire de La Réunion - Dossier de presse* (2010). UICN Comité français, MNHN, Fédération des conservatoires botaniques nationaux et Conservatoire botanique national de Mascarin.
- LIFE+/COREXERUN (2012a). *Restauration écologiques de 30 hectares de reliques d’habitats semi-secs dans le cadre du projet Life+ COREXERUN. Cahier des Clauses Techniques Particulières*. Parc National de La Réunion.
- (2012b). *Suivi et évaluation des processus de restauration et de reconstitution écologique dans le cadre du projet Life+ COREXERUN. Cahier des Clauses Particulières*. Parc National de La Réunion.
- (2012c). *Travaux de reconstitution écologique sur le site du Conservatoire du Littoral à la Grande Chaloupe - Département de La Réunion (974). Cahier des Charges Techniques Particulières*. Parc National de La Réunion.
- MADAULE, T. et al. (2010). *Diagnostic de l’état initial de conservation des habitats cibles du projet LIFE+ COREXERUN*. Rapp. tech. CIRAD.
- MARKESTEIJN, Lars, Lourens POORTER et Frans BONGERS (2007). “Light-dependent leaf trait variation in 43 tropical dry forest tree species”. In : *American Journal of Botany* 94.4, p. 515–525.
- MEHRHOFF, L. (1993). “Rare plants in Hawaii : a status report”. In : *Plant Conservation* 7, p. 1–2.
- MENDE, L. (2012). *Phénologie de la régénération en forêt tropicale semi-sèche à l’île de La Réunion*. Rapport de stage. Master 2 - Biodiversité des Ecosystèmes Tropicaux.
- MICHENER, William K (1997). “Quantitatively Evaluating Restoration Experiments : Research Design, Statistical Analysis, and Data Management Considerations”. In : *Restoration Ecology* 5.4, p. 324–337.
- MILES, Lera et al. (2006). “A global overview of the conservation status of tropical dry forests”. en. In : *Journal of Biogeography* 33.3, p. 491–505.
- MURPHY, P G et A E LUGO (1986). “Ecology of Tropical Dry Forest”. In : *Annual Review of Ecology and Systematics* 17.1, p. 67–88.

- Noss, R. F. (1990). "Indicators for Monitoring Biodiversity : A Hierarchical Approach". In : *Conservation Biology* 4.4, p. 355–364.
- Osenberg, C. W. et al. (2006). "Statistical issues and study design in ecological restorations : lessons learned from marine reserves". In : *Foundations of restoration ecology*, p. 280–302.
- Poorter, H. et E. Garnier (2007). "Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components". In : *Functional Plant Ecology, Second Edition*. Sous la dir. de F. Pugnaire et F. Valladares. CRC Press, p. 67–100.
- Rabinowitz, D (1981). "Seven forms of rarity". In : *The Biological Aspects of Rare Plant Conservation*. Sous la dir. de H Synge. Riley, p. 205–217.
- Raunet, M. (1991). *Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion : conséquences pour la mise en valeur agricole*. CIRAD.
- Sarrailh, J.-M, T. Madaule et J.-N Rivière (2008). "Etude de la forêt semi-sèche de la Réunion : application a la réhabilitation de la flore indigène". In : *Bois et forêts des tropiques* 296.296, p. 57–69.
- Sarrailh, J.-M. et al. (2007). *Arbo-Run V.1 – Arbres et arbustes des forêts réunionnaises*. CIRAD éd. URL : <http://arbres-reunion.cirad.fr>.
- Science and Policy Working Group (2002). *The SERI primer on ecological restoration*. Rapp. tech. Society for Ecological Restoration International (SERI).
- Sheil, D., D. F. R. P. Burslem et D Alder (1995). "The Interpretation and Misinterpretation of Mortality Rate Measures". In : *Journal of Ecology* 83.2, p. 331–333.
- Staménoff, P. et al. (2012). *Suivi et évaluation des processus de restauration et de reconstitution – Projet Life+ COREXERUN*. Rapp. tech. UMR PVBMT.
- Strasberg, Dominique et al. (2005). "An Assessment of Habitat Diversity and Transformation on La Réunion Island (Mascarene Islands, Indian Ocean) as a Basis for Identifying Broad-scale Conservation Priorities". In : *Biodiversity and Conservation* 14.12, p. 3015–3032.
- Suding, K. N., K. L. Gross et G. R. Houseman (2004). "Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology". In : *Trends in Ecology & Evolution* 19.1, p. 46–53.
- Swaine, M. D. (1992). "Characteristics of dry forest in West Africa and the influence of fire". en. In : *Journal of Vegetation Science* 3.3, p. 365–374.
- Thompson, I. et al. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Technical Series 43. Montreal : Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Walter, H. (1971). "Ecology of tropical and subtropical vegetation." not specified. In : xviii+539 pp.

Glossaire

- altérite** résultat de la dégradation d'une roche dans lequel elle forme une structure plus ou moins friable, avant son érosion complète. 89
- capacité d'échange cationique (CEC)** quantité de cations qu'un sol peut retenir associés au complexe adsorbant à un pH donné. Ces cations peuvent être échangés entre la solution du sol et les plantes ; ils constituent le réservoir de fertilité chimique du sol. 32, 33, 88
- complexe argilo-humique** le complexe argilo-humique (CAH), aussi appelé « complexe adsorbant », est l'ensemble des forces qui retiennent les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , ...) sur la surface des constituants minéraux et organiques des sols (le mélange de minéraux argileux et d'humus constituant le complexe argilo-humique *s.s.*). 33
- perhydraté** (chimie) état dissous dans lequel les molécules d'eau ont été remplacés par des molécules de peroxyde d'hydrogène. 88
- propagule** élément de dissémination d'une espèce dans le milieu, par voie sexuée (graines, fruits), ou asexuée (reproduction végétative par fragments, drageons, ...). La notion de pression de propagules fait référence au flux de propagules pouvant atteindre une surface donnée, en relation avec les fortes capacités de dissémination des espèces invasives. 12, 58, 103
- reconstitution** action de restauration écologique d'un écosystème, dont l'objectif à atteindre correspond à un état alternatif, différent de l'état de référence, mais stable à une certaine échelle spatio-temporelle (SUDING, GROSS et HOUSEMAN, 2004). 10
- restauration** action de rétablir un système écologique dans un état de référence historique, ou de transformer un système dégradé vers des limites acceptables caractéristiques d'un état moins perturbé. 10, 103
- résilience** capacité d'un (éco)-système à retourner à un état antérieur stable après altération de ses caractéristiques par un forçage externe (perturbations, invasions, ...). 10, 12, 100, 103
- résistance** capacité d'un (éco)-système à se maintenir dans un état stable en réponse à un forçage externe tendant à modifier cet état. 10, 12, 100, 103
- stabilité** caractère d'un système dynamique dont les variables d'état, dans le cas d'un écosystème par exemple, la biomasse locale, la densité de populations, leur diversité biologique ou leur dynamique, varient peu dans le temps, au regard de seuils à partir desquels le système passe dans un état alternatif stable. Ces seuils constituent des limites complexes au-delà, ou en-deça, desquelles la modification des variables d'état, en réponse à un forçage externe, entraîne un tel changement d'état. La stabilité d'un système caractérise sa persistance dans des conditions proches d'un équilibre HOLLING, 1973. 10, 12, 100, 103

Annexes

Sommaire

A.1	Présentation des espèces et du suivi	113
A.2	Photographies aériennes	119
A.3	Caractérisation pédologique	123
A.4	Mortalité	130
A.5	Croissance	137
A.6	Chronologie des travaux et bilan du suivi par zone	141
A.7	Espèces rares et zones de restauration	147
A.8	Pluie de graines	148
A.9	Métadonnées	151
A.10	Fiches de terrain	153

A.1 Présentation des espèces et du suivi

TABLE A.1 – Tableau récapitulatif des espèces réintroduites lors du programme LIFE+/COREXERUN : Code : utilisé pour repérer les espèces dans les tableaux et figures, 3 premières lettres du nom de genre + 3 premières lettres du nom d'espèce, Groupe : groupe écologique, trois groupes sont retenus par rapport à la classification indiquée entre parenthèses par SARRAILH et al. (2007), Menace : catégorie UICN pour le territoire de La Réunion (*La Liste rouge des espèces menacées en France. Flore vasculaire de La Réunion - Dossier de presse* 2010), EN : en danger, LC : préoccupation mineure, VU : vulnérable, CR : en danger critique d'extinction. * : indique les espèces protégées faisant l'objet d'une demande de dérogation au CNPN.

Code	Nom scientifique	Groupe	Menace
ABUEXS	<i>Abutilon exstipulare</i>	Pionnière (Post pionnière)	EN
ANTBOR	<i>Antirhea borbonica</i>	Forestière (Nomade forestière)	LC
APHTHE	<i>Aphloia theiformis</i>	Forestière (Nomade forestière)	LC
CAEBON	<i>Caesalpinia bonduc</i>	Pionnière	VU
CASORI	<i>Cassine orientalis</i>	Dryade	LC
CLEHET*	<i>Clerodendrum heterophyllum</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	CR
COPBOR	<i>Coptosperma borbonica</i>	Pionnière (Post pionnière)	EN
COSPIN	<i>Cossinia pinnata</i>	Pionnière (Post pionnière)	LC
CROMAU*	<i>Croton mauritianus</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
DICALB	<i>Dictyosperma album</i>	<i>Inconnu</i>	CR
DIOBOR	<i>Diospyros borbonica</i>	Dryade	VU
DODVIS	<i>Dodonaea viscosa</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
DOMACU	<i>Dombeya acutangula</i>	Pionnière (Post pionnière)	VU
DOMPOP*	<i>Dombeya populnea</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
DORAPE	<i>Doratoxylon apetalum</i>	Forestière	LC
DRAREF	<i>Dracaena reflexa</i>	Forestière	LC
ERYHYP*	<i>Erythroxylum hypericifolium</i>	Forestière (Nomade forestière)	VU
ERYSID	<i>Erythroxylum sideroxyloides</i>	Forestière (Nomade forestière)	VU
EUGBUX	<i>Eugenia buxifolia</i>	Dryade	LC
FERBUX	<i>Fernelia buxifolia</i>	Forestière (Nomade forestière)	EN
FICREF	<i>Ficus reflexa</i>	<i>Inconnu</i>	LC
FICRUB	<i>Ficus rubra</i>	<i>Inconnu</i>	LC
FOEMAU*	<i>Foetidia mauritiana</i>	Dryade	CR
GASCUT*	<i>Gastonia cutispongia</i>	Forestière (Nomade forestière)	CR
HIBCOL*	<i>Hibiscus columnaris</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
INDAMM*	<i>Indigofera amnoxylum</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
LATLON	<i>Latania lontaroides</i>	Dryade	CR

TABLE A.1 – (cont.)

Code	Nom scientifique	Groupe	Menace
MIMBAL	<i>Mimusops balata</i>	Dryade	LC
MOLALT	<i>Molinaea alternifolia</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
MYOOBO	<i>Myonima obovata</i>	<i>Inconnu</i>	LC
OBEFIC*	<i>Obetia ficifolia</i>	Pionnière	CR
OLEEUA	<i>Olea europaea</i> var. <i>africana</i>	Pionnière (Post pionnière)	LC
OLEEUR	<i>Olea europaea</i>	Pionnière (Post pionnière)	LC
PHYCAS	<i>Phyllanthus casticum</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
PITSEN	<i>Pittosporum senacia</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
PLEPAC	<i>Pleurostyliya pachyphloea</i>	Pionnière (Post pionnière)	LC
POUBOR*	<i>Poupartia borbonica</i>	Dryade	CR
POULAE	<i>Pouzolzia laevigata</i>	Pionnière	LC
RUICOR*	<i>Ruizia cordata</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
SCOHET*	<i>Scolopia heterophylla</i>	Pionnière (Post pionnière)	EN
SCUMYR	<i>Scutia myrtina</i>	<i>Inconnu</i>	LC
SECDUR	<i>Securinega durissima</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
STILIN*	<i>Stillingia lineata</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
TARPER*	<i>Tabernaemontana persicariifolia</i>	Nomade	CR
TERBEN	<i>Terminalia bentzoë</i>	Pionnière (Post pionnière)	CR
TODASI	<i>Toddalia asiatica</i>	<i>Inconnu</i>	LC
TURTHO	<i>Turraea thouarsiana</i>	Pionnière (Nomade pionnière)	LC
VEPLAN	<i>Vepris lanceolata</i>	<i>Inconnu</i>	VU
ZANHET	<i>Zanthoxylum heterophyllum</i>	<i>Inconnu</i>	EN

TABLE A.2 – Composition floristique attendue par modalité de plantations (A à F) d’après la disponibilité des plants produits. N : nombre total d’individus plantés, f : fréquence de l’espèce (proportion d’individus en %) au sein des plantations, N_{suivi} : nombre d’individus suivis, f_{suivi} : fréquence de l’espèce au sein du suivi à l’échelle des placettes (suivi large).

Code taxon	A	B	C	D	E	F	N	f	N _{suivi}	f _{suivi}
ABUEXS	404	240	260	374	366	160	1804	2.42	300	2.42
ANTBOR	148	192	132	188	323	60	1043	1.40	180	1.45
APHTHE	24	24	0	188	165	0	401	0.54	80	0.65
CAEBON	16	24	24	0	0	20	84	0.11	10	0.08
CASORI	0	0	44	0	67	0	111	0.15	22	0.18
CLEHET	24	0	0	186	188	20	418	0.56	94	0.76
COPBOR	64	144	68	0	0	0	276	0.37	38	0.31
COSPIN	788	792	372	376	699	300	3327	4.46	493	3.98
CROMAU	84	48	24	250	590	20	1016	1.36	251	2.03
DICALB	68	48	20	0	0	0	136	0.18	24	0.19
DIOBOR	212	288	108	0	125	100	833	1.12	124	1.00
DODVIS	1160	1464	468	1124	2023	600	6839	9.17	1204	9.72
DOMACU	1492	240	400	1250	2606	900	6888	9.24	1308	10.55
DORAPE	2028	1632	704	814	1803	720	7701	10.33	1190	9.60
DRAREF	820	432	112	376	456	200	2396	3.21	358	2.89
ERYHYP	0	48	0	0	32	0	80	0.11	16	0.13
ERYSID	0	24	0	0	0	0	24	0.03	4	0.03
EUGBUX	828	1032	680	64	124	360	3088	4.14	325	2.62
FERBUX	1040	456	104	748	1434	480	4262	5.72	763	6.16
FICREF	768	576	128	124	186	280	2062	2.77	232	1.87
FICRUB	656	552	204	250	779	240	2681	3.60	445	3.59
FOEMAU	40	48	0	64	98	20	270	0.36	56	0.45
GASCUT	220	0	0	62	161	60	503	0.67	80	0.65
HIBCOL	172	72	24	374	446	60	1148	1.54	221	1.78
INDAMM	24	48		188	120	0	380	0.51	81	0.65
LATLON	148	96	44	64	98	40	490	0.66	77	0.62
MIMBAL	44	120	132	0	31	0	327	0.44	54	0.44
MOLALT	20	72	44	0	0	0	136	0.18	20	0.16
OBEFIC	364	528	132	186	330	180	1720	2.31	288	2.32
OLEEUR	228	192	88	0	0	80	588	0.79	58	0.47
PHYCAS	2032	1944	392	1186	2371	780	8705	11.67	1455	11.74
PITSEN	132	96	64	0	99	40	431	0.58	72	0.58
PLEPAC	0	48	0	0	0	0	48	0.06	3	0.02
POUBOR	380	360	132	62	148	160	1242	1.67	166	1.34
POULAE	468	336	0	438	748	180	2170	2.91	405	3.27
RUICOR	248	0	44	250	625	120	1287	1.73	268	2.16
SCOHET	40	24	0	0	0	20	84	0.11	13	0.10
SCUMYR	232	192	68	0	470	100	1062	1.42	215	1.73
SECDUR	788	648	0	128	636	220	2420	3.25	374	3.02
STILIN	68	24	0	124	89	0	305	0.41	63	0.51
TERBEN	1316	1080	152	562	1184	540	4834	6.48	775	6.25
TURTHO	148	144	44	0	31	60	427	0.57	55	0.44
VEPLAN	0	72	44	0	375	0	491	0.66	132	1.07
ZANHET	0	0	24	0	0	0	24	0.03	1	0.01

TABLE A.3 – Chronologie du suivi pour les actions de plantation en zone de reconstitution et dans la zone de restauration 5 (Z5). Semaine : semaine de plantation, correspond à une composition floristique particulière définie pour les placettes de plantation par le maître d’ouvrage (PNRun). Modalité : modalité de plantation (cf. Tableau 1.1). Les colonnes suivantes indiquent les dates de plantation et les dates de passage correspondant aux différents relevés du suivi : P1, après reprise (cinq semaines après plantation), P2, en fin de saison sèche, P3, à t + 1 an après plantation, P4, à t + 2 ans. En Z5, trois sous-zones de plantation sont distinguées (cf. p. 93).

Première phase (2012, modalités D, E)						
Semaine	Modalité	Plantation	P1	P2	P3	P4
S1	E	30/01/12	08/03/12	01/10/12	11/04/13	02/04/14
S2	D	06/02/12	14/03/12	02/10/12	03/05/13	19/03/14
S3	E	13/02/12	22/03/12	02/12/12	17/04/13	02/04/14
S4	D	20/02/12	02/04/12	08/10/12	02/05/13	20/03/14
S5	E	27/02/12	06/04/12	08/10/12	19/04/13	03/04/14
S6	D	05/03/12	12/04/12	09/10/12	06/05/13	26/03/14
S7	E	12/03/12	19/04/12	16/10/12	25/04/13	02/04/14
S8	D	19/03/12	25/04/12	16/10/12	26/04/13	27/03/14
S9	E	21/03/12	03/05/12	16/10/12	22/04/13	11/04/14
S10	E	26/03/12	10/05/12	11/10/12	22/04/13	10/04/14
S11	E	02/04/12	18/05/12	11/10/12	23/04/13	11/04/14
S12	E	04/04/12	24/05/12	11/10/12	23/04/13	10/04/14
Deuxième phase (2013, modalités A, B, C)						
Semaine	Modalité	Plantation	P1	P2	P3	P4
S1	F	03/12/12	13/02/13	09/10/13	25/02/14	
S2	F	10/12/12	14/02/13	09/10/13	28/02/14	
S2	A	10/12/12	14/02/13	09/10/13	28/02/14	
S3	A	17/12/12	20/02/13	15/10/13	04/03/14	
S4	A	21/01/13	28/02/13	15/10/13	04/03/14	
S5	A	06/02/13	12/03/13	16/10/13	05/03/14	
S6	A	11/02/13	19/03/13	16/10/13	06/03/14	
S7	A	13/02/13	19/03/13	18/10/13	06/03/14	
S8	B	18/02/13	26/03/13	18/10/13	13/03/14	
S9	B	20/02/13	02/04/13	18/10/13	13/03/14	
S10	B	25/02/13	08/04/13	22/10/13	11/03/14	
S11	B	27/02/13	08/04/13	22/10/13	11/03/14	
S12	B	04/03/13	09/04/13	22/10/13	13/03/14	
S13	C	20/03/13	14/05/13	06/11/13	17/04/14	
S14	C	25/03/13	16/05/13	07/11/13	16/04/14	
Renforcement de populations (Z5)						
Semaine	Modalité	Plantation	P1	P2	P3	P4
	Méca.	06/03/12	11/06/12	07/12/12	22/05/13	24/04/14
	Manu.	20/03/12	11/06/12	07/12/12	22/05/13	24/04/14
	Forêt	27/03/12	12/06/12		11/07/13	20/05/14

TABLE A.4 – Résumé des actions de désherbage (D) et paillage (P) des placettes de plantation en zone de reconstitution par les agents du GCEIP et du PNRun pour les différentes semaines de plantation (première phase uniquement, 2012).

Semaine	Période		Type
	GCEIP	PNRun	
S1 S2 S3 S4 S5	30/04 – 11/06	11/04 – 10/05 (60 placettes)	D
S6 S7	11/06 – 26/06 30/04 – 11/06		D
S8 S9	11/06 – 26/06		D
S10 S11 S12	04/07 – 16/07		D/P
Zone de partenariat	17/07 – 25/07		?

A.2 Photographies aériennes

FIGURE A.5 – Vues aériennes de la zone de reconstitution avant début des travaux (novembre 2011, fin de saison sèche) : (a) vue complète, (b) en amont de la zone, (c) en aval de la zone.

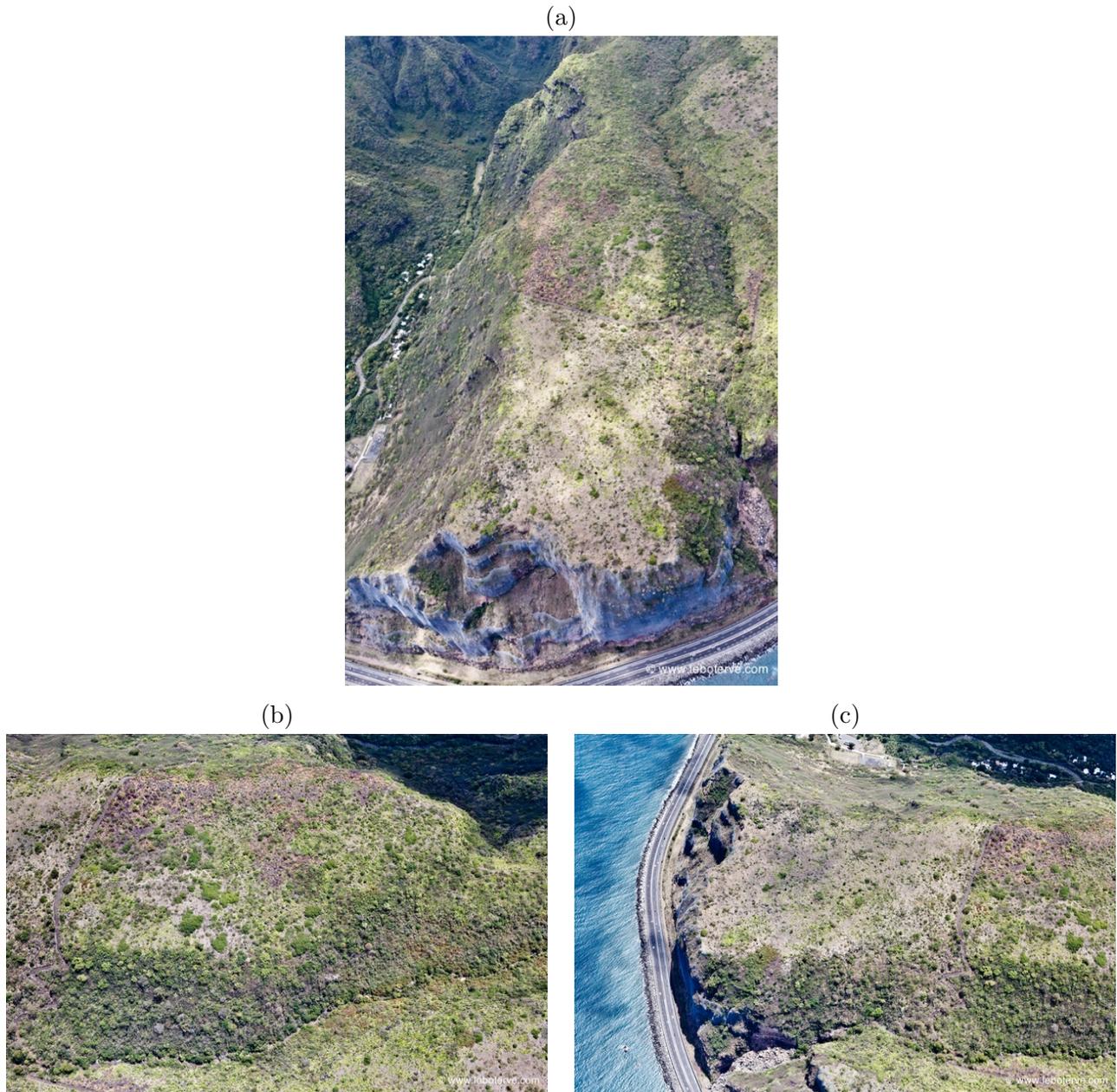
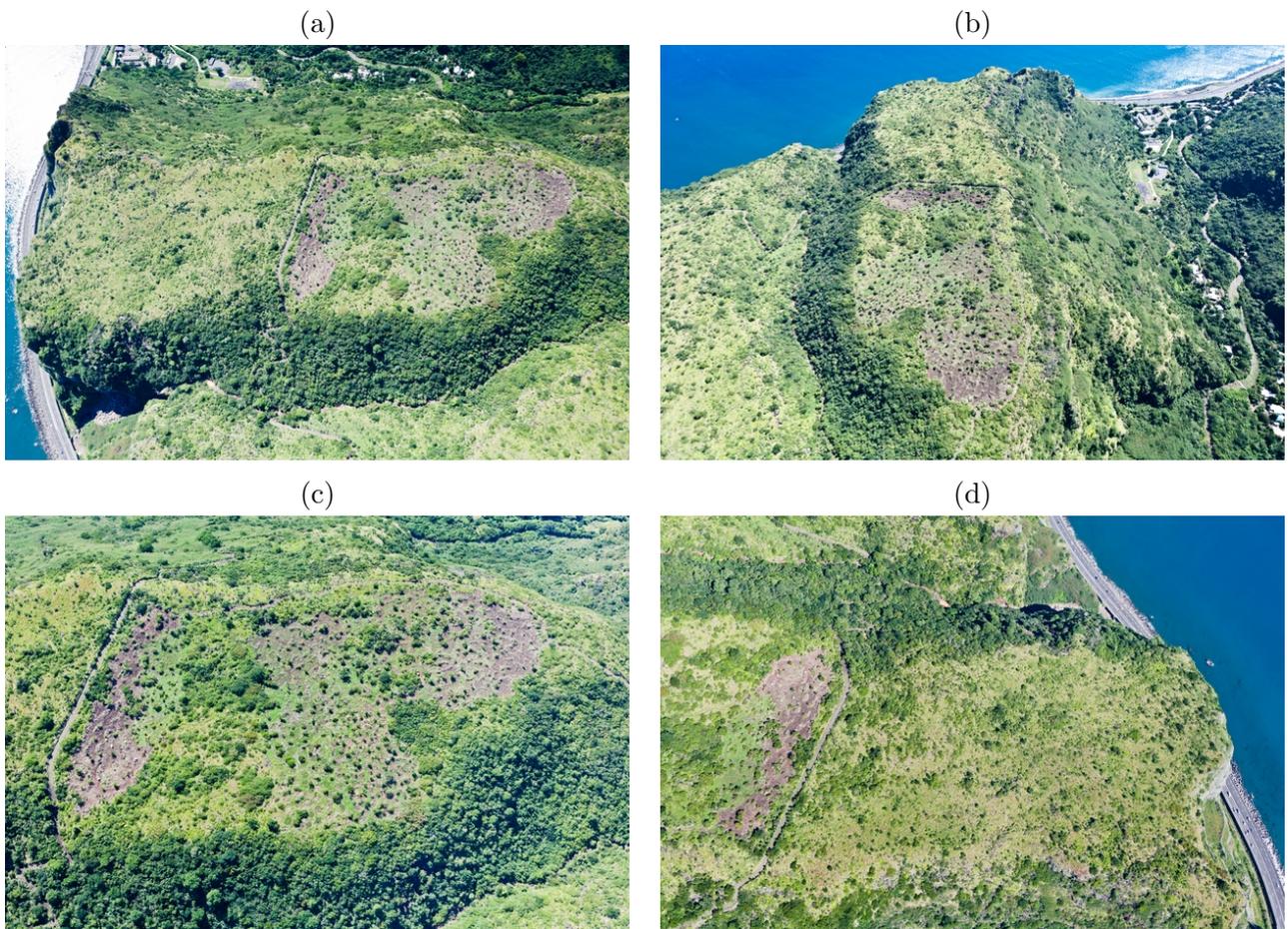


FIGURE A.6 – Vues aériennes de la zone de reconstitution (mai 2012) : (a et b) vues de la zone de reconstitution écologique dans son ensemble, (c) vue des plantations réalisées 2012 dans les placettes circulaires (modalités D et E), (d) vue de la zone aval (non travaillée en 2012).



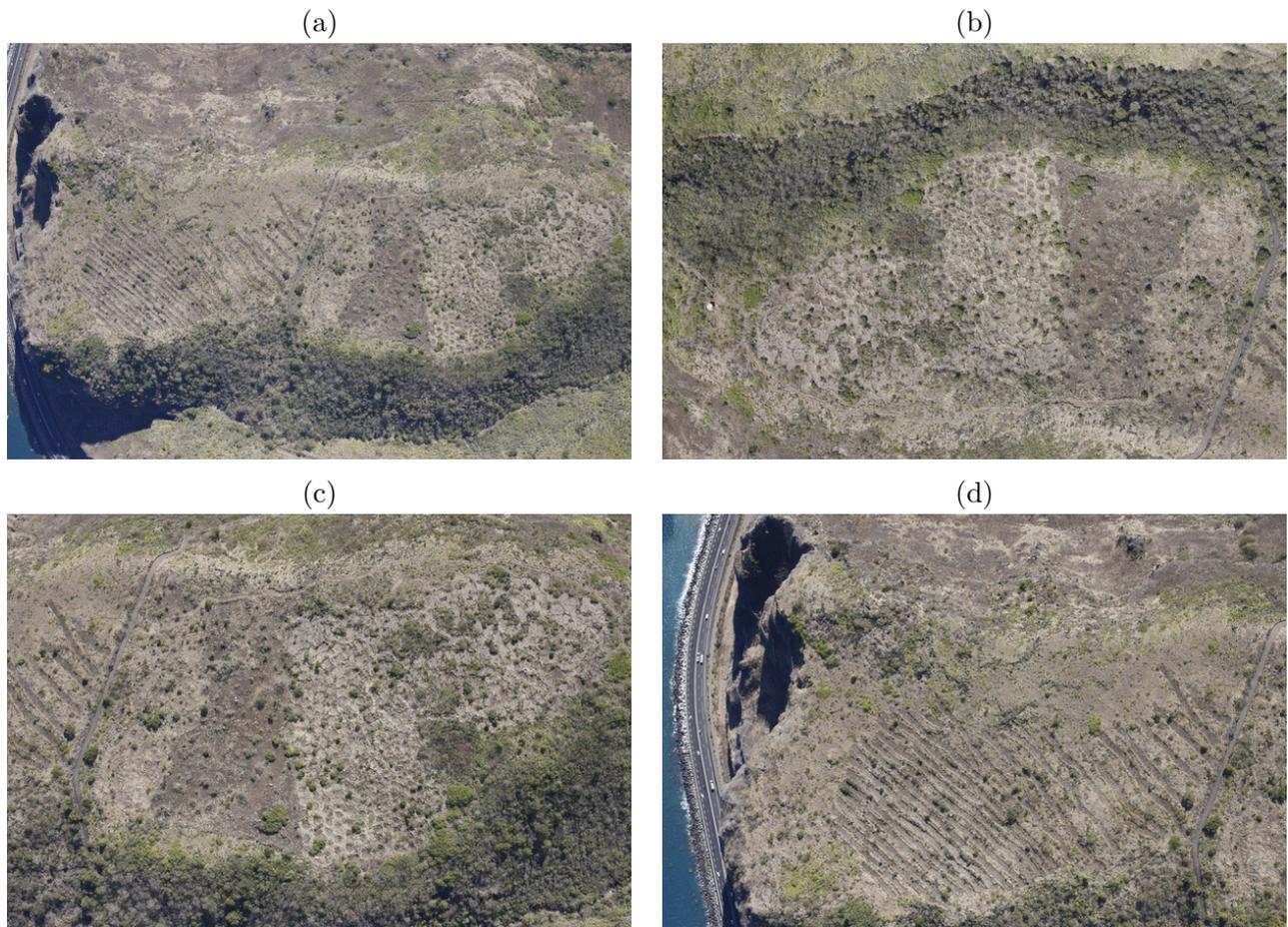
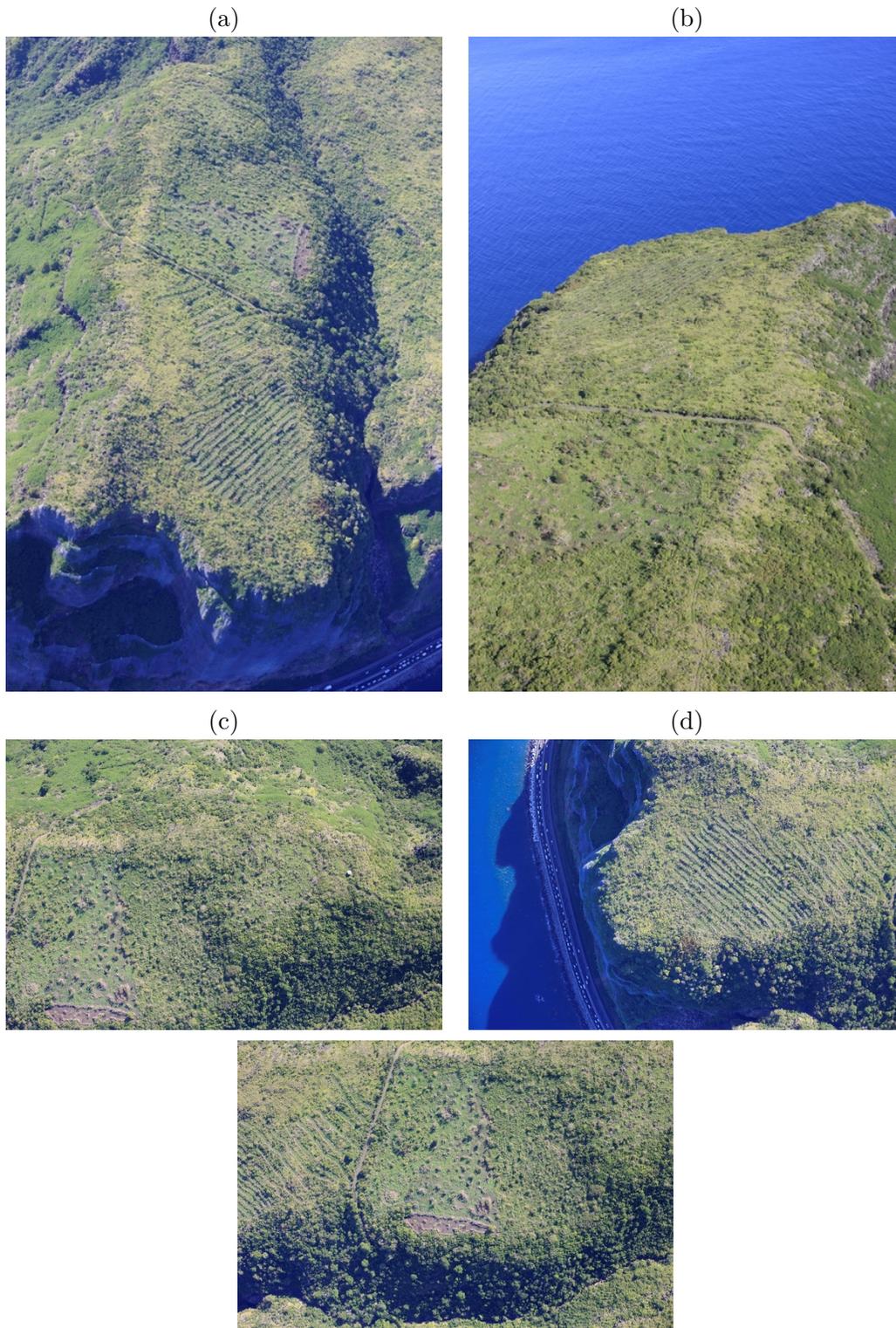


FIGURE A.7 – Vues aériennes de la zone de reconstitution (octobre 2013) : (a) vue complète de la zone de reconstitution écologique, (b) vue des plantations réalisées 2012 en placettes circulaires (D, E), (c) vue des plantations réalisées en plein en 2013 (modalité C), (d) vue des plantations réalisées en bandes (modalités A et B).

FIGURE A.8 – Vues aériennes de la zone de reconstitution (janvier 2014) :
(a et b) vues complètes de la zone de reconstitution écologique, (c) vue de
la zone de plantation 2012, (d et e) vue de la zone de plantation 2013.



e

A.3 Caractérisation pédologique



FIGURE A.9 – Sondages de sol effectués en milieu forestier (Zone 5, Cap Francis, cf. Figure 3.4).

TABLE A.5 – Propriétés physico-chimiques des sols échantillonnés en zone de reconstitution (ZR) et en zone 5 (Cap Francis). pH (eau) = pH mesurée à l'électrode de verre, CEC : capacité d'échange cationique (dosage en SAA), W pF4.2 : humidité à pF 4.2 (presse à membrane + gravimétrie), WpF2 : humidité à pF 2 (presse à plaques + gravimétrie), EC : conductivité s/extrait 1M/5V (ISO 11265).

Ref.	Lieu	Date	pH (eau)	pH (KCl)	dpH	EC	CEC	Sat	Cap. Ch.	Pt. flet.	E.U.
CAPEZR 01		18/07/12	6,76	4,83	1,93	0,055	52,21	106,40	84,72	40,98	43,74
CAPEZR 02	ZR, haut	18/07/12	6,31	4,72	1,59	0,047	42,27	107,47	73,64	38,31	35,33
CAPEZR 03		18/07/12	6,68	5,21	1,47	0,052	49,88	108,79	55,86	38,00	17,86
CAPEZR 04		18/07/12	6,83	5,18	1,65	0,033	45,44	108,49	57,46	35,22	22,24
CAPEZR 05		04/12/12	6,93	5,20	1,73	0,056	48,41	100,23	61,83	35,36	26,47
CAPEZR 06	ZR, bas	04/12/12	6,84	5,27	1,57	0,039	44,42	99,63	53,13	34,04	19,09
CAPEZR 07		04/12/12	6,83	5,23	1,60	0,045	50,39	100,02	68,34	37,82	30,53
CAPECF01		11/07/12	6,98	5,63	1,35	0,054	40,92	117,29	62,65	34,43	28,22
CAPECF02		11/07/12	6,78	5,54	1,24	0,045	26,95	128,84	53,27	28,27	25,00
CAPECF03	Z5	11/07/12	6,29	5,22	1,07	0,037	33,97	129,58	61,85	35,81	26,03
CAPECF04		11/07/12	6,35	5,19	1,16	0,049	32,70	105,61	58,71	30,66	28,05
CAPECF05		11/07/12	6,29	5,26	1,03	0,057	14,82	109,24	55,45	33,13	22,32

TABLE A.6 – Composition chimique des sols échantillonnés. N : azote total (analyseur LECO, Dumas, g/kg, C : carbone (analyseur LECO, g/100g), P : phosphore (Olsen-Dabin, dosage en SFA, mg/kg), Ca : calcium échangeable (dosage SAA, méq/100g), Mg : magnésium échangeable (dosage SAA, méq/100g), K : potassium échangeable (dosage SAA, méq/100g), Na : sodium échangeable (dosage SAA, méq/100g).

Ref.	N	C	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Cation
CAPEZR 01	0,98	12,62	12,90	9,03	16,73	37,46	0,13	1,22	55,55
CAPEZR 02	2,05	25,49	12,44	3,12	16,17	28,59	0,12	0,55	45,43
CAPEZR 03	1,85	21,63	11,70	4,61	17,20	36,43	0,13	0,50	54,26
CAPEZR 04	2,72	31,45	11,58	2,35	13,98	34,71	0,08	0,52	49,30
CAPEZR 05	1,31	16,53	12,58	10,74	19,16	28,17	0,09	1,10	48,52
CAPEZR 06	3,46	41,34	11,95	9,98	18,35	25,44	0,13	0,34	44,26
CAPEZR 07	2,54	33,43	13,19	7,86	18,92	30,70	0,14	0,64	50,40
CAPECF01	3,00	41,78	13,95	9,77	18,78	28,01	0,09	1,11	47,99
CAPECF02	3,43	47,84	13,95	9,56	14,81	19,17	0,18	0,57	34,72
CAPECF03	2,18	35,77	16,40	7,04	9,64	33,33	0,08	0,98	44,02
CAPECF04	3,65	49,32	13,53	4,92	13,53	20,49	0,19	0,32	34,54
CAPECF05	5,64	81,85	14,51	6,02	9,02	6,97	0,06	0,14	16,19

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0199-109465** v/réf : **CAPEZR 01**
nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 256 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau	=	6.76	pH		
pH KCl	=	4.83	pH	delta pH =	1.93
conductivité	=	0.06	mS/cm 25°C		
azote total	=	0.98	g/kg MS105		
carbone	=	1.26	g/100g MS105	C/N =	12.9
phosphore Olsen-Dabin	=	9.03	mg/kg MS105		
capacité d'échange cationique	=	52.2	mé/100g sec		
calcium échangeable	=	16.7	mé/100g sec		
magnésium échangeable	=	37.5	mé/100g sec		
potassium échangeable	=	0.13	mé/100g sec		
sodium échangeable	=	1.22	mé/100g sec	Σb =	55.55 me sat = 106.40 %
humidité à pF 2	=	84.7	g/100g MS105		
humidité à pF 4.2	=	41.0	g/100g MS105		

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0199-109466** v/réf : **CAPEZR 02**
nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 256 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau	=	6.31	pH		
pH KCl	=	4.72	pH	delta pH =	1.59
conductivité	=	0.05	mS/cm 25°C		
azote total	=	2.05	g/kg MS105		
carbone	=	2.55	g/100g MS105	C/N =	12.4
phosphore Olsen-Dabin	=	3.12	mg/kg MS105		
capacité d'échange cationique	=	42.3	mé/100g sec		
calcium échangeable	=	16.2	mé/100g sec		
magnésium échangeable	=	28.6	mé/100g sec		
potassium échangeable	=	0.12	mé/100g sec		
sodium échangeable	=	0.55	mé/100g sec	Σb =	45.43 me sat = 107.47 %
humidité à pF 2	=	73.6	g/100g MS105		
humidité à pF 4.2	=	38.3	g/100g MS105		

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0199-109467** v/réf : **CAPEZR 03**
nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 256 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau	=	6.68	pH		
pH KCl	=	5.21	pH	delta pH =	1.47
conductivité	=	0.05	mS/cm 25°C		
azote total	=	1.85	g/kg MS105		
carbone	=	2.16	g/100g MS105	C/N =	11.7
phosphore Olsen-Dabin	=	4.61	mg/kg MS105		
capacité d'échange cationique	=	49.9	mé/100g sec		
calcium échangeable	=	17.2	mé/100g sec		
magnésium échangeable	=	36.4	mé/100g sec		
potassium échangeable	=	0.13	mé/100g sec		
sodium échangeable	=	0.50	mé/100g sec	Σb =	54.26 me sat = 108.79 %
humidité à pF 2	=	55.9	g/100g MS105		
humidité à pF 4.2	=	38.0	g/100g MS105		

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0199-109468** v/réf : **CAPEZR 04**
nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 256 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau	=	6.83	pH		
pH KCl	=	5.18	pH	delta pH =	1.65
conductivité	=	0.03	mS/cm 25°C		
azote total	=	2.72	g/kg MS105		
carbone	=	3.15	g/100g MS105	C/N =	11.6
phosphore Olsen-Dabin	=	2.35	mg/kg MS105		
capacité d'échange cationique	=	45.4	mé/100g sec		
calcium échangeable	=	14.0	mé/100g sec		
magnésium échangeable	=	34.7	mé/100g sec		
potassium échangeable	=	0.08	mé/100g sec		
sodium échangeable	=	0.52	mé/100g sec	Σb =	49.30 me sat = 108.49 %
humidité à pF 2	=	57.5	g/100g MS105		
humidité à pF 4.2	=	35.2	g/100g MS105		

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0377-110913** v/réf : **CAPEZR 05**

nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 152 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.93	pH	
pH KCl = 5.20	pH	delta pH = 1.73
azote total = 1.31	g/kg MS105	
carbone = 1.65	g/100g MS105	C/N = 12.6
phosphore Olsen-Dabin = 10.7	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 48.4	mé/100g sec	
calcium échangeable = 19.2	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 28.2	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.09	mé/100g sec	
sodium échangeable = 1.10	mé/100g sec	Zb = 48.52 me sat = 100.23 %
humidité à pF 2 = 61.8	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 35.4	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0377-110914** v/réf : **CAPEZR 06**

nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 210 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.84	pH	
pH KCl = 5.27	pH	delta pH = 1.57
azote total = 3.46	g/kg MS105	
carbone = 4.13	g/100g MS105	C/N = 11.9
phosphore Olsen-Dabin = 9.98	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 44.4	mé/100g sec	
calcium échangeable = 18.3	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 25.4	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.13	mé/100g sec	
sodium échangeable = 0.34	mé/100g sec	Zb = 44.26 me sat = 99.63 %
humidité à pF 2 = 53.1	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 34.0	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2012-0377-110915** v/réf : **CAPEZR 07**

nature de l'échantillon : Sols ferrallitiques Planèzes à sols ferrallitiques épais
origine de l'échantillon : GRANDE CHALOUPE - LA POSSESSION - 210 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.83	pH	
pH KCl = 5.23	pH	delta pH = 1.60
azote total = 2.54	g/kg MS105	
carbone = 3.34	g/100g MS105	C/N = 13.2
phosphore Olsen-Dabin = 7.86	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 50.4	mé/100g sec	
calcium échangeable = 18.9	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 30.7	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.14	mé/100g sec	
sodium échangeable = 0.64	mé/100g sec	Zb = 50.40 me sat = 100.02 %
humidité à pF 2 = 68.3	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 37.8	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre
7 ch de l'IRAT
Ligne Paradis
97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2013-0193-113800** v/réf : **CAPECF01**

nature de l'échantillon : Andosols non perhydratés Relief de dissection à sols peu évolués
origine de l'échantillon : CAP FRANCIS - LA POSSESSION - 577 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.98	pH	
pH KCl = 5.63	pH	delta pH = 1.35
conductivité s/extrait 1M/5V = 0.05	mS/cm 25°C	
azote total = 3.00	g/kg MS105	
carbone = 4.18	g/100g MS105	C/N = 13.9
phosphore Olsen-Dabin = 9.77	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 40.9	mé/100g sec	
calcium échangeable = 18.8	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 28.0	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.09	mé/100g sec	
sodium échangeable = 1.11	mé/100g sec	Σb = 47.99 me sat = 117.29 %
humidité à pF 2 = 62.7	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 34.4	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre
7 ch de l'IRAT
Ligne Paradis
97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2013-0193-113801** v/réf : **CAPECF02**

nature de l'échantillon : Andosols non perhydratés Relief de dissection à sols peu évolués
origine de l'échantillon : CAP FRANCIS - LA POSSESSION - 577 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.78	pH	
pH KCl = 5.54	pH	delta pH = 1.24
conductivité s/extrait 1M/5V = 0.05	mS/cm 25°C	
azote total = 3.43	g/kg MS105	
carbone = 4.78	g/100g MS105	C/N = 13.9
phosphore Olsen-Dabin = 9.56	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 26.9	mé/100g sec	
calcium échangeable = 14.8	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 19.2	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.18	mé/100g sec	
sodium échangeable = 0.57	mé/100g sec	Σb = 34.72 me sat = 128.84 %
humidité à pF 2 = 53.3	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 28.3	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre
7 ch de l'IRAT
Ligne Paradis
97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2013-0193-113802** v/réf : **CAPECF03**

nature de l'échantillon : Andosols non perhydratés Relief de dissection à sols peu évolués
origine de l'échantillon : CAP FRANCIS - LA POSSESSION - 577 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.74	pH	
pH KCl = 5.22	pH	delta pH = 1.52
conductivité s/extrait 1M/5V = 0.04	mS/cm 25°C	
azote total = 2.18	g/kg MS105	
carbone = 3.58	g/100g MS105	C/N = 16.4
phosphore Olsen-Dabin = 7.04	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 34.0	mé/100g sec	
calcium échangeable = 9.64	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 33.3	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.08	mé/100g sec	
sodium échangeable = 0.98	mé/100g sec	Σb = 44.02 me sat = 129.58 %
humidité à pF 2 = 61.8	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 35.8	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre
7 ch de l'IRAT
Ligne Paradis
97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2013-0193-113803** v/réf : **CAPECF04**

nature de l'échantillon : Andosols non perhydratés Relief de dissection à sols peu évolués
origine de l'échantillon : CAP FRANCIS - LA POSSESSION - 577 m
demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau = 6.35	pH	
pH KCl = 5.19	pH	delta pH = 1.16
conductivité s/extrait 1M/5V = 0.05	mS/cm 25°C	
azote total = 3.65	g/kg MS105	
carbone = 4.93	g/100g MS105	C/N = 13.5
phosphore Olsen-Dabin = 4.92	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique = 32.7	mé/100g sec	
calcium échangeable = 13.5	mé/100g sec	
magnésium échangeable = 20.5	mé/100g sec	
potassium échangeable = 0.19	mé/100g sec	
sodium échangeable = 0.32	mé/100g sec	Σb = 34.54 me sat = 105.61 %
humidité à pF 2 = 58.7	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 = 30.7	g/100g MS105	

CIRAD St-Pierre

7 ch de l'IRAT

Ligne Paradis

97410 ST-PIERRE

Analyse de sol

réf labo : **2013-0193-113804**v/réf : **CAPECF05**

nature de l'échantillon : Andosols non perhydratés Relief de dissection à sols peu évolués

origine de l'échantillon : CAP FRANCIS - LA POSSESSION - 577 m

demandeur : Flores Olivier - CIRAD

Résultats d'analyse

pH eau =	6.29	pH	
pH KCl =	5.26	pH	delta pH = 1.03
conductivité s/extrait 1M/5V =	0.06	mS/cm 25°C	
azote total =	5.64	g/kg MS105	
carbone =	8.19	g/100g MS105	C/N = 14.5
phosphore Olsen-Dabin =	6.02	mg/kg MS105	
capacité d'échange cationique =	14.8	mé/100g sec	
calcium échangeable =	9.02	mé/100g sec	
magnésium échangeable =	6.97	mé/100g sec	
potassium échangeable =	0.06	mé/100g sec	
sodium échangeable =	0.14	mé/100g sec	Σb = 16.19 me sat = 109.24 %
humidité à pF 2 =	55.4	g/100g MS105	
humidité à pF 4.2 =	33.1	g/100g MS105	

A.4 Mortalité

TABLE A.7 – Résumé des effectifs suivis par modalité de plantation pour les deux zones de reconstitution (ZR, Tableau 1.1, p. 17) et de restauration écologique (zone 5, Z5, cf. p. 93) : n_0 , nombre total d'individus observés au premier passage (état initial après plantation, morts y compris), n_1 : nombre d'individus vivants au premier passage (reprise, cinq semaines après plantation), n_2 : nombre d'individus vivants après la première saison sèche, n_3 : nombre d'individus vivants à $t + 1$ an. Les colonnes suivantes indiquent les taux de mortalité moyens par placette selon la modalité, soit bruts (proportion d'individus, en %), soit annualisés (en %/an, cf. méthode p. 24) par période : pendant la période de reprise, la première saison sèche (SS1) et après un an ($t + 1$).

Zone	Modalité	n_0	n_1	n_2	n_3	Reprise		SS1		$t + 1$	
						%	%/an	%	%/an	%	%/an
ZR	A	1421	1401	1267	1133	1.40	8.1	9.7	15.1	20.5	18.2
	B	1993	1970	1601	1378	1.18	9.9	19.1	31.6	31.1	30.1
	C	493	470	381	295	4.66	24.7	19.3	34.5	40.9	39.1
	D	1580	1561	1463	1390	1.20	9.3	6.3	12.3	12.1	10.5
	E	6158	5820	5206	4789	5.59	32.1	10.7	20.6	22.4	20.6
	F	751	734	651	572	2.31	11.8	11.6	17.3	24.1	20.2
Z5	Méca.	161	160	158	149	0.48	1.8	1.2	2.3	6.8	5.7
	Manu.	119	118	115	106	0.91	3.6	2.4	4.5	10.9	9.4
	Forêt	214	208		181	2.92	11.8			19.0	15.3

TABLE A.8 – Résumé des effectifs suivis par espèce pour la zone de re-constitution écologique (Tableau 1.1, p. 17) : n_0 , nombre total d'individus observés au premier passage (état initial après plantation, morts y compris), n_1 : nombre d'individus vivants au premier passage (reprise, cinq semaines après plantation), n_2 : nombre d'individus vivants après la première saison sèche, n_3 : nombre d'individus vivants à $t + 1$ an. Les colonnes suivantes indiquent les taux de mortalité moyens par placette par espèce, soit bruts (proportion d'individus, en %), soit annualisés (en %/an, cf. méthode p. 24) par période : pendant la période de reprise, la première saison sèche (SS1) et après un an ($t + 1$).

Taxon	n_0	n_1	n_2	n_3	Reprise		SS1		t + 1	
					%	%/an	%	%/an	%	%/an
ABUEXS	274	259	250	238	5.11	31.6	3.9	7.0	14.5	0.83
ANTBOR	157	152	72	34	2.85	16.1	66.7	80.1	85.0	25.10
APHTHE	51	47	17	3	4.56	29.5	79.4	91.6	95.8	78.71
CAEBON	10	10	9	8	0	0	12.5	18.1	25.0	25.00
CASORI	12	12	12	9	0	0	0	0	27.8	7.20
CLEHET	84	84	84	84	0	0	0	0	0	0
COPBOR	38	38	30	28	0	0	13.5	21.9	19.0	1.66
COSPIN	436	411	316	280	5.78	32.1	22.6	36.0	35.4	2.13
CROMAU	204	184	159	135	3.68	23.4	9.8	16.1	25.0	3.01
DICALB	24	24	11	6	0	0	55.6	67.1	69.4	44.72
DIOBOR	115	110	72	61	6.05	27.4	30.5	46.3	42.5	3.50
DODVIS	1065	1043	955	885	1.47	10.9	5.5	9.5	18.2	0.82
DOMACU	1090	1081	1050	1015	0.91	6.4	3.1	5.7	9.8	0.58
DORAPE	1044	1013	915	809	2.54	17.5	9.2	15.7	21.7	0.99
DRAREF	318	315	198	141	1.61	7.9	37.7	57.8	59.3	4.76
ERYHYP	16	16	14	13	0	0	13.3	26.3	21.7	3.64
ERYSID	4	4	3	3	0	0	25.0	40.3	25.0	6.57
EUGBUX	325	316	250	188	2.61	14.7	21.2	36.5	43.6	3.90
FERBUX	682	672	568	510	0.55	5.2	19.4	31.3	30.6	2.24
FICREF	192	192	172	141	0	0	8.2	13.0	19.8	1.26
FICRUB	391	389	364	322	0.18	1.8	11.3	18.6	25.6	2.20
FOEMAU	46	45	41	40	6.67	17.6	8.0	13.2	16.7	3.39
GASCUT	70	70	62	58	0	0	6.8	14.2	9.2	0.40
HIBCOL	199	196	185	169	0.62	5.9	4.7	7.9	14.1	1.12
INDAMM	71	71	65	59	0	0	7.0	12.4	12.1	0.63
LATLON	67	67	63	57	0	0	6.1	10.7	13.4	1.30
MIMBAL	54	51	28	17	8.57	35.2	51.8	66.8	72.2	14.84
MOLALT	20	18	11	9	16.67	33.1	16.7	24.1	50	34.88

TABLE A.8 – (cont.)

Taxon	n_0	n_1	n_2	n_3	Reprise		SS1		t + 1	
					%	%/an	%	%/an	%	%/an
OBEFIC	258	256	223	186	1.01	7.2	9.2	14.9	28.2	1.85
OLEEUR	58	58	48	38	0	0	12.0	19.0	31.0	3.27
PHYCAS	1281	1280	1252	1221	03	0.3	2.1	3.7	4.0	0.16
PITSEN	72	64	40	25	12.80	54.0	37.7	58.8	69.7	11.29
PLEPAC	3	3	1	0	0	0	66.7	87.0	100	100
POUBOR	157	145	126	114	5.41	16.4	16.9	26.3	28.6	2.07
POULAE	352	347	314	279	1.30	9.6	8.5	14.1	22.5	1.24
RUICOR	211	203	186	183	1.62	13.5	4.4	7.6	6.5	0.15
SCOHET	13	12	4	3	8.33	25.9	72.2	84.5	77.8	48.24
SCUMYR	185	182	174	166	3.51	13.7	6.8	12.8	20.6	4.36
SECDUR	351	348	307	269	0.38	3.0	11.2	20	20	1.03
STILIN	54	54	45	43	0	0	16.4	26.7	18.9	1.83
TERBEN	685	667	641	597	2.08	15.0	4.1	7.4	14.1	0.72
TURTHO	49	48	11	2	1.19	8.6	74.7	87.8	96.4	78.09
VEPLAN	100	66	49	35	16.27	55.1	26.1	47.6	62.0	10.36
ZANHET	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

TABLE A.9 – Résumé des effectifs suivis par espèce pour la zone de restauration écologique retenue pour le renforcement de populations (zone 5, Z5, cf. p. 93) : n_0 , nombre total d’individus observés au premier passage (état initial après plantation, morts y compris), n_1 : nombre d’individus vivants au premier passage (reprise, cinq semaines après plantation), n_2 : nombre d’individus vivants après la première saison sèche, n_3 : nombre d’individus vivants à $t + 1$ an. Les colonnes suivantes indiquent les taux de mortalité moyens par placette par espèce, soit bruts (proportion d’individus, en %), soit annualisés (en %/an, cf. méthode p. 24) par période : pendant la période de reprise, la première saison sèche (SS1) et après un an ($t + 1$).

Taxon	n_0	n_1	n_2	n_3	Reprise		SS1		$t + 1$	
					%	%/an	%	%/an	%	%/an
ANTBOR	24	24		17	0.0	0.0	0.0	0	30.0	5.62
APHTHE	40	40		29	0.0	0.0	0.0	0	20.4	2.47
COSPIN	76	76		67	0.0	0.0	0.0	0	11.5	1.30
CROMAU	17	17		15	0.0	0.0	0.0	0	20.4	9.29
DIOBOR	3	3	3	3	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00
DODVIS	79	77		75	2.0	8.3	0.0	0	4.9	0.46
DOMACU	28	28		27	0.0	0.0	0.0	0	6.7	1.41
DOMPOP	16	15		15	11.1	28.4	0.0	0	11.1	4.85
DORAPE	12	12	11	9	0.0	0.0	6.2	12	18.8	4.62
DRAREF	24	24		23	0.0	0.0	0.0	0	5.0	0.72
EUGBUX	29	29		22	0.0	0.0	22.5	41	28.3	7.36
FICREF	7	7		7	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00
FICRUB	9	9	8	8	0.0	0.0	8.3	16	8.3	1.53
FOEMAU	5	5		5	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00
INDAMM	36	36		35	0.0	0.0	0.0	0	2.4	0.27
MIMBAL	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00
PITSEN	19	18		18	11.1	26.7	0.0	0	11.1	5.14
POUBOR	7	7		5	0.0	0.0	0.0	0	20.0	4.72
POULAE	45	43		42	2.8	11.2	5.6	11	6.5	0.94
SCUMYR	2	2	2	2	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00
SECDUR	13	13	13	11	0.0	0.0	0.0	0	10.0	1.34

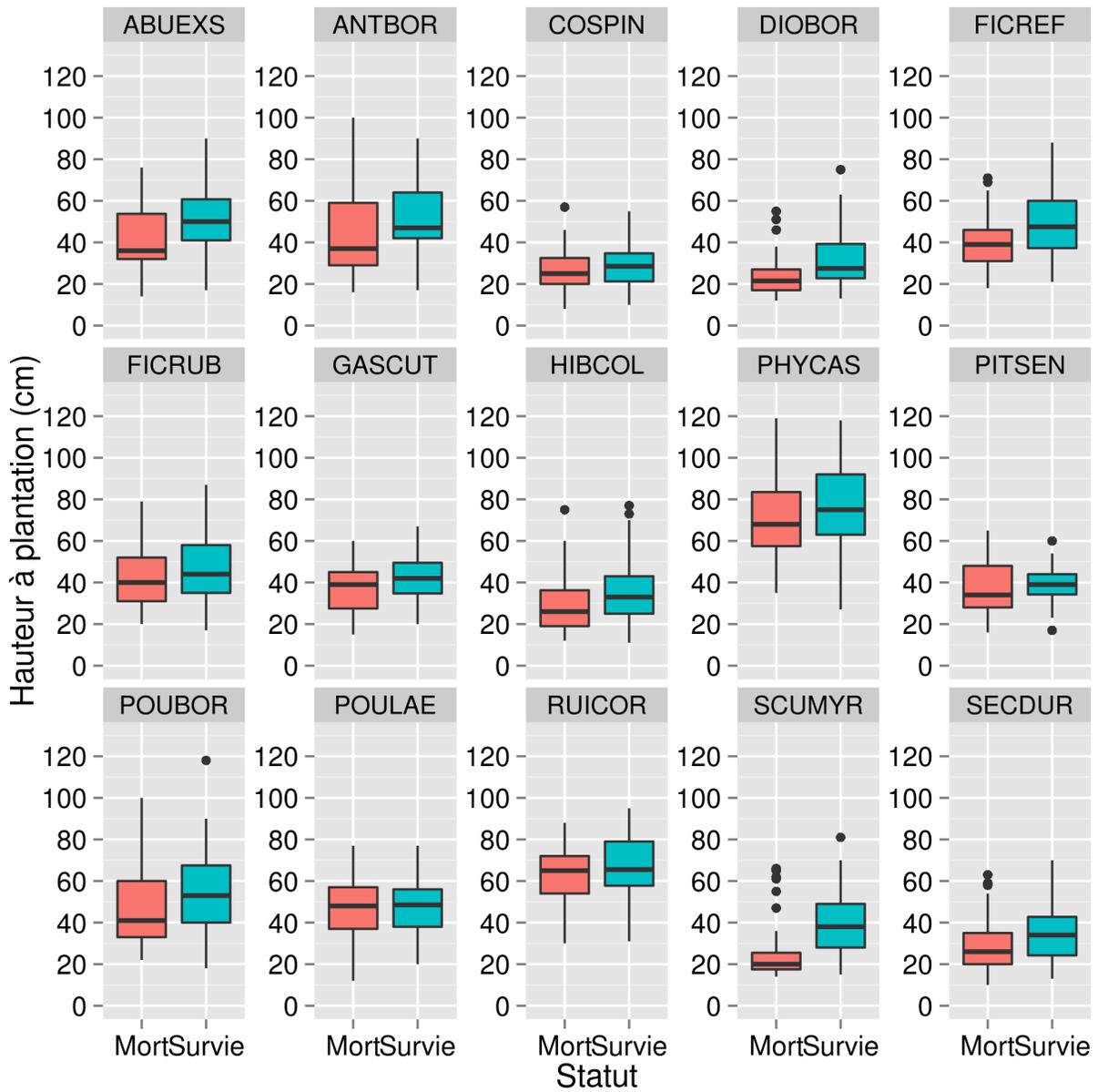


FIGURE A.10 – Relations entre la taille de l'individu à la plantation et le taux de survie observées pour différentes espèces.

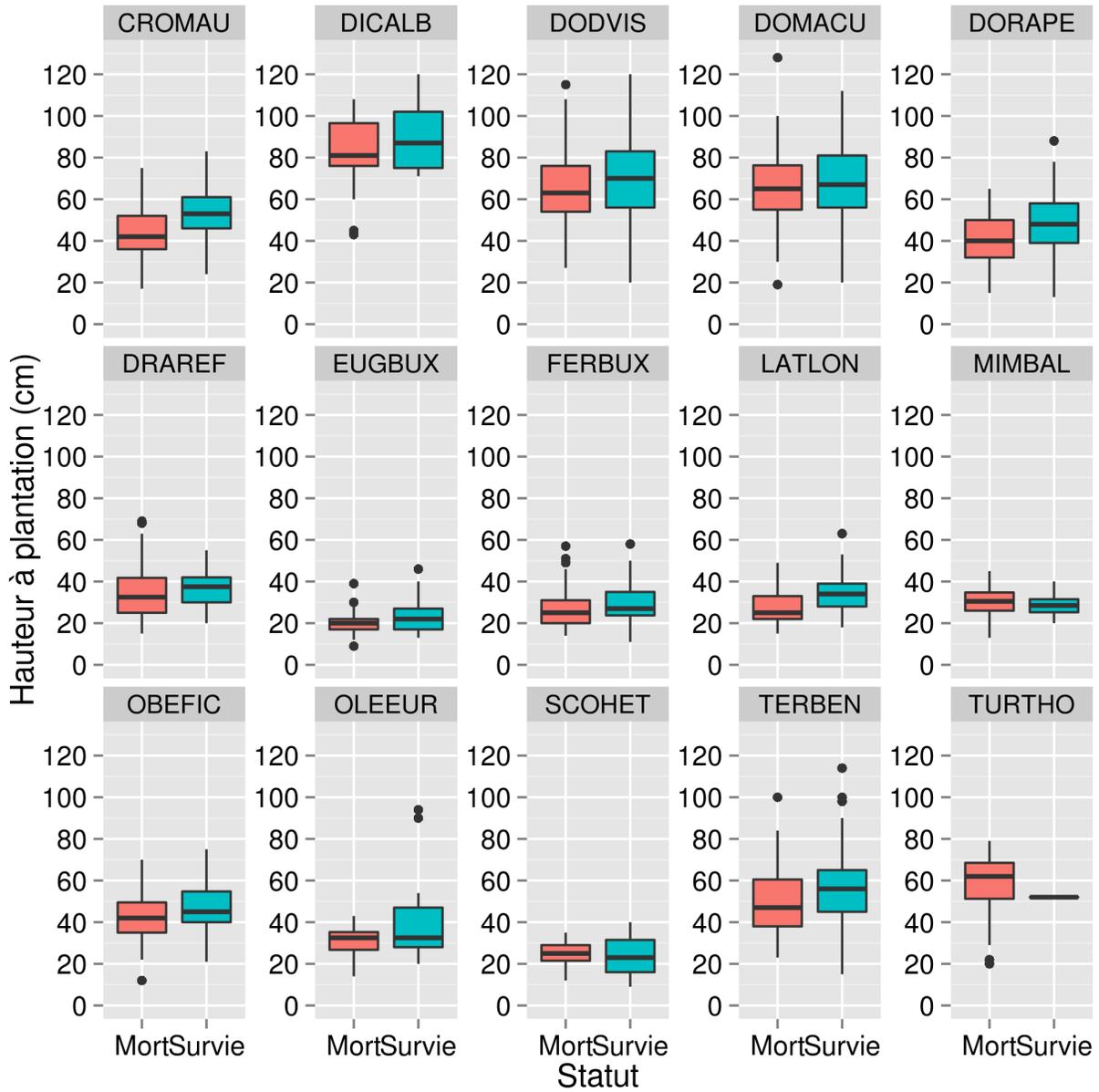


FIGURE A.11 – Relations entre la taille de l'individu à la plantation et le taux de survie observées pour différentes espèces.

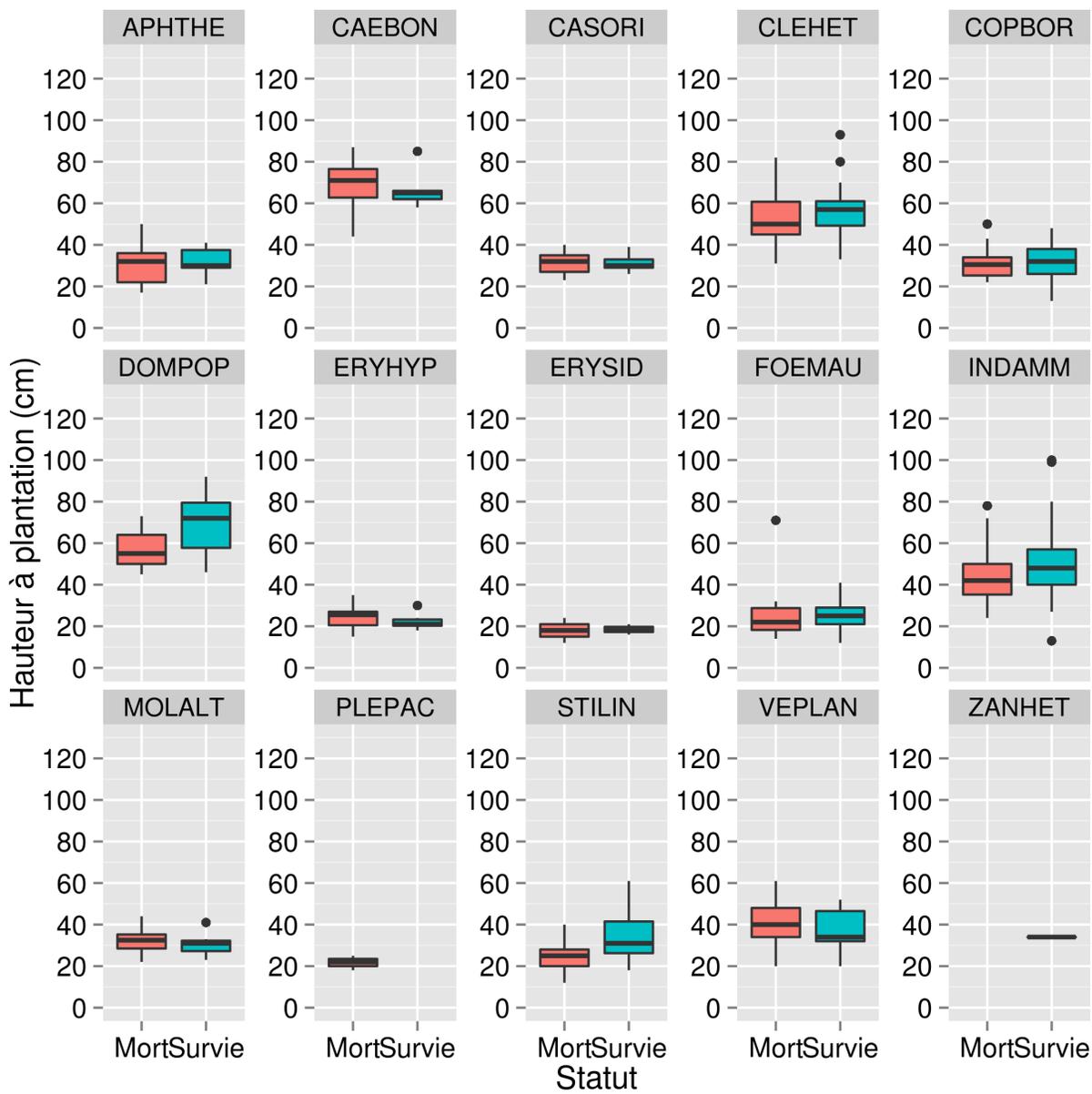


FIGURE A.12 – Relations entre la taille de l'individu à la plantation et le taux de survie observées pour différentes espèces.

A.5 Croissance

TABLE A.10 – Résumé des mesures de croissance effectuées en zone de reconstitution pour les espèces dont au moins 5 individus ont pu être suivis (voir p. 24 pour l'explication des variables). RGR : *relative growth rate* (an^{-1}), Δ variation absolue, h : hauteur (cm), C : diamètre de la couronne (cm), B : diamètre à la base (mm). μ : moyenne, σ : écart-type.

Espèce	RGR_h		Δh		RGR_B		ΔB		RGR_C		ΔC	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
ABUEXS	0.829	0.41	60.2	30.13	1.29	0.54	21.74	11.99	1.10	0.47	70.7	36.5
ANTBOR	0.243	0.37	9.2	14.82	0.36	0.29	2.44	2.02	0.37	0.76	6.1	10.2
APHTHE	0.860		22.1		0.77		2.21		0.11		1.1	
CAEBON	0.220	0.44	19.7	39.03	0.35	0.49	5.75	9.07	0.59	0.53	46.3	60.0
CASORI	0.320	0.26	12.0	9.53	0.32	0.17	3.05	1.70	0.31	0.14	11.2	4.9
CLEHET	0.492	0.23	35.0	16.36	0.73	0.30	10.64	5.69	0.58	0.34	19.7	14.1
COPBOR	0.272	0.21	9.4	7.83	0.23	0.19	1.72	1.39	0.26	0.63	5.8	13.1
COSPIN	0.643	0.40	25.7	18.27	0.48	0.32	3.35	2.45	0.45	0.33	17.0	13.5
CROMAU	0.345	0.25	18.4	11.77	0.53	0.37	5.13	5.37	0.62	0.35	20.0	12.6
DICALB	-0.015		-1.0		0.28	0.30	4.98	5.32	0.22	0.37	12.0	19.4
DIOBOR	0.303	0.22	8.6	5.94	0.27	0.20	1.63	1.45	0.32	0.29	7.3	6.4
DODVIS	0.484	0.35	41.0	28.05	0.86	0.41	9.45	5.86	0.86	0.48	41.7	24.0
DOMACU	0.549	0.27	45.8	18.03	0.79	0.28	10.68	4.85	0.86	0.40	38.5	22.5
DORAPE	0.479	0.34	28.6	22.73	0.43	0.27	2.81	2.00	0.37	0.28	7.5	6.7
DRAREF	0.461	0.27	18.8	10.88	0.18	0.21	2.57	2.88	0.26	0.24	11.4	10.6
ERYHYP	0.434	0.27	14.3	10.68	0.34	0.17	2.20	1.45	0.37	0.21	7.8	4.8
ERYSID	0.048		1.0		0.08	0.11	0.52	0.73	0.00		0.0	
EUGBUX	0.213	0.25	5.1	6.54	0.45	0.38	3.06	3.26	0.28	0.25	4.1	3.8
FERBUX	0.336	0.24	12.2	10.37	0.41	0.29	2.47	2.00	0.50	0.34	8.5	7.0
FICREF	0.292	0.32	16.1	18.16	0.43	0.38	5.49	4.84	0.45	0.37	13.6	12.7
FICRUB	0.379	0.32	20.2	18.68	0.53	0.37	7.07	5.78	0.50	0.38	17.1	13.8
FOEMAU	0.396	0.26	12.1	8.96	0.43	0.32	4.00	3.19	0.29	0.25	9.8	9.1
GASCUT	0.636	0.35	34.4	19.72	0.48	0.29	7.20	4.73	0.39	0.28	15.4	12.1
HIBCOL	0.613	0.40	29.4	21.01	0.61	0.30	7.01	4.32	0.48	0.33	16.3	15.5
INDAMM	0.332	0.21	19.0	13.26	0.82	0.36	7.34	3.87	0.43	0.29	21.9	16.1
LATLON	0.445	0.32	17.6	13.45	0.35	0.29	6.10	5.05	0.28	0.21	10.4	8.7
MIMBAL	0.289	0.32	9.9	11.58	0.29	0.23	1.84	1.45	0.32	0.26	7.8	5.9
MOLALT	0.386	0.19	13.6	6.77	0.35	0.28	2.64	2.56	0.20	0.15	4.5	3.7
OBEFIC	0.279	0.26	15.9	17.37	0.35	0.29	8.09	7.75	0.24	0.27	6.6	9.0
OLEEUR	0.398	0.30	16.4	12.32	0.40	0.37	2.34	2.00	0.63	0.76	11.4	15.3
PHYCAS	0.511	0.29	48.7	26.31	0.82	0.33	10.61	5.22	0.77	0.46	45.0	27.8

TABLE A.10 – (cont.)

Espèce	RGR_h		Δh		RGR_B		ΔB		RGR_C		ΔC	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
PITSEN	0.303	0.30	13.4	13.09	0.46	0.29	3.48	2.59	0.70	0.44	18.4	12.1
POUBOR	0.353	0.27	21.5	16.64	0.31	0.25	4.56	3.82	0.35	0.41	11.0	9.9
POULAE	0.229	0.26	11.8	12.35	0.46	0.27	7.36	5.51	0.51	0.37	23.5	19.1
RUICOR	0.472	0.20	39.4	15.50	0.80	0.32	8.38	4.05	0.64	0.34	18.4	11.6
SCOHET	0.111	0.02	3.6	0.72	0.42	0.41	2.06	2.69	0.21	0.29	3.6	5.0
SCUMYR	0.469	0.41	17.4	15.86	0.42	0.35	3.44	2.99	0.50	0.43	12.3	10.0
SECDUR	0.466	0.37	18.7	16.28	0.62	0.46	4.14	3.60	0.48	0.35	11.2	8.6
STILIN	0.563	0.20	24.9	10.31	0.51	0.24	6.08	2.89	0.34	0.26	13.0	10.2
TERBEN	0.498	0.32	34.1	23.65	0.59	0.29	7.66	4.13	0.44	0.30	23.2	16.0
VEPLAN	0.430	0.36	24.5	25.04	0.42	0.34	2.84	2.77	0.51	0.37	12.0	9.4

TABLE A.11 – Résumé des mesures de croissance effectuées en zone de renforcement de populations (Z5) pour les espèces dont au moins 5 individus ont pu être suivis (voir p. 24 pour l'explication des variables). RGR : *relative growth rate* (an^{-1}), Δ variation absolue, h : hauteur (cm), C : diamètre de la couronne (cm), B : diamètre à la base (mm). μ : moyenne, σ : écart-type.

Espèce	RGR_h		Δh		RGR_B		ΔB		RGR_C		ΔC	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
ANTBOR	0.324	0.24	17.8	12.4	0.70	0.452	8.0	10.7	0.372	0.29	10.76	7.6
APHTHE	0.569	0.43	25.9	19.2	0.94	0.521	5.7	5.0	0.904	0.57	29.69	15.9
COSPIN	0.556	0.40	19.7	17.8	0.49	0.392	3.5	3.8	0.332	0.43	11.83	14.7
CROMAU	0.260	0.16	13.1	6.9	0.49	0.298	4.0	2.7	0.237	0.37	9.26	14.9
DIOBOR	0.263	0.35	8.1	9.6	0.33	0.237	2.1	1.5	0.598	0.48	10.58	8.3
DODVIS	0.532	0.43	40.2	28.9	0.66	0.504	6.4	5.8	0.729	0.53	36.09	30.1
DOMACU	0.275	0.25	21.3	21.2	0.57	0.453	6.6	5.9	0.862	0.70	31.29	29.4
DOMPOP	0.321	0.23	25.7	19.9	0.52	0.398	5.1	4.5	0.555	0.46	15.26	11.5
DORAPE	0.184	0.15	13.6	12.0	0.42	0.248	2.6	1.6	0.428	0.15	8.88	5.3
DRAREF	0.425	0.21	16.1	8.7	0.13	0.150	1.8	2.1	0.235	0.18	11.57	8.7
EUGBUX	0.404	0.28	10.0	6.4	0.56	0.324	2.5	1.4	0.408	0.38	4.72	3.0
FICREF	0.082		6.5		0.00		0.0		0.036		0.93	
FICRUB	0.218	0.18	7.7	6.1	0.34	0.134	3.0	1.8	0.451	0.47	8.19	8.5
FOEMAU	0.432	0.13	15.8	8.0	0.46	0.216	4.6	2.4	0.229	0.29	8.70	10.8
INDAMM	0.370	0.44	20.1	22.4	0.61	0.353	5.3	4.8	0.344	0.25	19.48	18.6
MIMBAL	0.088		2.1		0.36		2.1		0.266		6.35	
PITSEN	0.711	0.37	32.5	17.3	0.89	0.402	5.3	2.7	0.801	0.40	23.48	9.2
POUBOR	0.295	0.28	12.7	11.1	0.26	0.382	2.8	4.6	0.345	0.31	10.85	10.1
POULAE	0.120	0.13	5.9	5.9	0.53	0.415	6.7	5.5	0.647	0.65	28.14	28.6
SCUMYR	0.447	0.36	10.0	9.7	1.00	0.046	4.2	1.5	0.518	0.30	8.99	5.2
SECDUR	0.654	0.38	19.2	12.0	1.05	0.273	4.4	2.0	0.488	0.37	10.05	7.8

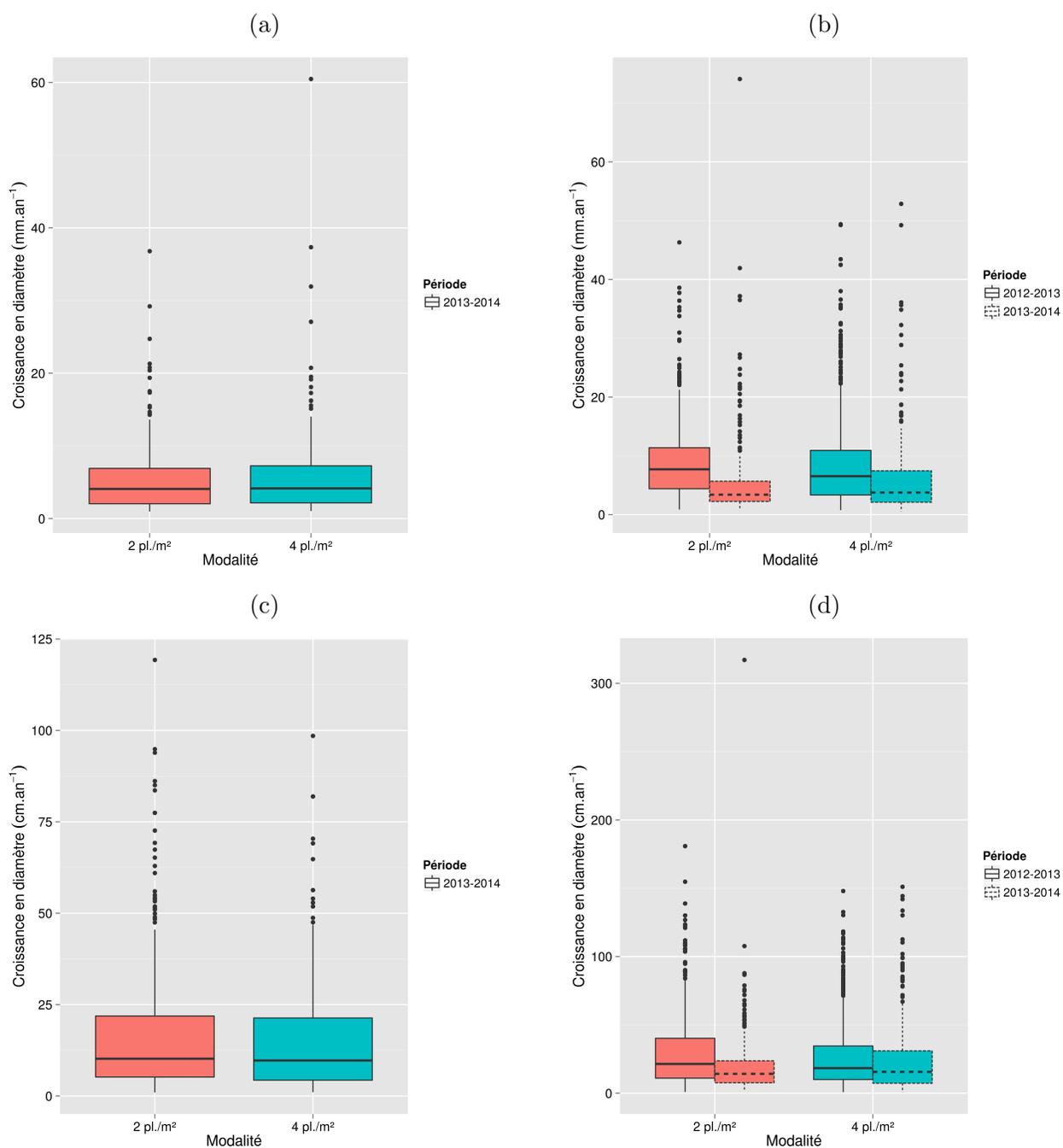


FIGURE A.13 – Haut (a et b) : croissance absolue en diamètre à la base (mm) pour les plantations en bandes (a, 2013) et en disques (b, 2012) ; bas (c et d) : croissance absolue en diamètre de couronne (cm) pour les plantations en bandes (c, 2013) et en disques (d, 2012).

A.6 Chronologie des travaux et bilan du suivi par zone

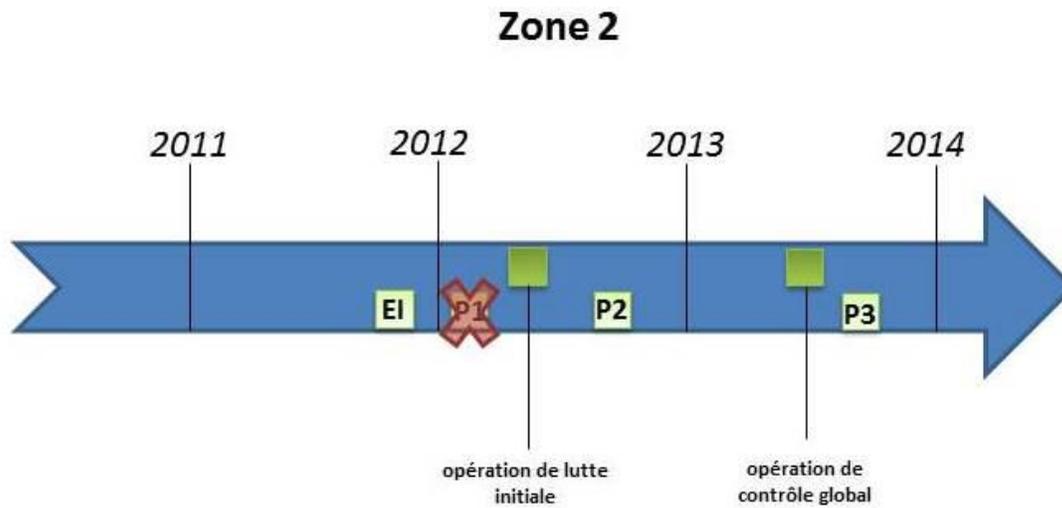


FIGURE A.14 – Chronologie des travaux et du suivi en zone 2.

TABLE A.12 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 2.

Zone 2		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	+++	Opération de lutte initial effectuée après le passage 1 du suivi (problème de planification)
Structure verticale	Déséquilibrée =	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	++	
	<i>Leuceana leucocephala</i> et <i>Litsea glutinosa</i>	
Régénération des ligneux indigènes	=	Présence d'andains dans les quadrats de suivi
Régénération ligneux EEEV	-	
Régénération non ligneux indigènes	=	
Régénération non ligneux EEEV	-	

Zone 4

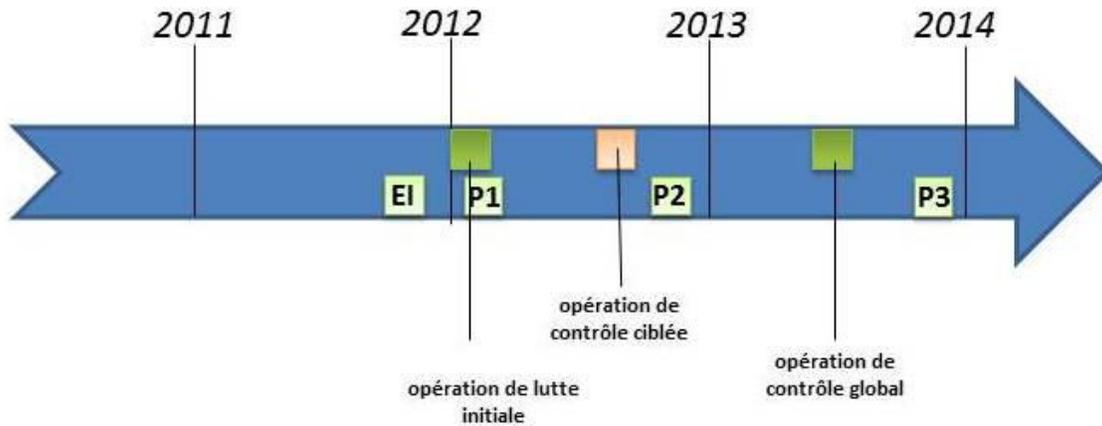


FIGURE A.15 – Chronologie des travaux et du suivi en zone 4.

TABLE A.13 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 4.

Zone 4		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	++	Présence d'andains dans les quadrats de suivi
Structure verticale	Déséquilibrée =	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	+	
	<i>Hiptage benghalensis</i>	
Régénération des ligneux indigènes	=	
Régénération ligneux EEEV	-	
	<i>Hiptage benghalensis</i>	
Régénération non ligneux indigènes	-	
Régénération non ligneux EEEV	++	

Zone 5

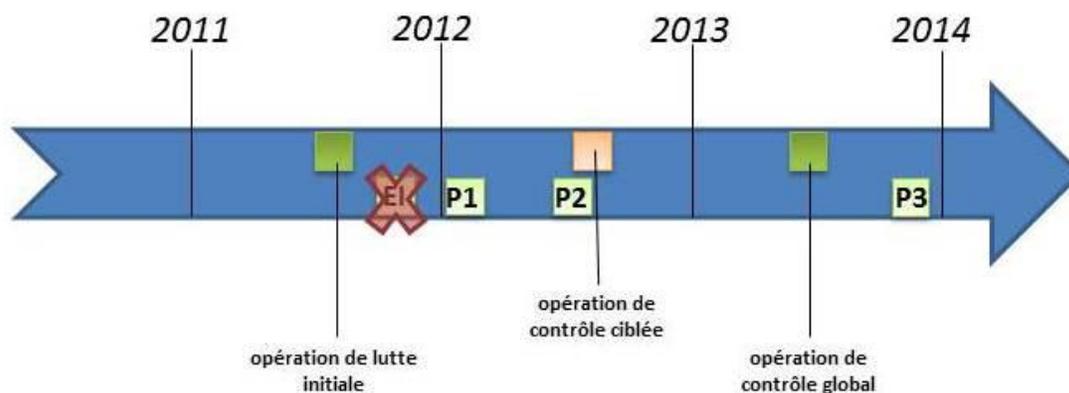
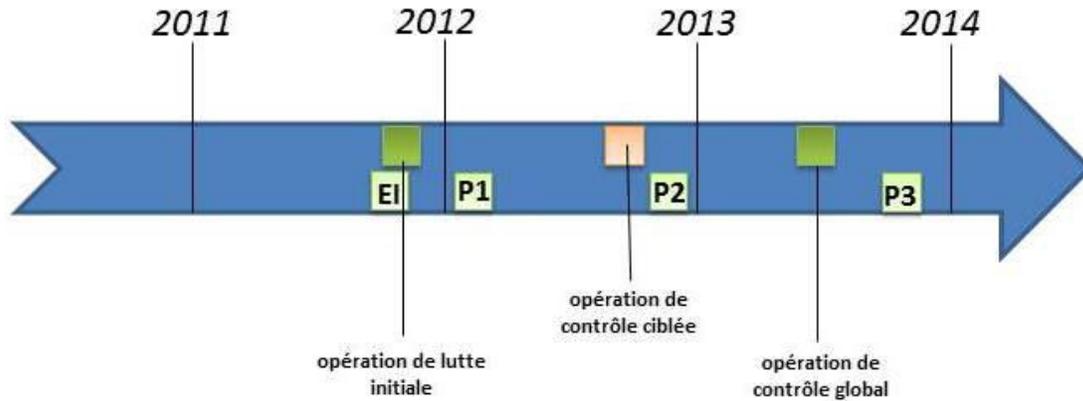


FIGURE A.16 – Chronologie des travaux et du suivi en zone 5.

TABLE A.14 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 5.

Zone 5		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	+++	L'état initial du suivi non effectué
Structure verticale	++	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	-	
Régénération des ligneux indigènes	=	
	<i>Securinega durissima,</i> <i>Erythroxyllum sideroxyloides,</i> <i>Eugenia buxifolia</i>	
Régénération ligneux EEEV	+	
Régénération non ligneux indigènes	=	
Régénération non ligneux EEEV	-	

Zone 6



Chronologie du suivi (Z6)]Chronologie des travaux et du suivi en zone 6.

TABLE A.15 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 6.

Zone 6		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	+++	Présence d'andains dans quadrats de suivi
Structure verticale	Equilibrée ++	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	+	
	<i>Rhus longipes</i>	
Régénération des ligneux indigènes	=	
	<i>Securinega durissima, Doratoxylon apetalum</i>	
Régénération ligneux EEEV	=	
Régénération non ligneux indigènes	=	
	<i>Nephrolepis biserrata, Phymatosorus scolopendria, Rhipsalis baccifera</i>	
Régénération non ligneux EEEV	-	
	<i>Furcrea foetida</i>	

Zone 7

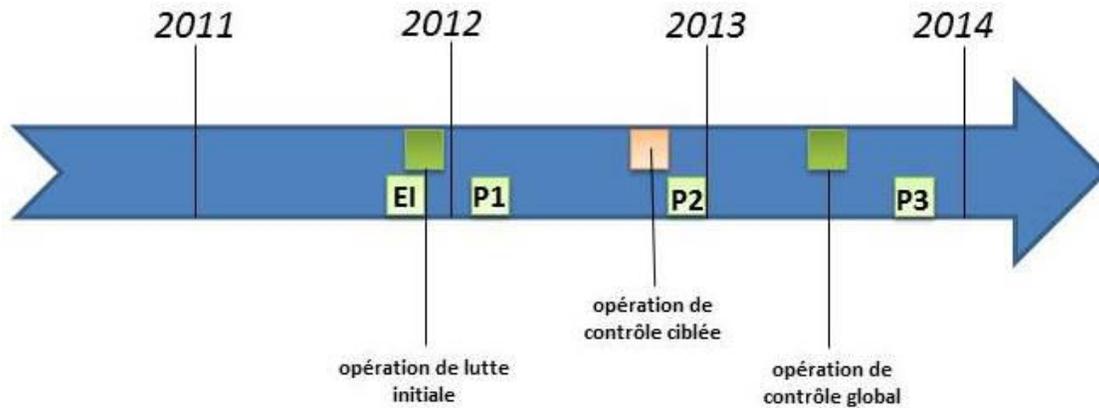


FIGURE A.17 – Chronologie des travaux et du suivi en zone 7.

TABLE A.16 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 7.

Zone 7		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	++	Aucun
Structure verticale	Déséquilibrée =	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	-	
Régénération des ligneux indigènes	=	
	<i>Securinega durissima,</i> <i>Erythroxylum sideroxyloides</i>	
Régénération ligneux EEEV	+	
	<i>Litsea glutinosa, Leuceanan leucocephala</i>	
Régénération non ligneux indigènes	=	
Régénération non ligneux EEEV	-	

Zone 10

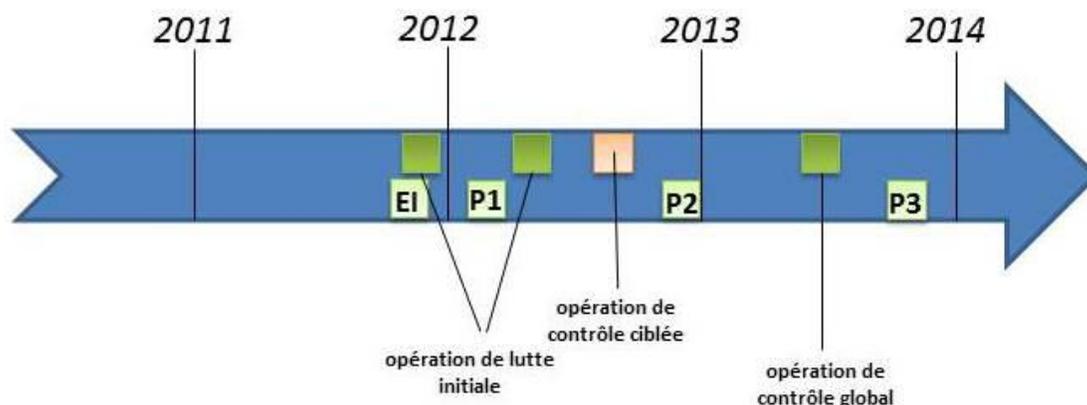


FIGURE A.18 – Chronologie des travaux et du suivi en zone 10.

TABLE A.17 – Bilan, évaluation et problèmes rencontrés lors du suivi des actions de restauration écologique en zone 10.

Zone 10		
<i>Bilan après travaux</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Problèmes rencontrés</i>
Effort de lutte	+	Fin des travaux de lutte initial en juin 2012.
Structure verticale	Déséquilibrée -, densité réduite	
Niveau d'invasion	-	
Rejets des EEEV	+	
	<i>Rhus longipes, Leuceana leucocephala, Hiptage benghalensis</i>	
Régénération des ligneux indigènes	-	
Régénération ligneux EEEV	-	
Régénération non ligneux indigènes	=	
Régénération non ligneux EEEV	-	

A.7 Espèces rares et zones de restauration

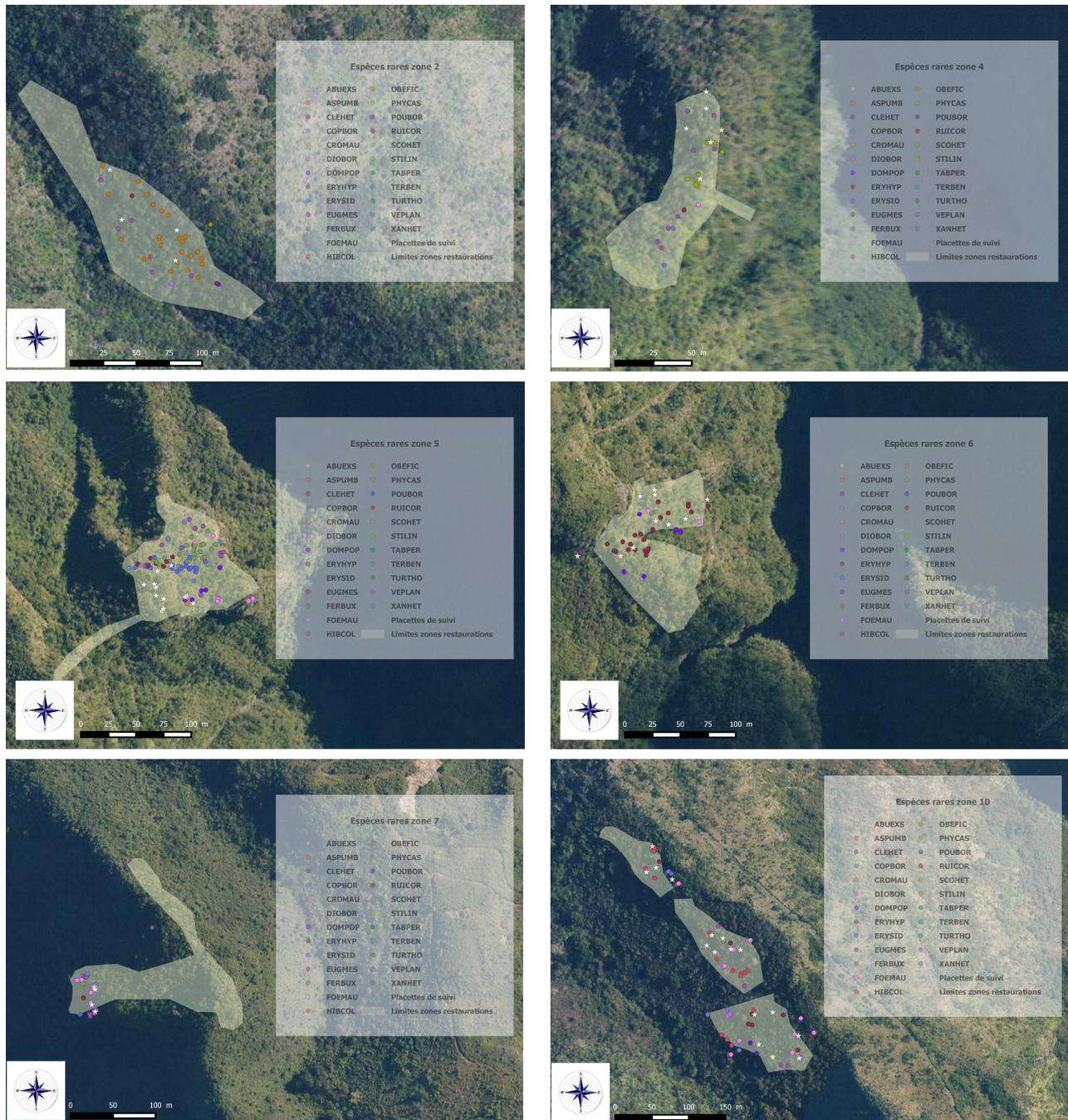


FIGURE A.19 – Cartographie des zones de restauration : les carrés orange représentent les quadrats de suivi 5 × 5 m, les points violet la localisation des espèces rares au sein des zones.

A.8 Pluie de graines

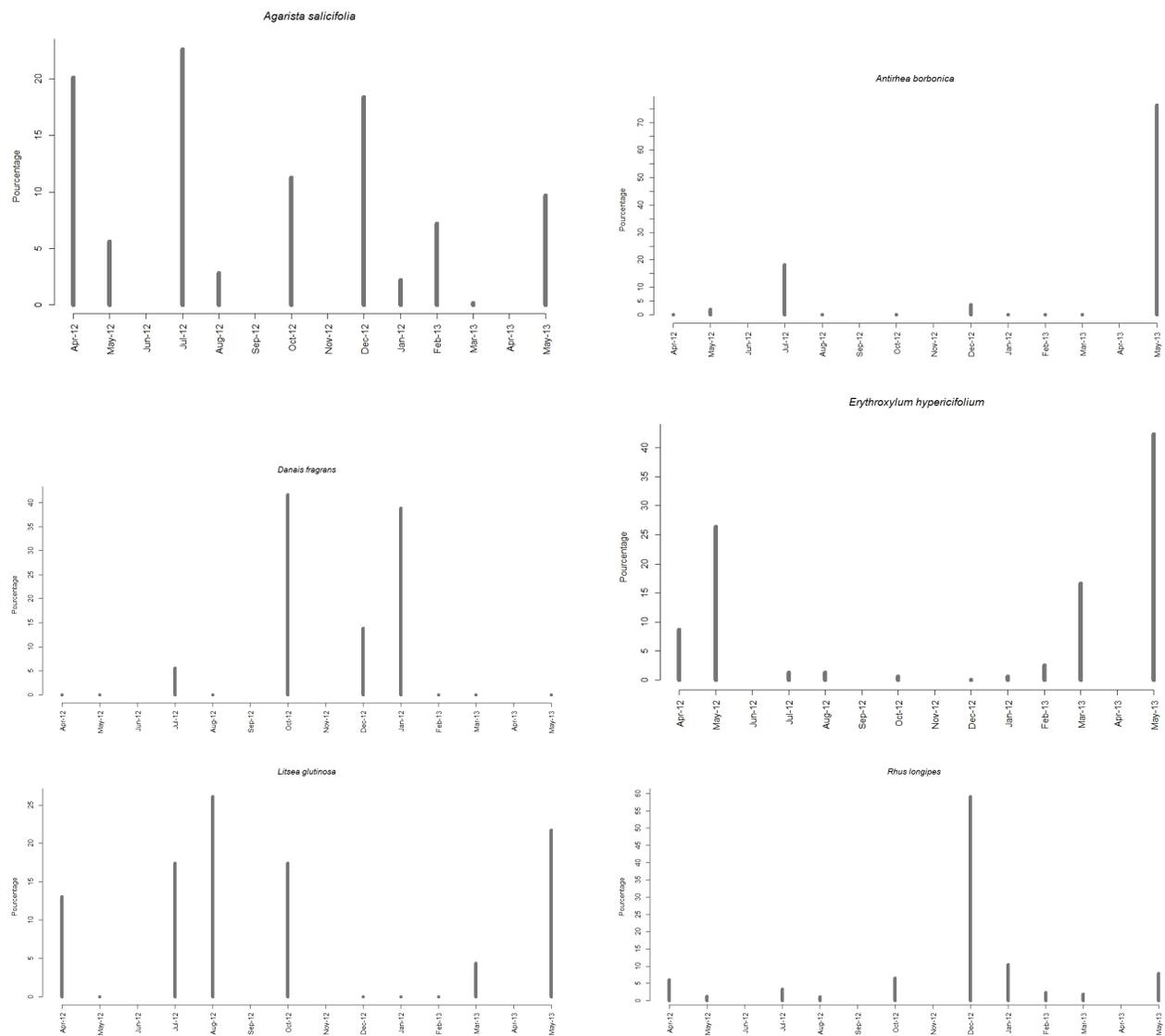


FIGURE A.20 – Phénologie de la dispersion des graines : pluie de graines observée au Cap Francis pour six espèces avec ≥ 10 graines récoltées sur la période d'étude.

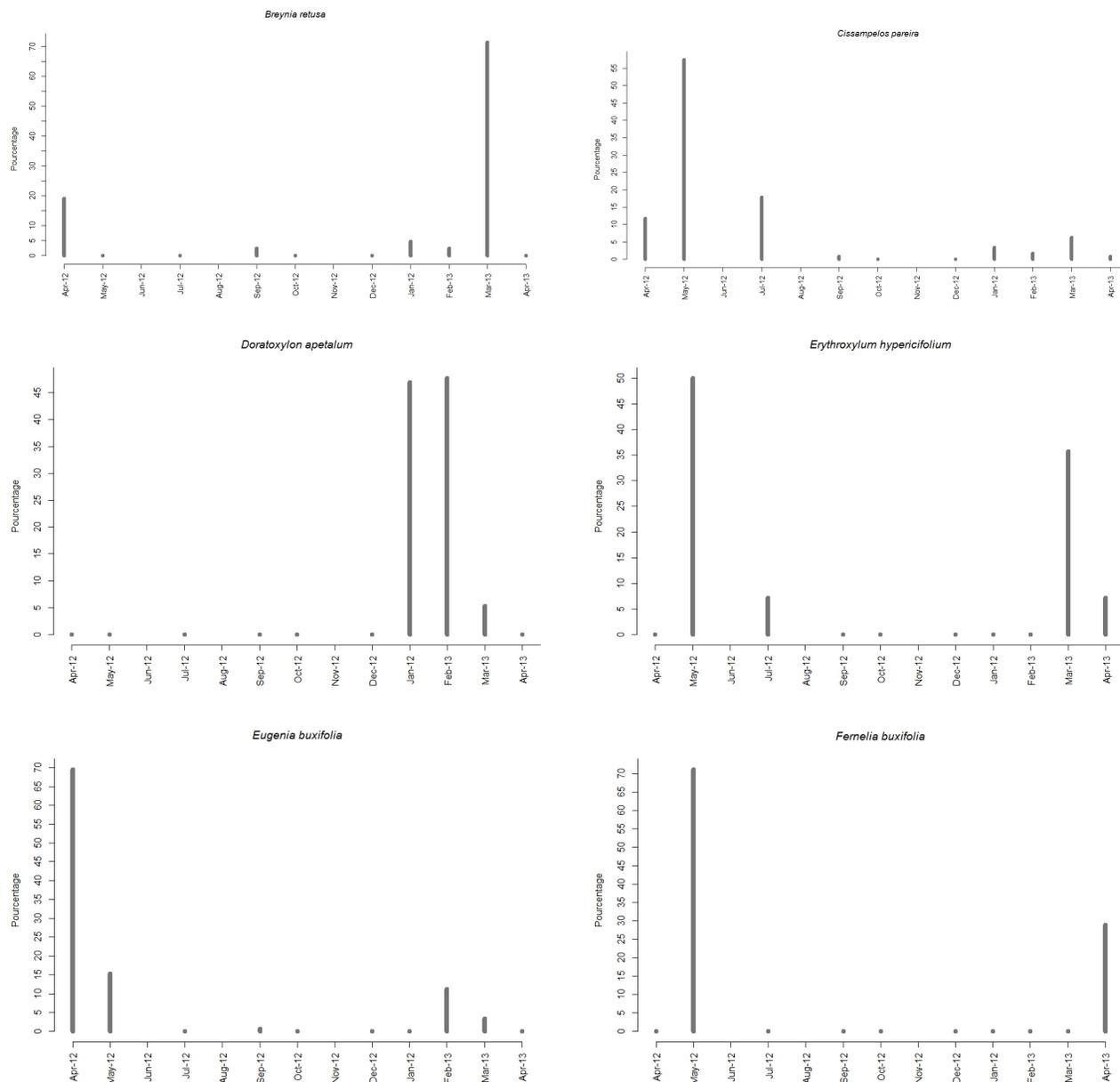


FIGURE A.21 – Phénologie de la dispersion des graines : pluie de graines observée en zone 10 pour six espèces avec ≥ 10 graines récoltées sur la période d'étude.

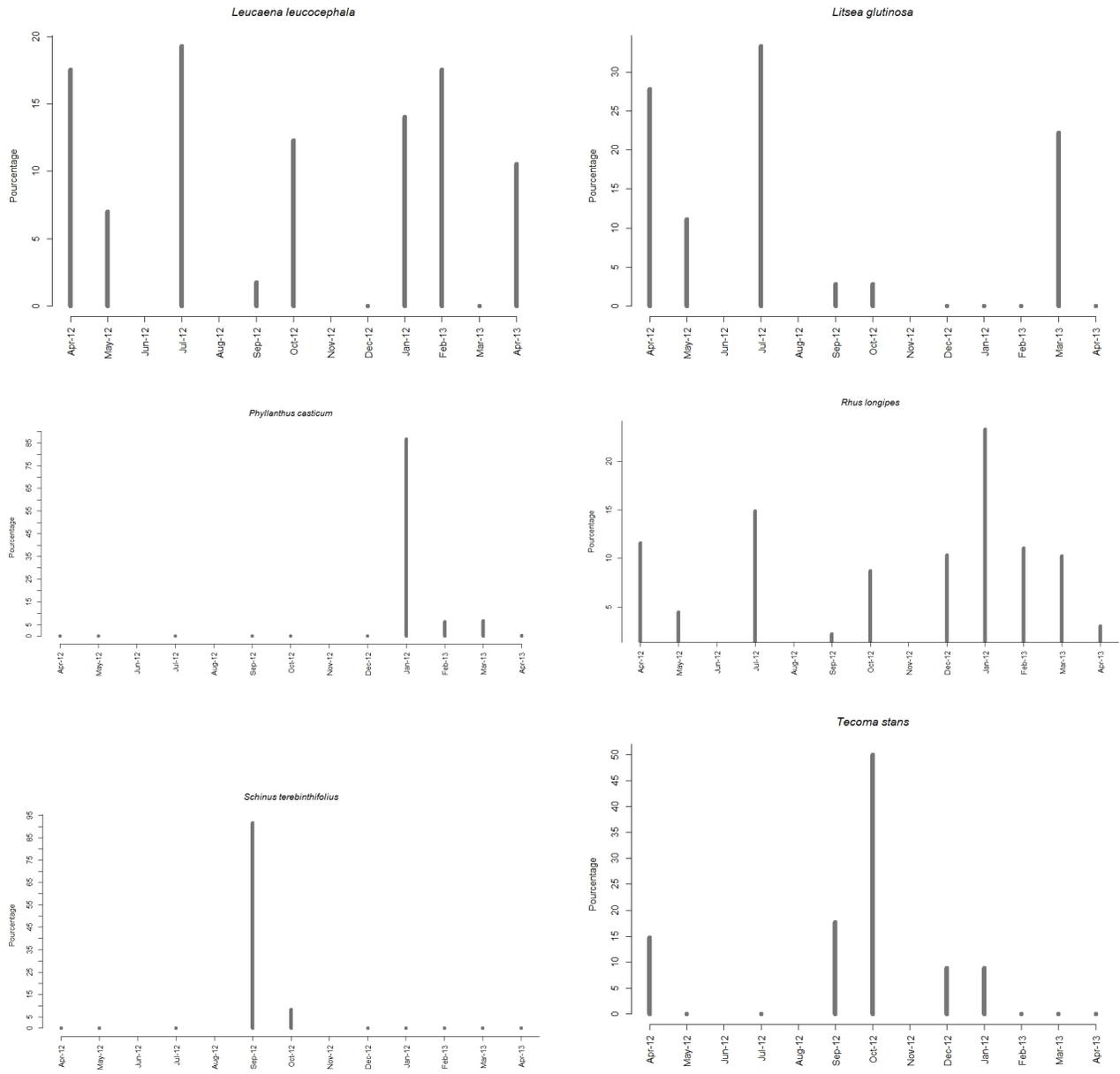


FIGURE A.22 – Phénologie de la pluie de graines observée en zone 10 (suite) pour six espèces avec ≥ 10 graines récoltées sur la période d'étude.

A.9 Métadonnées

Variables	Définitions
Variables communes	
z	Zone de restauration
q	Numéro de quadrat dans la zone de restauration
esp	Code taxon de l'individu
obs	Notes d'observations sur le terrain
date	Date du relevé
Relevé individuel 5*5 m Variables dynamique	
num	Numéro identifiant de l'individu ligneux dans le quadrat
x	Coordonnée X
y	Coordonnée Y
h	Hauteur individuelle
circ	Circonférence mesurée à 1,30 m du sol
Recouvrement (5 × 5 m)	
s01	Recouvrement ligneux et non-ligneux entre 0 et 1 m (%)
s02	Recouvrement ligneux et non-ligneux entre 1 et 2 m (%)
roc	Recouvrement en rochers dans le quadrat
Régénération (1 × 1 m)	
p	Position du mini-quadrat : bas gauche (BD), bas droite (BD), centre (C), haut gauche (HG), haut droite(HD)
S1	Effectifs des individus ligneux, ou recouvrement des espèces non-ligneuses entre 2 et 5 cm de hauteur (%)
S2	entre 5 et 10 cm de hauteur
S3	entre 10 et 40 cm de hauteur
S4	entre 40 et 100 cm de hauteur
rec	Recouvrement total dans le mini-quadrat

TABLE A.18 – Tableau récapitulatif des différentes informations et variables relevées lors du suivi pour le volet restauration.

Variables	Définitions
Variables communes	
sem	Semaine de plantation
id	Identifiant de la placette de plantation
esp	Code taxon de l'individu
obs	Observations de terrain
Suivi par espèce (large, modalités C, D et E)	
EPS X	Etat phytosanitaire de l'individu dans le quadrant X de la placette circulaire (NO : Nord-Ouest, NE : Nord-Est, SE : Sud-Est, SO : Sud-Ouest, cf. Figure 1.4, p. 21))
MRT X	Effectif des individus morts dans le quadrant X
Total X	Effectif total des individus dans le quadrant X
Suivi par espèce (large, modalités A, B et F)	
EPS Y	Etat phytosanitaire de l'individu dans la sous-placette Y, chaque placette rectangulaire étant divisée en quatre sous-placettes à partir du centre
MRT Y	Effectif des individus morts dans la sous-placette Y
Total Y	Effectif total des individus dans la sous-placette Y
Suivi individuel (fin), toutes modalités confondues	
p	Identifiant unique de la placette
q	Quadrant au sein de la placette (cf. Figure 1.4)
num	Numéro de l'individu suivi dans le quadrat
h	Hauteur de l'individu (en cm)
db	Diamètre à la base (en mm)
dc	Diamètre de la couronne (en cm)
EPS	Etat phyto-sanitaire
obs	Observations de terrain
date	Date du relevé
moda	Modalité de plantation

TABLE A.19 – Tableau récapitulatif des différentes variables explicatives et leurs définitions pour les suivi large et fin. La seule différence dans les informations relevées entre les volets de restauration et de reconstitution tient à la semaine de plantation, non pertinente dans le cas de la restauration.

A.10 Fiches de terrain

Fiche de terrain A4 : suivi fin zone de reconstitution

date :

Observateurs :

Parcelle	Quadrant	Num_Id	Espece	Hauteur	Diam_bas e	Diam_cou ronne	EPS	Observa- tions
E61	NO	1	RUICOR					
E61	NO	2	CLEHET					
E61	SO	3	INDAMM					
E61	NO	4	COSPIN					
E61	NO	5	DORAPE					
E61	SO	6	POUBOR					
E61	NE	7	TERBEN					
E61	SO	8	OBEFIC					
E61	NE	9	DOMACU					
E61	SO	10	DODVIS					
E61	NE	11	PHYCAS					
E61	NO	12	CROMAU					
E61	NO	13	FICRUB					
E61	NO	14	FERBUX					

Fiche de terrain A4 : Suivi large zone de reconstitution

date :

Observateurs :

Parcelle	Espece	EPS_NO	MRT_NO	Total_NO	EPS_NE	MRT_NE	Total_NE	EPS_SO	MRT_SO	Total_SO	EPS_SE	MRT_SE	Total_SE	Observation
E61	ABUEXS						1			1				
E61	CLEHET									1				
E61	COSPIN									1				
E61	CROMAU									3				
E61	DODVIS									4			7	
E61	DOMACU			1			5	2HE1		5			2	
E61	DORAPE			2						2				
E61	FERBUX			1			2			3			1	
E61	FICRUB			1			1			1			1	
E61	HIBCOL	FJ1HE1		1			1			1			2	
E61	INDAMM							FJ1		1				
E61	OBEFIC			1			1			1				
E61	PHYCAS			1			3	FJ1		4			2	
E61	POUBOR		1	1						1				
E61	POULAE			1						2			1	
E61	RUICOR									1				
E61	STILIN			1										
E61	TERBEN			1						3			2	

Fiche terrain A4 : Recouvrement

Date :

Observateurs:

Placette	Espèce	[2-5[[5-10[[10-40[[40-100[Recouvrement

Fihe terrain A4 : Ombrage

Date :

Equipe :

Parcelle :

GPS

X :

Y :

Bosquets/individu isolé	Distance	Hauteur	Largeur	Azimuth	Observation