



Rapport final

De la

Convention N° 2303 / MCE du 07 avril 2017

Entre

La Polynésie française

(via La Direction de l'Environnement)

Et

La Société d'Ornithologie de Polynésie « Manu » (SOP « Manu »)

Portant sur l'

**Étude de la petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata* à
Tahiti : dynamique dans le milieu naturel, impact écologique de
l'infestation comparé à l'impact écologique d'une lutte chimique**



Titre : Etude de la petite fourmi de feu *Wasmania auropunctata* à Tahiti : dynamique dans le milieu naturel, impact écologique de l'infestation comparé à l'impact écologique d'une lutte chimique

Auteurs :

Vaihiti Teaniniuraitemoana^a, Alice Bousseyroux^a, Timeri Darius^{ab}, Camille Soi Louk^{ab}, Josquin Michoud-Schmitt^a, Caroline Blanvillain^a, David Beaune^a & Thomas Ghestemme^a

^a*Société d'Ornithologie de Polynésie française, SOP Manu*

B.P. 7023, 98719 Taravao, Tahiti – Polynésie française

^b*Université de la Polynésie française*

Campus d'Outumaoro, Punaauia, B.P. 6570, 98702 Faa'a, Tahiti - Polynésie française

Financement :

DIREN – Direction de l'Environnement de Polynésie française.

B.P. 4562, 98713 Papeete, Tahiti – Polynésie française

Comment citer ce document :

Vaihiti Teaniniuraitemoana, Alice Bousseyroux, Timeri Darius, Camille Soi Louk, Josquin Michoud-Schmitt, Caroline Blanvillain, David Beaune & Thomas Ghestemme (2018) Etude de la petite fourmi de feu *Wasmania auropunctata* à Tahiti : dynamique dans le milieu naturel, impact écologique de l'infestation comparé à l'impact écologique d'une lutte chimique. Rapport final v1. SOP Manu, Taravao Tahiti. 76 pp.

Disponibilité des données de la recherche :

SOP Manu

Référence de l'illustration de couverture :

© Camille Soi Louk. Nid à découvert de *Wasmania auropunctata*. 16/05/2017

Date de publication :

31/05/2018

Version :

1.0.0

Langue(s) :

Français

Résumé

La petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata*, est l'une des espèces exotiques envahissantes les plus virulentes au monde à l'expansion pantropicale. Signalée officiellement à Mahina en 2004, la petite fourmi de feu (PFF) est classée « espèce menaçant la biodiversité » selon le code de l'environnement, parmi 13 autres espèces animales. Au-delà des menaces qu'elle représente pour la biodiversité, elle est reconnue comme problématique pour l'agriculture, le bien-être des populations et pour l'activité économique d'une manière générale. Les vastes opérations de lutttes chimique menées entre 2005 et 2009 à Mahina afin d'aboutir à l'éradication de cette peste se sont soldées par un échec, doublé du constat d'une dissémination importante en 2009 sur l'ensemble de l'île de Tahiti. Inscrit dans ce contexte précédent, l'objectif principal de cette étude a été d'apporter et d'approfondir les connaissances sur la PFF à Tahiti tant sur sa biologie et sa dynamique dans le milieu que sur ses impacts potentiels sur l'écosystème alors comparés à ceux d'une lutte chimique vers une éradication.

Mots clés

Wasmannia auropunctata, Hyménoptère, invasion biologique, impacts écologiques, conservation insulaire, biosécurité, lutte chimique, phénologie, reproduction, répartition verticale, Tahiti

Sommaire

Résumé	3
Sommaire	4
Liste des figures et tableaux	6
Introduction générale	11
1. Management de l'étude	11
2. Contexte général de l'étude	11
3. Objectifs et structuration de l'étude	11
Chapitre 1 La petite fourmi de feu (<i>Wasmania auropunctata</i>) : impacts écologiques en zone infestée dans le monde et risques en Polynésie*	13
1. Introduction	13
2. Biologie de l'espèce	14
3. Impacts écologiques	17
4. Impacts économiques	19
5. Impacts sanitaires	20
6. Conclusion.....	21
Chapitre 2 Impact écologique de la petite fourmi de feu (<i>Wasmannia auropunctata</i>) à Tahiti* ..	25
1. Introduction	26
2. Matériel & Méthode	26
3. Résultats	36
4. Discussion	43
5. Conclusion.....	46
Chapitre 3 Impact écologique des traitements chimiques liés à la lutte contre la petite fourmi de feu (<i>Wasmannia auropunctata</i>) à Tahiti*.....	48
1. Introduction	48
2. Matériel & Méthode	49
3. Résultats	52
4. Discussion	61
5. Conclusion.....	62
Chapitre 4 Phénologie de la reproduction et de la répartition verticale de la petite fourmi de feu (<i>Wasmannia auropunctata</i>) à Tahiti*	65
1. Introduction	65
2. Matériel & Méthode	67
3. Résultats	69

4. Discussion	72
5. Conclusion.....	73
Synthèse générale & Perspectives	75

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

Figure 1.1 Morphologie d'une ouvrière de l'espèce <i>W. auropunctata</i> . Détail de la tête (a) et vue de profil (b). (Gunawarda and Sarnat, 2007)	15
Figure 1.2 Morphologie des individus sexués de l'espèce <i>W. auropunctata</i> . Vues de profil d'une reine (a) et d'un mâle (b). (Gunawarda and Sarnat, 2007).....	15
Figure 2. 1 Localisation géographique des zones d'études sur l'île de Tahiti. Falaises FAL en rose, fougères FOU en jaune, forêt FOR en bleu.....	27
Figure 2. 3 Site d'étude xérophile de fougères (FOU). ©T. Darius.....	28
Figure 2. 4 Site d'étude de forêt humide (FOR). ©D. Beaune.....	28
Figure 2. 5 Site d'étude d'un canyon et de ses falaises (FAL). La forêt de Purau (visible ici), de tulipiers du Gabon et de Mara tapissant le fond de la vallée est bordée en rive gauche d'une falaise infestée par les PFF et en rive droite d'une falaise indemne ; plusieurs Monarques dont cette jeune femelle orange s'étaient établis sur ce site dans 3 territoires entre 2015 et 2016 ; seul un territoire était encore occupé pendant la saison 2016 ; il a été déserté au cours de la saison 2017. ©C. Blanvillain ..	28
Figure 2. 6 Beurre de cacahuètes (SKIPPY®) déposé sur une surface rocheuse et permettant de tester la présence (a) ou l'absence (b) de PFF. Les fourmis de la figure (b) nettement distinctes des PFF. ©T. Darius.....	29
Figure 2. 7 Un piège <i>Pitfall traps</i> . Au sol (a) et relevé (b). ©T. Darius	31
Figure 2. 8 Protocole d'échantillonnage de la faune terrestre (reptiles et invertébrés) en zone avec (1) et sans (0) petite fourmi de feu (PFF).....	31
Figure 2. 9 Disposition spatiale des <i>pitfall traps</i> sur les quatre sites d'études en forêt (FOR) et zones de fougères (FOU), avec (1) et sans (0) PFF. Le front de colonisation représenté par les fourmis progresse vers l'Est.....	32
Figure 2. 10 Piège nocturne en place en zone de fougères. ©T. Darius	32
Figure 2. 11 Disposition spatiale des draps sur les quatre sites d'études en forêt (FOR) et zones de fougères (FOU), avec (1) et sans (0) PFF. Le front de colonisation représenté par les fourmis progresse vers l'Est.....	33
Figure 2. 12 Protocole d'échantillonnage de l'avifaune en zone avec (1) et sans (0) petite fourmi de feu (PFF).....	34
Figure 2. 13 Carte 3D des zones d'études de la PFF. En rouge la localisation des sites 'FAL' d'échantillonnage de l'avifaune à Punauuia, Tahiti. ©G. Peels.....	34

- Figure 2. 14 Abondance moyenne par piège à invertébrés dans les zones xérophiles à fougères (Fou) et de forêt humide (For) avec petite fourmi de feu (1) et sans (0) à Punauuia (Tahiti). Les barres de droites pour Fou1 et For1 'sans' indiquent que les PFF sont exclues du calcul. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$). 36
- Figure 2. 15 Diversité moyenne par piège à invertébrés dans les zones xérophiles à fougères (Fou) et de forêt humide (For) avec petite fourmi de feu (1) et sans PFF (0) à Punauuia (Tahiti). Les barres de droites pour Fou1 et For1 'sans' indiquent que les PFF sont exclues du calcul. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$). 37
- Figure 2. 16 Courbes de richesse cumulée en milieux de forêt humide (bleu) et en milieu xérophile à fougères (jaune) à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs. 38
- Figure 2. 17 Courbes de richesse cumulée en milieu de forêt humide à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs. 38
- Figure 2. 18 Courbes de richesse cumulée en milieu xérophile à fougères à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs. 39
- Figure 2. 19 Centroïdes bidimensionnels des communautés avec et sans PFF, basés sur les pièges à insectes en zone de forêt (gauche) et de fougères (droite) à Punauuia, Tahiti. 40
- Figure 2. 20 Le collembole *Sinella sp* a été détecté en zone forestière humide uniquement lorsque la PFF est absente. ©M. Budde 41
- Figure 2. 21 *Emoia cyanura* est un reptile trouvé en zone forestière non infestée par les PFF. ©PL Stenger..... 42
- Figure 2. 22 Probabilités de rencontre de l'avifaune pour 30 minutes d'observation dans le canyon de Maruapo, sur rive avec (1) et sans PFF (0). Les diminutifs des espèces désignent, de gauche à droite : la Géopélie striée (*Geopelia striata*), le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*), le Ptilope de la Société (*Ptilinopus purpuratus*), le Bulbul à ventre rouge (*Picnonotus cafer*) et le Zostérops (*Zostérops lateralis*). 42
- Figure 3. 1 Calendrier d'échantillonnage et de traitement chimique en zone xérophile de fougères et de forêt humide (FOU et FOR) (a), et en zone de falaise (FAL) (b)..... 50
- Figure 3. 3 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$). 53
- Figure 3. 4 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$). 53

Figure 3. 5 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).	54
Figure 3. 6 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).	55
Figure 3. 7 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères (Fou) et la zone de forêt humide (For) initialement indemnes de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).	56
Figure 3. 8 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères (Fou) et la zone de forêt humide (For) initialement indemnes de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).	56
Figure 3. 9 Courbes de richesses cumulées dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF (FOR.1) à Punaauia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).	58
Figure 3. 10 Courbes de richesses cumulées dans la zone de forêt humide initialement indemne de PFF (FOR.0) à Punaauia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).	58
Figure 3. 11 Courbes de richesses cumulées dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF (FOU.1) à Punaauia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).	59
Figure 3. 12 Courbes de richesses cumulées dans la zone xérophile de fougères initialement indemne de PFF (FOU.0) à Punaauia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).	59
Figure 4. 1 Sites d'études : une zone sauvage de forêt humide non-urbanisée située dans la commune de Punaauia et une zone urbanisée située dans la commune de Arue.	67
Figure 4. 2 Distinction entre larves ouvrières et sexuées au sein d'un nid de PFF à Arue. ©C. Soi Louk	68
Figure 4. 3 Distinction entre jeune individu sexué ailé et une reine non ailée. ©C. Soi Louk	68
Figure 4. 4 Suivi des nids et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone sauvage de forêt humide sur Punaauia. * indique une corrélation significative selon un modèle de régression linéaire ($\alpha = 0.05$).	70

Figure 4. 5 Suivi des nids et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone urbanisée sur Arue. 71

Figure 4. 6 Suivi de la présence de colonies en canopée et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone sauvage de forêt humide sur Punaauia. 71

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 Les différents sites d'études 27

Tableau 2. 3 Comparaison des indices de Shannon-Weaver et de Simpson. 35

Tableau 2. 4 Indices de Shannon et de Simpson pour les deux milieux étudiés à Punaauia, en absence (0) ou présence (1) de PFF. Les indices avec une plus forte biodiversité relative sont en vert..... 37

Tableau 2. 5 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les 30+28 pièges à insectes dans les zones de forêt avec (FOR.1) et sans PFF (FOR.0) à Punaauia (Tahiti). 39

Tableau 2. 6 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les 30+30 pièges à insectes dans les zones de fougères avec (FOU.1) et sans PFF (FOU.0) à Punaauia (Tahiti)..... 39

Tableau 2. 7 Groupes fonctionnels et nombres d'espèces présentes en zones de forêt avec et sans PFF en mai 2017. 40

Tableau 2. 8 Groupes fonctionnels et nombres d'espèces présentes en zones de fougères avec et sans PFF en mai 2017..... 41

Tableau 2. 9 Insectes volants comptabilisés sur les pièges nocturnes en milieu de forêt (FOR) et de fougères (FOU), avec PFF (1) ou sans (0). 41

Tableau 2. 10 Données d'observation de l'avifaune sur les sites avec (FAL.1) et sans PFF (FAL.0). Nombre d'individus répertoriés, pourcentage d'occurrence dans la zone non infestée avec son intervalle de confiance à 95% et résultats du test binomial exact (différence significative par rapport à une répartition équilibrée lorsque p -value<0,05). 43

Tableau 3. 1 Indices de Shannon et de Simpson pour les zones de forêt et de fougères initialement infestée de PFF (1) ou non (0), étudiées au cours des traitements (mai : état initial ; juillet : après une application chimique ; novembre : après deux applications). Les indices avec une plus forte biodiversité relative sont en vert..... 57

Tableau 3. 3 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les

pièges à insectes dans les zones de forêt humide initialement infestée de PFF (FOR.1) ou non (FOR.0) à différents stades de traitement, à Punauuia (Tahiti). 60

Tableau 3. 4 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les pièges à insectes dans les zones xérophile de fougères initialement infestée de PFF (FOU.1) ou non (FOU.0) à différents stades de traitement, à Punauuia (Tahiti). 60

Tableau 3. 5 Données d'observation de l'avifaune sur le site FAL.0 non infesté initialement en pourcentage d'occurrence avec son intervalle de confiance à 95% et résultat du test binomial exact (différence significative par rapport à une répartition équilibrée lorsque $p\text{-value} < 0,05$), à l'état initial en juin puis en janvier après 3 traitements. 61

Introduction générale

1. Management de l'étude

Les travaux de cette étude ont été menés par la Société d'Ornithologie de Polynésie « Manu » (SOP Manu, www.manu.pf) et ont débuté le 1^{er} Avril 2017 pour une durée d'un an avec une prolongation d'un mois jusqu'au 31 Mai 2018.

A la SOP Manu, ces travaux s'intègrent au sein des actions menées par l'association dans le cadre de la protection et la conservation du Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*), espèce d'oiseau endémique de Tahiti et actuellement en danger critique d'extinction (CR, IUCN). Le fonctionnement de cette étude a été entièrement financé par le Pays via la Direction de l'environnement de Polynésie française (DIREN) au travers de la Convention N°2303 / MCE du 07/04/2017.

Les travaux de cette étude ont été réalisés sur plusieurs sites: au sein du bureau technique de la SOP Manu situé à Toahotu ; et sur le terrain dans la commune de Punaauia au niveau de la vallée de Maruapo (vallée à Monarques) qui est classée zone clé de biodiversité (ZCB) et ses alentours ; mais aussi dans la commune d'Arue au niveau du lotissement Erima qui est une zone urbanisée.

2. Contexte général de l'étude

Signalée officiellement à Mahina en 2004, la petite fourmi de feu (PFF) est classée « espèce menaçant la biodiversité » selon le code de l'environnement, parmi 13 autres espèces animales. Au-delà des menaces qu'elle représente pour la biodiversité, elle est reconnue comme problématique pour l'agriculture, le bien-être des populations et pour l'activité économique d'une manière générale.

Les vastes opérations de lutttes chimique menées entre 2005 et 2009 à Mahina afin d'aboutir à l'éradication de cette peste se sont soldées par un échec, doublé du constat d'une dissémination importante en 2009 sur l'ensemble de l'île de Tahiti. Les traitements pesticides à grande échelle ont alors été définitivement interrompus en 2010. Sa propagation se poursuit sur Tahiti mais aussi progressivement sur les autres îles de la Polynésie française notamment à Moorea (détectée en 2011) puis à Rurutu (détectée en 2014) et enfin tout dernièrement à Raiatea et Bora Bora (2016). En 2013, une nouvelle méthode de lutte chimique, préconisée par nos confrères Hawaïens qui subissent actuellement la même invasion, a été testée, et ce notamment sur les colonies de Paea où les dernières populations du Monarque de Tahiti, *Pomarea nigra* (espèce endémique en voie critique d'extinction), subsistent. Au regard des incertitudes sur l'évolution de la situation sur cette zone et afin d'optimiser les actions futures, il est nécessaire d'étudier la dynamique de la PFF tout en évaluant autant que possible les impacts écologiques de l'infestation en comparaison à ceux de la lutte chimique.

3. Objectifs et structuration de l'étude

Inscrit dans le contexte précédent, l'objectif principal de cette étude est d'apporter et d'approfondir les connaissances sur la PFF à Tahiti tant sur sa biologie et sa dynamique dans le milieu que sur ses impacts potentiels sur l'écosystème. L'ensemble de ce travail s'intègre dans une problématique de lutte contre la PFF en Polynésie. Ainsi d'un point de vue appliqué les résultats de cette étude devraient permettre de proposer des perspectives quant à la maîtrise et/ou l'éradication de la PFF au niveau des ZCB et plus largement au niveau de toutes les zones qu'elle infeste.

De ce fait, plus en détail, les travaux de cette étude ont été mis en place dans le but de répondre aux questions suivantes :

- (1) Quel est l'impact de la PFF sur les communautés animales ?
- (2) Quel est l'impact du traitement chimique de la PFF (bénéfices et coût écologique) ?
- (3) Quelle est la phénologie (reproduction et répartition verticale) de la PFF en zone infestée ?

Afin de répondre à ces interrogations, ce rapport final s'organise en 4 chapitres qui abordent chacun un objectif spécifique. Ces chapitres sont présentés sous forme de rapport technique de la SOP Manu pouvant se lire indépendamment et faisant l'objet de publications (publiée, soumise ou en préparation).

Le Chapitre 1 propose une synthèse bibliographique permettant de présenter la PFF, sa biologie générale et ses impacts en zone infestée dans le monde en abordant les risques potentiels en Polynésie française. Ce chapitre est publié dans le *Bulletin de la Société des Etudes Océaniques* (344).

Le Chapitre 2 présente l'étude réalisée sur les impacts écologiques de la PFF à Tahiti et notamment sur les communautés animales. La publication dont fait l'objet ce chapitre a été soumise au journal *Pacific Conservation Biology*.

Le Chapitre 3 aborde quant à lui l'effet du traitement chimique lié à la lutte contre la PFF, de l'impact direct à l'impact indirect sur les communautés de fin de chaîne et notamment les oiseaux. Les résultats de ce chapitre constituent une publication qui est en cours de préparation.

Le Chapitre 4 traite de l'aspect phénologique de la reproduction et de la répartition spatiale et plus particulièrement de la répartition verticale de la PFF à Tahiti permettant ainsi de mieux comprendre sa dynamique dans le milieu qu'elle infeste. Les travaux de ce dernier chapitre feront aussi le sujet d'une publication qui sera bientôt en cours de rédaction.

Enfin, la Synthèse générale dresse le bilan de l'étude réalisée en proposant des perspectives dans le cadre de la problématique de lutte contre la PFF.

Chapitre 1 La petite fourmi de feu (*Wasmania auropunctata*) : impacts écologiques en zone infestée dans le monde et risques en Polynésie*

Alice Bousseyrroux^a, Caroline Blanvillain^a & David Beaune^a

Bulletin de la Société des Etudes Océaniques (2018) 344

^aSociété d'Ornithologie de Polynésie française, SOP Manu

B.P. 7023, 98719 Taravao, Tahiti – Polynésie française

**Rapport de synthèse (09/2017) : Alice Bousseyrroux, Caroline Blanvillain, David Beaune (2017) La petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) : impacts écologiques dans le monde et risques en Polynésie. Synthèse bibliographique. SOP Manu, Taravao Tahiti. 18 pp.*

Résumé

La petite fourmi de feu est l'une des espèces exotiques envahissantes les plus virulentes au monde. Cet insecte social, qui forme des mégacolnies polygynes, conquiert les milieux tropicaux du globe et rien ne semble pouvoir l'arrêter. Cette petite fourmi à la piqûre très douloureuse est probablement arrivée à Tahiti dans les années 1990. Cette synthèse présente les principaux résultats des effets de cette fourmi américaine dans différents pays où elle a été étudiée. Globalement, les impacts écologiques, sanitaires, agricoles et économiques sont négatifs. La réponse des écosystèmes à l'invasion peut être différente, mais les effets à Tahiti et en Polynésie risquent d'être similairement négatifs.

Mots clés

Wasmannia auropunctata, biosécurité, conservation, espèce exotique envahissante, invasion biologique, Tahiti

1. Introduction

Aujourd'hui plus que jamais, les écosystèmes sont soumis à des perturbations brutales qui menacent la biosphère à tel point que nous parlons désormais d'annihilation biologique (Ceballos et al., 2017). L'Homme modifie si profondément les équilibres écologiques que nous vivons la sixième crise d'extinction de l'histoire de notre planète (Leakey and Lewin, 1996). Cinq facteurs sont à l'origine de cette situation : la destruction des habitats, la pollution, la surexploitation, les changements climatiques et les invasions biologiques. Chaque année, de nouvelles espèces sont introduites volontairement ou involontairement sur des territoires d'où elles ne sont pas originaires : elles peuvent alors s'y reproduire sans intervention de l'Homme, se développant aux dépens de la biodiversité locale et formant des populations pérennes qui entrent en compétition avec les espèces autochtones. Les répercussions d'un tel phénomène ne se limitent pas à la diversité biologique ; elles peuvent aussi s'étendre aux activités humaines. Une espèce remplissant ces trois conditions d'introduction, d'envahissement et de perturbation dans un milieu donné est qualifiée d'invasive (Pascal et al., 2003). L'UICN élargit la définition d'espèce invasive aux espèces exotiques envahissantes ayant des conséquences écologiques et socio-économiques dans un environnement donné.

Les écosystèmes îliens sont particulièrement sensibles aux invasions biologiques (Clout and Veitch, 2002) du fait de leur isolement et parce qu'ils se sont développés à l'écart d'une diversité de prédateurs, de pathologies et de parasites continentaux. Les espèces endémiques y ont évolué sans défenses coûteuses et jusqu'alors inutiles contre des compétiteurs absents : elles sont souvent qualifiées de 'naïves' face aux espèces exotiques (McLean et al., 1999 ; Milberg and Tyrberg, 1993). Ces écosystèmes, souvent relativement peu diversifiés mais riches en endémisme, ont donc un équilibre très fragile.

En Polynésie française, la faune et la flore exotique envahissante constituent la principale cause d'érosion de la biodiversité. Les mammifères introduits sont les plus connus, mais les insectes font aussi partie des passagers clandestins transportés grâce aux activités humaines. Les fourmis (Hymenoptera : Formicidae) sont particulièrement bien adaptées pour se disséminer via de petits volumes de sol ou de matériel agricole. La petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1813), d'origine sud-américaine, connaît depuis quelques décennies une dissémination pantropicale (Le Breton et al., 2003), et compte parmi les 100 pires espèces exotiques envahissantes au monde (Lowe et al., 2000). Officiellement présente à Tahiti depuis 2004 (<http://www.environnement.pf/lapetite-fourmi-de-feu>), mais probablement arrivé dans les années 1990 (Depierre comm. pers.), elle semble y être une réelle menace pour la biodiversité, par exemple une espèce d'oiseau insulaire endémique, le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*) (Blanvillain et al., 2016).

Des recherches en Nouvelle-Calédonie, à Hawaï, aux Galapagos ou encore au Gabon, permettent de broser un portrait de la petite fourmi de feu et de ses répercussions diverses sur les milieux colonisés. Les conséquences y sont globalement négatives. Après une présentation de la biologie tout à fait originale de l'espèce (2), nous présenterons les effets de cette fourmi sur l'écologie (3), l'économie (4) et la santé (5) dans les territoires qui ont été étudiés afin d'avoir un aperçu des risques encourus en Océanie et des besoins de recherche. Ces impacts semblent être milieu-dépendants, et seuls des travaux dans ces milieux permettent des affirmations pertinentes. Néanmoins, les exemples dans le monde permettent d'anticiper les scénarii en Polynésie.

2. Biologie de l'espèce

2.1. Biologie, comportement et sociabilité hors du commun

Présentation

La petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) ; Hyménoptères, Formicidae, Myrmicinae) est un insecte originaire d'Amérique centrale et du Sud (Wetterer and Porter, 2003 ; Wetterer, 2013).

Ses ouvrières présentent toutes la même morphologie : de couleur brun-orangé, elles sont reconnaissables à leur petite taille d'environ 1,2 mm de long. Elles ont également un petit nombre de poils dressés sur le corps, deux segments entre l'abdomen et le thorax, deux épines propodéales situées sur le thorax et divergeant autour du pétiole, et enfin des antennes de 11 segments, les deux derniers étant très dilatés (Figure 1.1) (Gunawardana and Sarnat, 2007).

Les individus sexués sont facilement reconnaissables au sein des colonies : munis d'ailes au début de leur vie, ils les perdent ensuite. D'autre part, ils sont plus foncés que les ouvrières, et mesurent environ 4,5 mm de longueur (Figure 1.2) (Gunawardana and Sarnat, 2007). Les reines présentent 11 segments antennaires tandis que les mâles en comptent 13 (Chazeau et al., 2002).

Les ouvrières vivent environ 45 jours, les mâles quelques jours à quelques semaines et les reines, environ 14 mois (Chazeau et al., 2002).

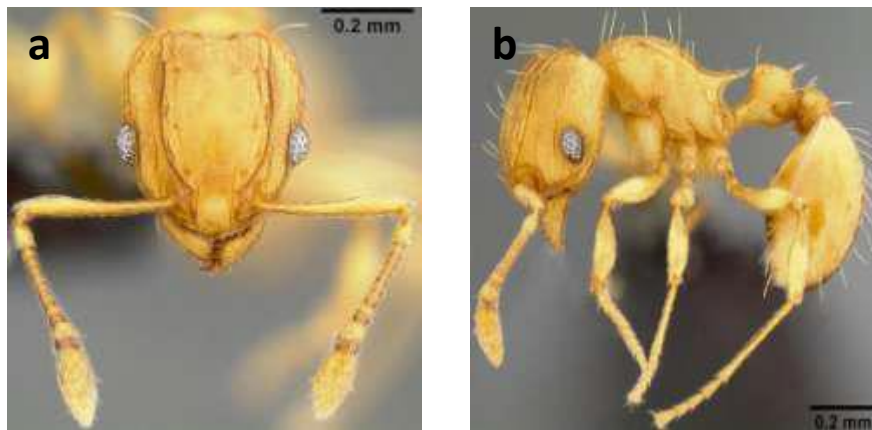


Figure 1.1 Morphologie d'une ouvrière de l'espèce *W. auropunctata*. Détail de la tête (a) et vue de profil (b). (Gunawarda and Sarnat, 2007)

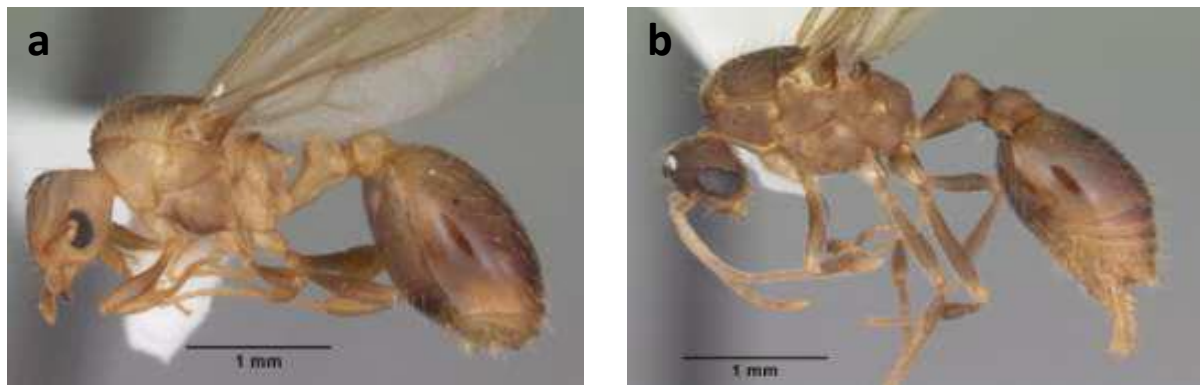


Figure 1.2 Morphologie des individus sexués de l'espèce *W. auropunctata*. Vues de profil d'une reine (a) et d'un mâle (b). (Gunawarda and Sarnat, 2007)

Comportement

Sur le terrain, les individus non sexués se déplacent très lentement en files pouvant mesurer plusieurs mètres entre les nids et les sources de nourriture (Meier, 1994 ; Deyrup et al., 2000). *W. auropunctata* est opportuniste et polyphage : elle mange des invertébrés, des graines, des matières sucrées (Torres, 1984), et jusqu'à 60% de miellat d'homoptères (Lubin, 1984 ; Clark et al., 1982). Pour cela, elle est capable de déplacer et d'établir des populations de cochenilles dans des plantations de cacao (Delabie et al., 1994). Lorsqu'une source importante de nourriture est trouvée, de nombreux individus peuvent être recrutés, sans que les conditions climatiques ou la saisonnalité ne perturbent l'activité de l'espèce. Sur son territoire d'origine, la petite fourmi de feu ne défend pas son territoire, mais peut s'organiser pour défendre une ressource alimentaire proche du nid (Torres, 1984).

Les nids de *W. auropunctata* sont interconnectés en réseau, peu structurés et installés dans tous types de substrat : sous les feuilles, les pierres, dans les sols ou des creux de branches, etc. (Deyrup et al., 2000 ; Clark et al., 1982), dans des milieux divers plus ou moins perturbés. Ces nids peuvent être facilement déplacés si la colonie a été perturbée (Ulloa-Chacon, 1990), et peuvent être fusionnés ou divisés avec échange de couvain, ouvrières et reines (Ulloa-Chacon and Cherix, 1989).

Les reines, qui pondent jusqu'à leurs derniers jours de vie, peuvent être très nombreuses dans les nids, jusqu'à plusieurs dizaines d'individus par mètre carré de sol (Ulloa-Chacon and Cherix,

1989 ; Ulloa-Chacon, 1990). La densité de fourmis est souvent plus élevée dans les zones envahies et peut atteindre 5000 individus/m² (Lubin, 1984).

2.2. Une reproduction extraordinaire

Individus sexués

Les petites fourmis de feu sont polygynes ou monogynes, c'est-à-dire qu'une colonie comporte une ou plusieurs reines fécondes (Wetterer and Porter, 2003). Étudiées dans leur milieu d'origine – dans l'hémisphère sud, au Brésil –, les reines produisent des individus sexués quasiment toute l'année : des femelles de janvier à octobre ou novembre, et des mâles de janvier à juin (Ulloa-Chacon, 1990). En zone infestée néo-calédonienne, cette production semble être influencée par les conditions microclimatiques et s'étaler sur les 8 mois les plus chauds de l'année, soit de septembre à avril (Chazeau et al., 2002).

L'apparition de nouveaux sexués dans la colonie serait inhibée par les femelles fonctionnelles. Par contre, lorsque les reines sont peu nombreuses ou âgées, la production d'oeufs est faible dans la colonie : pour la survie des communautés, des larves de sexuées sont alors élevées, le troisième stade larvaire déterminant la caste (reine ou ouvrière) de l'individu (Ulloa-Chacon, 1990). Il ne semble pas y avoir de vol nuptial massif entre mâles et femelles ailés au sein des territoires néocalédoniens envahis, contrairement au Brésil (Jourdan, 1999). Il peut donc s'agir d'une stratégie adaptative favorable aux invasions dans les territoires nouvellement occupés, puisque la suppression de ce vol peut permettre aux individus ailés de ne pas s'exposer à certaines menaces « hors sol » (prédation, intempéries, etc.).

Reproduction sexuée et asexuée

Alors que les autres espèces de fourmis produisent deux types d'oeufs, l'un fécondé diploïde qui donne des reines ou des ouvrières, et l'autre haploïde non fécondé qui donne des mâles, la petite fourmi de feu perpétue l'espèce de manière atypique.

Les ouvrières ne se reproduisant pas, les mâles transmettent habituellement leurs gènes uniquement grâce à la production de reines. Or, les femelles reproductrices de *W. auropunctata* utilisent la parthénogenèse ou reproduction clonale à partir de gamètes femelles non fécondés pour produire de nouvelles reines. Le génome des mâles n'est donc plus perpétué via ce mode de reproduction. Pour pallier à ce problème, les mâles fécondent des oeufs en y éliminant le génome maternel, ce qui conduit la reine à produire des mâles issus uniquement du génome paternel. Ce système de reproduction unique a notamment été décrit à partir de populations implantées en Nouvelle-Calédonie depuis une quarantaine d'années : les mâles sont des clones de leur père, les reines des clones de leur mère et les ouvrières résultent d'une reproduction sexuée classique (Foucaud et al., 2006).

Les mâles ont évolué afin de répondre à la stratégie adaptative des reines, ce qui conduit les deux sexes à agir comme deux espèces distinctes, constituant ainsi un modèle sexuel extraordinaire.

2.3. Une espèce exotique envahissante (EEE) très invasive

Pour qu'une colonisation puisse avoir lieu sur un nouveau territoire, il suffit qu'une seule reine y soit amenée, déjà inséminée ou accompagnée d'un mâle et éventuellement, d'ouvrières. Or, compte tenu de leur petite taille, il est très facile de les transporter dans des pots de fleurs (endroits humides appréciés de *W. auropunctata*), du matériel agricole, des valises, etc. Les petites fourmis de feu pouvant être polygynes (Hölldobler and Wilson, 1977), la probabilité qu'elles puissent former de

nouvelles colonies à partir de quelques individus isolés est augmentée. L'invasion peut alors commencer et être aussi rapide que dévastatrice.

Les populations de petites fourmis de feu semblent réagir différemment selon si elles sont introduites ou indigènes sur le territoire considéré.

L'agressivité de *W. auropunctata* a été observée dans des populations brésiliennes natives d'une part, Néo-Calédoniennes introduites d'autre part (Errard et al., 2005, Le Breton et al., 2004). Des confrontations individuelles entre fourmis provenant d'endroits éloignés de plusieurs kilomètres montrent une agressivité forte entre deux individus « natifs » du Brésil, alors que la réponse est nettement moins violente entre deux individus « introduits » de Nouvelle-Calédonie, où les nids sont pourtant très nombreux, mais interconnectés entre eux : dans ce cas, les fourmis de nids éloignés ne sont pas agressives entre elles (Le Breton et al., 2004), et semblent se comporter comme des soeurs. Cependant, ces individus conservent bien une forte agressivité envers les autres espèces de fourmis (Errard et al., 2005).

Une étude cherchant une explication chimique à ce phénomène a révélé que les hydrocarbures cuticulaires (CHCs) divergent chez les fourmis brésiliennes « natives », alors que des profils nettement plus uniformes sont observés chez les fourmis calédoniennes « introduites », même lorsqu'elles proviennent d'endroits éloignés. Cette homogénéité peut être la conséquence d'un processus par lequel les allèles de reconnaissance se sont fixés dans la population ; elle peut aussi avoir été induite par un événement d'introduction unique. L'uniformité chimique couplée à une agressivité intraspécifique faible, mais interspécifique forte, apporte une crédibilité à cette hypothèse. Il apparaît alors que ces fourmis agissent comme une seule supercolonie soeur dans les zones d'introduction, ce qui participe largement à leur succès alors que dans son aire d'origine, *W. auropunctata* agit comme une espèce multicoloniale et ses différentes colonies sont en compétition les unes avec les autres (Errard et al., 2005). Cette hypothèse a été vérifiée dans les champs de cacao au Brésil. Les fourmis sont globalement très agressives entre elles quand elles proviennent de champs éloignés, sauf dans un cas anecdotique mais intéressant où les deux fourmis plus tolérantes provenaient en réalité du même champ, des plants ayant été déplacés du premier vers le deuxième champ (Le Breton et al., 2004), prouvant une fois de plus que le transport de petites fourmis de feu est lié aux activités humaines et qu'il peut être rapide et involontaire.

Les populations introduites ne possèdent donc pas les mêmes caractères d'unicolonialité et de polygynie que les populations d'origine (Chazeau et al., 2002).

Sa capacité à s'adapter à une large gamme d'habitats, ses habitudes alimentaires ubiquistes, son caractère quasi unicolonial et sa forte agressivité envers les autres espèces, ainsi que le potentiel adaptatif du système de reproduction clonal et l'utilisation de l'Homme comme vecteur de dispersion confèrent donc à la petite fourmi de feu un succès invasif fulgurant et quasi inexorable dans tous les milieux tropicaux (Wetterer, 2013). Mais quels sont les impacts d'une telle invasion ?

3. Impacts écologiques

3.1. Sur la faune

La petite fourmi de feu est un prédateur ubiquiste : elle peut être rencontrée dans des milieux écologiques très différents. Elle peut avoir un impact direct sur la communauté de proies, et indirect via la compétition par exemple, ou en favorisant des insectes suceurs de sève sur les végétaux (amensalisme). Les effets sur la faune concernent les invertébrés, mais aussi les vertébrés.

Myrmécofaune

Les communautés de fourmis semblent être les plus affectées par l'invasion de *W. auropunctata*. En Nouvelle-Calédonie par exemple, des expériences en forêt tropicale dense ont montré que l'abondance et la diversité myrmécophile étaient plus faibles en présence de *W. auropunctata* : sur les 23 espèces endémiques, seules quatre peuvent survivre en territoire envahi (Le Breton et al., 2003). Au Gabon, la densité relative des autres fourmis est au maximum de 10% en présence de petites fourmis de feu et lorsque ces dernières sont trop nombreuses, aucune autre espèce de fourmi n'est détectée (Ndoutoume-Ndong and Mikissa, 2007).

Ce succès invasif est dû à la grande compétitivité de *W. auropunctata* en deux temps. Tout d'abord sur le « front d'invasion », pendant la phase d'expansion post introduction, l'espèce mobilise des ouvrières en très grand nombre, et ses individus peuvent être actifs pendant 72 heures en continu (Clark et al., 1982), ce qui conduit à l'exclusion quasi complète des espèces de fourmis déjà présentes. Dans un second temps, les colonies installées de *W. auropunctata* vont occuper aussi bien la strate arborée que la litière, où elles monopolisent les ressources alimentaires et les sites favorables aux nids. Tout ceci contribue à la chute brutale des populations de fourmis endémiques (Le Breton et al., 2005). Les mécanismes impliqués dans ce succès invasif peuvent inclure la prédation directe ainsi que des interactions compétitives (exploitation, interférence). Il existe une corrélation entre la durée de présence de *W. auropunctata* et la myrméco-diversité : lorsque le premier facteur augmente, le second diminue (Walker, 2006).

Autres invertébrés

La petite fourmi de feu se nourrit d'invertébrés, de miellat et de plantes en fonction des périodes de l'année. Bruneau de Miré (Bruneau De Miré, 1969) a montré que dans des zones infestées par *W. auropunctata*, les populations des autres insectes ont diminué, sauf pour les homoptères producteurs de miellats comme les cochenilles ou les pucerons. Les ressources alimentaires disponibles sont modifiées et la chaîne trophique est déséquilibrée. Aux Galapagos, *W. auropunctata* protège les populations de cochenilles australiennes et contribue à leur accroissement en échange de sève. Sur les îles de Santa Cruz et San Salvador, trois espèces d'arachnides ont été réduites ou éliminées par la petite fourmi de feu ; l'abondance et la diversité des insectes volants ont fortement diminué sur deux sites (Lubin, 1984).

Vertébrés

W. auropunctata nuit à la diversité des lézards (Jourdan et al., 2001) et a des impacts directs sur les tortues, les oiseaux (Lowe et al., 2000 ; Wetterer and Porter, 2003), les animaux domestiques tels que les chiens et les chats (Wetterer et al., 1999) et leurs homologues sauvages (Walsh et al., 2004). En effet, des piqûres répétées de cette fourmi peuvent provoquer l'altération de la vue chez les oiseaux et les mammifères. Aux îles Salomon, les chiens deviennent aveugles et vivent rarement plus de 5 ans en présence de petites fourmis de feu (Wetterer, 1997). A Lopé au Gabon, les chats des zones infestées avaient souvent des individus de *W. auropunctata* dans le pelage, et plusieurs ont développé une opacification cornéenne et une cécité. Ces symptômes découlent d'un traumatisme et non pas d'une maladie transmissible, d'après W. Karesh, vétérinaire pour la Wildlife Conservation Society. Des chats ont commencé à présenter les mêmes symptômes dans une autre zone du pays, peu après les premières observations locales de petites fourmis de feu (Wetterer et al., 1999). En Polynésie, des cas de kératopathie ont été observés chez les chats et les chiens vivant au contact de la petite fourmi de feu sur les hauteurs de la commune de Mahina à Tahiti. En dehors de la présence de cette espèce, aucune autre caractéristique facilitant l'apparition de la pathologie n'a pu être mise en évidence (Theron,

2007). En ce qui concerne les oiseaux, on suspecte une prédation des jeunes au nid par *W. auropunctata*, qui est capable de monter en hauteur dans les arbres.

Connue localement sous le nom de "hormiga colorada", *W. auropunctata* a eu un impact considérable sur la biodiversité dans les Galápagos, en particulier sur les invertébrés indigènes (Clark et al., 1982 ; Lubin, 1984 ; Roque Albelo et al., 2000). Elle affecte également négativement les activités de nidification et les jeunes de reptiles et d'oiseaux ; sa piqûre douloureuse en fait un ennemi important pour les agriculteurs et les travailleurs de la conservation (Roque Albelo et al., 2000 ; C. E. C., données non publiées).

3.2. Sur la flore

Les petites fourmis de feu se nourrissent notamment de miellat, l'excrétion sucrée produite par les homoptères ; en échange, elles les protègent des parasites et des prédateurs (Bruneau De Miré, 1969). Les dégâts des homoptères sont accrus par le mutualisme avec la fourmi. Dans les jardins vivriers observés en Nouvelle-Calédonie, les végétaux les plus touchés semblent être les plantes ornementales comme les rosiers, ainsi que les arbres fruitiers : mandariniers, orangers, citronniers. Dans certains cas, des végétaux comme les caféiers sont tellement exploités qu'ils sont trop affaiblis et finissent par mourir (Chazeau et al., 2002). Dans la savane, en saison sèche, les feuilles de *Melaleuca* (« niaoulis ») sont fréquemment recouvertes de *Meliolia* sp., ascomycète se propageant sur des miellats abondants. Ces derniers sont dus à la démultiplication de la cochenille *Cerastoplastes rubens*, qui entretient une relation mutualiste avec *W. auropunctata* (Jourdan, 1999). Ce développement de champignons peut ainsi provoquer une baisse dans l'activité photosynthétique des végétaux et nuire à leur croissance, l'issue extrême étant la mort des plants (Chazeau et al., 2002).

4. Impacts économiques

Dans les zones lourdement infestées, les conséquences de l'invasion de *W. auropunctata* coûtent très cher. Les nuisances sont variées, car l'espèce interfère non seulement avec l'environnement, mais également avec les intérêts anthropiques.

4.1. L'agriculture

W. auropunctata peut fortement perturber les diverses activités agricoles : maraîchage, arboriculture, caféiculture, etc. (Spencer, 1941). En effet, travailler dans les champs en étant perpétuellement piqués par les fourmis est très difficile, aussi bien physiquement que psychologiquement : le prix de la main-d'œuvre peut très rapidement être démultiplié avant que la cueillette et le travail dans les champs deviennent insupportables.

La petite fourmi de feu peut élever des cochenilles sur des arbres fruitiers tels que les manguiers, les frangipaniers et les citronniers, notamment dans les plantations familiales comme les caféiers mal entretenus. Ce phénomène peut conduire à la mort de certains plants, et la perte économique peut être conséquente (Chazeau et al., 2002). En Nouvelle-Calédonie, l'invasion du territoire par la petite fourmi de feu est avancée pour justifier l'abandon des plantations de café (Deloumeau, 1995). Des témoignages locaux évoquent aussi des conséquences sur l'élevage puisque le bétail ne peut plus paître sur les zones envahies, et de jeunes lapereaux et poulets seraient prédatés (Chazeau et al., 2002).

Paradoxalement, la petite fourmi de feu est utilisée comme agent de lutte biologique dans plusieurs pays. Dans des champs de maïs au Gabon, ou encore dans des plantations de cacao au Cameroun (Bruneau De Miré, 1969), les cultivateurs introduisent intentionnellement la petite fourmi de feu, qui permet de faire diminuer drastiquement les populations de certains insectes herbivores comme les hétéroptères (Wetterer et al., 1999). Cependant, après avoir joué leur rôle d'agent biologique, ces populations de fourmis sont difficilement contrôlables et favorisent parfois d'autres espèces. De plus, en raison de ses fluctuations saisonnières, *W. auropunctata* ne permettrait pas le contrôle des phytophages dans les plantations de cacao brésiliennes (Souza et al., 1998). Globalement, il semble que de nombreuses tentatives de luttes biologiques aient été tentées, mais que les réussites totales soient rares (Chazeau et al., 2002).

4.2. Le tourisme

Les traitements chimiques pour éradiquer l'espèce étant longs et onéreux, si *W. auropunctata* envahit des sites touristiques, ces derniers sont susceptibles d'être abandonnés. Les infrastructures et les équipements sur place, s'ils ne peuvent être déplacés sur des zones vierges, seront perdus et le coût économique pourra vite devenir conséquent.

De plus, l'implantation de l'espèce près des cours d'eau est fulgurante : au Gabon, l'essentiel du territoire envahi est situé le long des cours d'eau, suggérant un transport facilité par l'eau (Walker, 2006). Le tourisme balnéaire est donc le premier menacé lors de telles invasions. Or, il n'est pas envisageable d'accueillir des touristes dans un lieu envahi : les fourmis pouvant s'infiltrer partout, que ce soit en hauteur ou dans toutes sortes de bâtiments, elles peuvent créer d'énormes désagréments, même sur le court terme.

4.3. L'immobilier

Il ne semble pas y avoir déjà eu de décès causés par *W. auropunctata*, cependant les conséquences sur le confort au quotidien sont importantes : piqûres dans le jardin voire à l'intérieur des maisons, surveillance continue des bébés en zones infestées (les linges doivent parfois être repassés au fer chaud afin de tuer toutes les fourmis avant d'être posés sur les enfants), coût psychologique, etc. Cette baisse de la qualité de vie dans les zones infestées implique une diminution des valeurs immobilières.

D'autre part, *W. auropunctata* semble pouvoir perturber les installations électriques : en Nouvelle-Calédonie, des individus ont été observés dans des transformateurs, relais téléphoniques ou boîtiers de connexion d'arrosage automatique. Cette accumulation de fourmis peut provoquer des courts-circuits (Hannecart comm. pers.) et pourrait être due à l'attraction par les champs électromagnétiques (Vinson and MacKay, 1990), même si cette hypothèse est à vérifier.

5. Impacts sanitaires

5.1. Infestation des infrastructures

La petite fourmi de feu peut facilement s'établir dans les maisons, où elle serait attirée par les aliments gras voire le linge sale (Spencer, 1941 ; Smith, 1965). La dégradation du milieu de vie et les répercussions psychologiques qui en découlent sont indéniables. En Nouvelle-Calédonie, l'espèce peut installer des nids dans les murs et les toitures d'habitations traditionnelles mélanésiennes. Une contamination en milieu hospitalier a été observée au Brésil (Fowler et al., 1993), mais son incidence sanitaire est controversée (Chazeau et al., 2002 ; Passera comm. pers.).

5.2. Conséquence des piqûres chez l'Homme

Les piqûres de *W. auropunctata* sont nettement moins dangereuses que celles de *Solenopsis invicta*. Toutefois, elles restent très irritantes et posent un problème sanitaire direct puisqu'en fonction des individus, la réaction cutanée peut être plus ou moins intense, plus ou moins longue, et accompagnée ou non de démangeaisons. Des sujets sensibles peuvent développer des phénomènes allergiques tels qu'une hypersensibilisation à la piqûre. Les atteintes au visage sont les plus douloureuses, pouvant entraîner un gonflement important des yeux durant près d'un mois (Spencer, 1941 ; Chazeau et al., 2002).

6. Conclusion

Ce super prédateur ubiquiste dans l'exploitation spatiale et des ressources a des impacts négatifs sur la biodiversité par prédation directe ou amensalisme. Sa biologie hors du commun incluant notamment sa capacité à vivre en supercolonies polygynes, en fait une espèce prolifique qui provoque une diminution de la Myrmécofaune et des invertébrés en général. Seuls les insectes suceurs de sève sont favorisés, affectant négativement les plantes.

Aucune étude n'a encore démontré ces impacts en Polynésie, mais ils sont hautement probables dans ces îles moins diversifiées en espèces que les autres milieux déjà étudiés. Or, la diversité d'un écosystème assure une meilleure résistance et résilience face à une perturbation de type invasion biologique (Loreau and Mazancourt, 2013). En attendant des moyens de lutte efficaces pour Tahiti et Moorea, la vigilance et l'application des règles strictes de biosécurité seront la meilleure arme contre les petites fourmis de feu en Polynésie française et sur les autres îles tropicales non encore envahies.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Direction de l'Environnement (DIREN) de Polynésie française, l'Union Européenne au travers du programme Best 2.0 1058, la mairie de Punaauia, l'Association française des parcs zoologiques et l'ASL Te Maru Ata pour le soutien financier contre la petite fourmi de feu. Merci à l'équipe et aux bénévoles. Et enfin, merci à Matai Depierre pour la relecture et les apports à cette revue.

Références

- Blanvillain, C., Ghestemme, T. & Beaune, D. (2016) État des lieux 2016 concernant les Monarques de Tahiti et Fatu Hiva, et les pressions ou menaces exercées sur ces espèces et leur habitat. *Rapport DIREN*, Taravao: SOP Manu. 35pp.
- Brooke, M. d. L., Hilton, G. M. & Martins, T. L. F. (2007) Prioritizing the worlds islands for vertebrate eradication programmes, *Animal Conservation*, 10(3), pp. 380-390.
- Bruneau De Miré, P. (1969) Une fourmi utilisée au Cameroun dans la lutte contre les mirides du cacaoyer: *Wasmannia auropuncta* Roger, *Café, Cacao, Thé*, 13(3), pp. 209-212.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. & Dirzo, R. (2017) Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses & declines, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), 7pp.
- Chazeau, J., Jourdan, H., Le Breton, J., Andrés, F., Bonnet de Larbogne, L., Dejean, A., Delsinne, T., Foucaud, J., Konghouleux, D. & Maïrouch, N. (2002) Etude de l'invasion de la Nouvelle- Calédonie par la fourmi pionnière *Wasmannia auropunctata* (Roger): modalités, impact sur la diversité et le fonctionnement des

- écosystèmes, moyens d'une maîtrise de la nuisance: programme *INWASCAL: rapport final*, IRD Nouméa, 193 pp.
- Clark, D. B., Guayasamin, C., Pazmino, O., Donoso, C. & de Villacis, Y. P. (1982) The tramp ant *Wasmannia auropunctata*: autecology & effects on ant diversity & distribution on Santa Cruz Island, Galapagos, *Biotropica*, pp. 196-207.
- Clout, M. & Veitch, C. (2002) Turning the tide of biological invasion: the potential for eradicating invasive species, *Turning the tide: the eradication of invasive species. IUCN SSC Invasive Species Specialist Group, Gland, Switzerland & Cambridge, UK*, pp. 1-3.
- Delabie, J., Da Encarnação, A. & Cazorla, I. (1994) Relations between the little fire ant, *Wasmannia auropunctata*, & its associated mealybug, *Planococcus citri*, *Brazilian cocoa farms*, pp. 91- 103.
- Deloumeau, S. (1995) Etude des systèmes de production café de la Grande Terre (Nouvelle Calédonie), ORSTOM Nouméa. Mémoire Ingénieur Agronome, ENSAT Toulouse, 125 pp.
- Deyrup, M., Davis, L. & Cover, S. (2000) Exotic ants in Florida, *Transactions of the American Entomological Society*, pp. 293-326.
- Errard, C., Delabie, J., Jourdan, H. & Hefetz, A. (2005) Intercontinental chemical variation in the invasive ant *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera Formicidae): a key to the invasive success of a tramp species, *Naturwissenschaften*, 92(7), pp. 319-323.
- Foucaud, J., Jourdan, H., Le Breton, J., Loiseau, A., Konghouleux, D. & Estoup, A. (2006) Rare sexual reproduction events in the clonal reproduction system of introduced populations of the little fire ant, *Evolution*, 60(8), pp. 1646-1657.
- Fowler, H. G., Bueno, O. C., Sadatsune, T. & Montelli, A. C. (1993) Ants as potential vectors of pathogens in hospitals in the state of São Paulo, Brazil, *International Journal of Tropical Insect Science*, 14(3), pp. 367-370.
- Gunawardana, D. & Sarnat, E. (2007). Pacific Invasive Ants Taxonomy Workshop. *Workshop Manual*, 34 pp.
- Hölldobler, B. & Wilson, E. O. (1977) The number of queens: an important trait in ant evolution, *Naturwissenschaften*, 64(1), pp. 8-15.
- Jourdan, H. (1999) Dynamique de la biodiversité de quelques écosystèmes terrestres néo-calédoniens sous leffet de linvasion de la fourmi peste *Wasmannia auropunctata* (Roger) 1863 (Hymenoptera: Formicidae). Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 376 pp.
- Jourdan, H., Sadlier, R. A. & Bauer, A. M. (2001) Little fire ant invasion (*Wasmannia auropunctata*) as a threat to New Caledonian lizards: evidence from a sclerophyll forest (Hymenoptera: Formicidae), *Sociobiology*, 38(3A), pp. 283-299.
- Le Breton, J., Chazeau, J. & Jourdan, H. (2003) Immediate impacts of invasion by *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) on native litter ant fauna in a New Caledonian rainforest, *Austral Ecology*, 28(2), pp. 204-209.
- Le Breton, J., Delabie, J. H., Chazeau, J., Dejean, A. & Jourdan, H. (2004) Experimental evidence of large-scale unicoloniality in the tramp ant *Wasmannia auropunctata* (Roger), *Journal of Insect Behavior*, 17(2), pp. 263-271.
- Le Breton, J., Jourdan, H., Chazeau, J., Orivel, J. & Dejean, A. (2005) Niche opportunity & ant invasion: the case of *Wasmannia auropunctata* in a New Caledonian rain forest, *Journal of Tropical Ecology*, 21(1), pp. 93-98.
- Leakey, R. & Lewin, R. (1996) *The sixth extinction: biodiversity and its survival*, 271 pp.
- Loreau, M. & Mazancourt, C. (2013) Biodiversity & ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms, *Ecology letters*, 16(s1), pp. 106-115.

Rapport final de l'étude de la PFF à Tahiti – SOP Manu

- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S. & De Poorter, M. 2000. 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. Publié par le Groupe de spécialistes des espèces envahissantes (Invasive Species Specialist Group–ISSG) un groupe de spécialistes de la Commission de la Sauvegarde des Espèces (CSE) de l'Union Mondiale pour la Nature (UICN), 12pp.
- Lubin, Y. D. (1984) Changes in the native fauna of the Galapagos Islands following invasion by the little red fire ant, *Wasmannia auropunctata*, *Biological Journal of the Linnean Society*, 21(1-2), pp. 229-242.
- McLean, I. G., Hölzer, C. & Studholme, B. J. (1999) Teaching predator-recognition to a naive bird: implications for management, *Biological Conservation*, 87(1), pp. 123-130.
- Meier, R. (1994) Coexisting patterns & foraging behavior of introduced & native ants (Hymenoptera Formicidae) in the Galapagos Islands (Ecuador), *Exotic Ants: Biology, Impact, & Control of Introduced Species. Westview Studies in Insect Biology, Boulder, CO*, pp. 44-62.
- Milberg, P. & Tyrberg, T. (1993) Naive birds & noble savages - a review of man-caused prehistoric extinctions of island birds, *Ecography*, 16(3), pp. 229-250.
- Ndoutoume-Ndong, A. & Mikissa, B. (2007) Influence de la présence de la fourmi *Wasmannia auropunctata* (Roger 1863) (Hymenoptera: Formicidae) sur les autres espèces de fourmis dans la réserve de la Lope (centre du Gabon). *Annales de la Société entomologique de France: Taylor & Francis*, 155-158.
- Pascal, M., Lorvelec, O., Vigne, J.-D., Keith, P. & Clergeau, P. (2003) Evolution holocène de la faune de Vertébrés de France: invasions et extinctions, *Institut National de Recherche Agronomique, Centre National de Recherche Scientifique, Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris, France*. 381pp.
- Roque Albelo, L., Causton, C. E. & Miesles, A. (2000) The ants of Marchena Island, twelve years after the introduction of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata*, *Noticias de Galapagos*, 61, pp. 17-20.
- Smith, M. R. (1965) House-infesting ants of the eastern United States: their recognition, biology, & economic importance. Bulletin technique, United States Department of Agriculture, 1326, 105 pp.
- Souza, A., Delabie, J. & Fowler, H. (1998) *Wasmannia spp.* (Hym., Formicidae) and insect damages to cocoa in Brazilian farms, *Journal of Applied Entomology*, 122(1-5), pp. 339-341.
- Spencer, H. (1941) The small fire ant *Wasmannia* in citrus groves: a preliminary report, *The Florida Entomologist*, 24(1), pp. 6-14.
- Theron, L. (2007) Hypothèse de la keratopathie liée à *Wasmannia auropunctata*-le modèle polynésien. Mémoire de troisième doctorat en médecine vétérinaire, Université de Liège, Belgique, 38 pp.
- Torres, J. A. (1984) Niches and coexistence of ant communities in Puerto Rico: repeated patterns, *Biotropica*, pp. 284-295.
- Ulloa-Chacon, P. (1990) Biologie de la reproduction chez la petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera, Formicidae). Thèse de Doctorat, Université de Lausanne, Faculté des Sciences, Suisse.
- Ulloa-Chacon, P. & Cherix, D. (1989) Etude de quelques facteurs influençant la fécondité des reines de *Wasmannia auropunctata* R, *Hymenoptera, Formicidae*. *Actes colloque Insectes Sociaux*, 5, pp. 121-129.
- Vinson, S. & MacKay, W. (1990) Effects of the fire ant, *Solenopsis invicta*, on electrical circuits & equipment, *Applied myrmecology: a world perspective. Westview Press, Boulder, CO*, pp. 496-503.
- Walker, K. L. (2006) Impact of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata*, on native forest ants in Gabon, *Biotropica*, 38(5), pp. 666-673.
- Walsh, P. D., Henschel, P., Abernethy, K. A., Tutin, C. E., Telfer, P. & Lahm, S. A. (2004) Logging speeds little red fire ant invasion of Africa, *Biotropica*, 36(4), pp. 637-641.
- Wetterer, J. (1997) Alien ants of the Pacific islands, *Aliens*, 6, pp. 3-4.

Rapport final de l'étude de la PFF à Tahiti – SOP Manu

Wetterer, J. K. (2013) Worldwide spread of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae), *Terrestrial Arthropod Reviews*, 6(3), pp. 173-184.

Wetterer, J. K. & Porter, S. D. (2003) The little fire ant, *Wasmannia auropunctata*: distribution, impact, & control, *Sociobiology*, 42(1), pp. 1-42.

Wetterer, J. K., Walsh, P. & WHITE, L. (1999) *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera: Formicidae), a destructive tramp-ant, in wildlife refuges of Gabon, *African Entomology*, 7(2), pp. 292-294.

Chapitre 2 Impact écologique de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti*

Alice Bousseyroux^a, Caroline Blanvillain^a, Timeri Darius^{ab} & David Beaune^a

Pacific Conservation Biology (en soumission)

^aSociété d'Ornithologie de Polynésie française, SOP Manu
B.P. 7023, 98719 Taravao, Tahiti – Polynésie française

^bUniversité de la Polynésie française
Campus d'Outumaoro, Punaauia, B.P. 6570, 98702 Faa'a, Tahiti - Polynésie française

*Rapport technique (09/2017) : Alice Bousseyroux, Caroline Blanvillain, Timeri Darius, David Beaune (2017) Impact écologique de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti. Rapport technique. SOP Manu, Taravao Tahiti. 34 pp.

Résumé

La petite fourmi de feu (PFF) (*Wasmannia auropunctata*) est une espèce envahissante à l'expansion pantropicale. La présente étude est la première réalisée à Tahiti afin d'évaluer son impact écologique : l'espèce est pourtant présente au *fenua* depuis plus de vingt ans. La richesse écologique de trois milieux situés dans ou à proximité de la zone clef de biodiversité (« Vallées Maruapo, Papehue, Hopuetamai et Orofero ») a été comparée dans des conditions écologiques similaires, en présence et en absence de PFF. Il s'agit d'un milieu xérophile (sec) de fougères, d'une forêt humide de fond de vallée et enfin, d'un canyon et ses falaises. La plupart des taxons (invertébrés, reptiles puis oiseaux) ont été examinés. Les effets de la PFF sont significativement négatifs dans tous les milieux étudiés. Comme dans la majorité des îles tropicales colonisées par l'espèce, l'abondance et la diversité biologique diminuent après l'invasion par l'espèce : globalement, la diversité spécifique est divisée par trois en milieux infestés. Les phytophages, omnivores, détritivores, prédateurs ainsi que les autres fourmis sont les plus touchés (probable prédation directe ou compétition). Les oiseaux semblent subir ces effets négatifs indirectement (par effet cascade) ou directement (attaques potentielles aux nids et sur adultes posés). Moins d'oiseaux fréquentent la rive infestée, parmi lesquels les oiseaux endémiques comme les Monarques de Tahiti (81% d'observation en rive non infestée) et les Ptilopes de la Société. De plus, les Monarques de Tahiti, qui sont territoriaux, étaient dans le passé établis sur trois territoires situés au bas de la zone infestée ou à proximité. Ils ont désormais déserté ces zones colonisées par la PFF. *Wasmannia auropunctata* est donc une menace sérieuse pour l'ensemble de la biodiversité, des écosystèmes terrestres Tahitiens et des services écosystémiques qui y sont liés.

Mots clés

Wasmannia auropunctata, impacts écologiques, conservation insulaire, Hyménoptère, espèce envahissante, Tahiti

1. Introduction

La petite fourmi de feu (PFF) (*Wasmannia auropunctata*) est une espèce envahissante engendrant des dégradations environnementales conséquentes dans tous les milieux dans lesquels elle a été introduite, avec des réponses variables (Bousseynroux et al., 2017). Le but de cette étude est d'évaluer les impacts écologiques de cet hyménoptère sur la faune des écosystèmes à Tahiti, première île infestée de Polynésie française. Les recherches se sont focalisées sur une zone clef de la biodiversité (ZCB) tahitienne (BirdLife International, 2017) : les « Vallées de Maruapo, Papehuetamaï et Orofero » et leurs abords, parfois infestés par la PFF. Trois milieux représentatifs de ces écosystèmes naturels terrestres ont été étudiés dans des zones avec et sans PFF : 1) un milieu xérophile (sec) de fougères, 2) une forêt humide et enfin, 3) un canyon et ses falaises.

Ce travail s'est focalisé sur l'impact de la petite fourmi de feu sur les invertébrés, les reptiles et les oiseaux. Ces groupes taxinomiques sont les plus représentatifs de la biodiversité animale tahitienne : les invertébrés du sol et volants (nocturnes), l'herpétofaune et l'avifaune. Les mammifères, tous d'origine exogène, sont considérés comme des espèces envahissantes (rats, souris, chats) ou d'élevage (cochons, chèvres) : ils n'ont pas été inclus dans cette étude. L'impact des PFF sur les peuplements végétaux n'a pas été abordé.

2. Matériel & Méthode

2.1. Sites d'étude

Wasmannia auropunctata a été décrite pour la première fois en Polynésie en 2004, à Tahiti (DIREN, 2017), mais elle y est probablement arrivée dans les années 1990 (Depierre, com. pers.). Plusieurs points d'infestation ont ensuite été signalés, notamment à l'entrée des vallées de Maruapo et Papehuetamaï qui sont classées zones clefs de biodiversité (ZCB) et IBA en danger (Important Bird & Biodiversity Areas in Danger) (Bird Life International, 2017). Ces deux vallées ainsi que celle de Tiapa sont d'intérêt majeur pour la biodiversité grâce aux nombreuses espèces endémiques et parfois en danger d'extinction qui y résident. Parmi les oiseaux se trouvent : le Monarque de Tahiti, *Pomarea nigra* (CR) ; la Salangane de la Société, *Aerodramus leucophaeus leucophaeus* (VU) ; le Martin chasseur vénéré, *Todiramphus veneratus* (LC) ; le Ptilope de la Société, *Ptilinopus purpuratus* (LC) ; l'Hirondelle de Tahiti, *Hirundo tahitica tahitica* (LC). Les escargots présents sont : *Partula clara* (CR) ; *Samoana attenuate* (CR) ; *Partula hyalina* (VU). De nombreuses plantes d'intérêt patrimonial y sont également présentes : *Christiana vescoana* (EN) ; *Erythrina tahitensis* (CR) ; *Grewia tahitensis* (CR) ; *Myrsine longifolia* (EN) ; *Ochrosia tahitensis* (CR) ; *Ophiorrhiza platycarpa* (CR) ; *Ophiorrhiza setosa* (CR) ; *Ophiorrhiza subumbellata* (VU) ; *Ophiorrhiza tahitensis* (VU) ; *Pisonia graciliscens* (CR) ; *Psychotria marauensis* (EN) ; *Psychotria speciosa* (EN) ; *Santalum insulare* var. *insulare* (EN) ; *Sclerotheca arborea* (EN) ; *Sideroxylon nadeaudii* (CR) ; *Terminalia glabrata* var. *glabrata* (CR) ; *Zanthoxylum nadeaudii* (EN) ; etc. L'entomofaune est relativement pauvre par rapport à celle des continents voisins : beaucoup de familles sont absentes ou très mal représentées sur Tahiti car elles n'ont pas réussi à se disperser jusqu'en Polynésie. D'autre part, cet isolement est aussi à la base du fort taux d'endémisme de l'entomofaune : de nombreux genres ont pu évoluer sur ces îles et donner à chacune, voire à chaque vallée, son espèce particulière et autochtone. Chez certains genres, le taux d'endémisme des espèces atteint 100%, avec une spécialisation parfois extrême. Le territoire de chaque espèce endémique est très restreint donc potentiellement très sensible aux espèces

envahissantes. De nombreux insectes endémiques ont été signalés dans les vallées de cette ZCB (Ramage, com. pers.), mais n'ont pas encore été décrits.

Les habitats présents dans cette ZCB étant relativement variés, la biocénose qui les compose y est diversifiée et propre à chaque écosystème. Nous avons décidé de focaliser notre étude sur trois milieux où des zones infestées par la PFF et des zones indemnes étaient proches les unes des autres (Figure 2.1), ceci afin de minimiser les différences environnementales telles que l'altitude, l'hygrométrie ou la pédologie. Ces habitats sélectionnés étaient : 1) un milieu xérophile de fougères 'FOU' (Figure 2.2) et 2) une forêt humide 'FOR' (Figure 2.3) pour la faune terrestre et volante nocturne ; 3) un canyon et ses falaises avec une végétation forestière 'FAL' pour l'avifaune (Figure 2.4). Pour chacun de ces milieux, des zones avec (1) et sans (0) PFF étaient déterminées (Tableau 2.1).

Tableau 2. 1 Les différents sites d'études


Milieux	Faune testée	Sites témoins (non infestés)	Sites tests, infestés par la PFF 
Forêt	Petite faune terrestre	FOR.0	FOR.1
Fougère	Petite faune terrestre	FOU.0	FOU.1
Falaise	Avifaune	FAL.0	FAL.1



Figure 2. 1 Localisation géographique des zones d'études sur l'île de Tahiti. Falaises FAL en rose, fougères FOU en jaune, forêt FOR en bleu.

Les paires de sites représentatifs d'un même habitat ont été choisis de manière à être les plus homogènes possible en termes de couvert végétal, de pédologie, d'influence anthropique (présence de chemins, de cultures, d'élevage, etc.), de relief, d'altitude et d'orientation géographique.

Les zones d'une même paire d'habitats étaient testées simultanément afin d'éviter un effet potentiel des conditions météorologiques locales lors des suivis sur le terrain (température, ensoleillement, pluviométrie, etc.).



Figure 2. 2 Site d'étude xérophile de fougères (FOU). ©T. Darius



Figure 2. 3 Site d'étude de forêt humide (FOR). ©D. Beaune

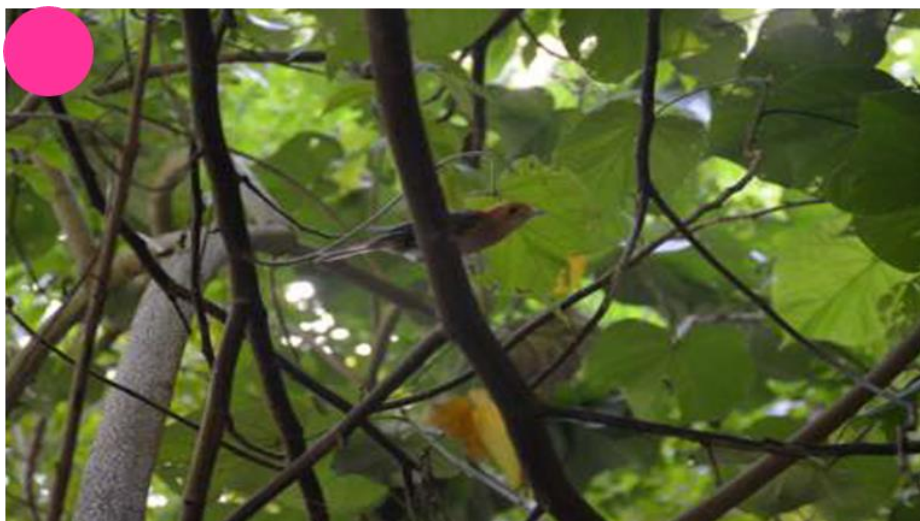


Figure 2. 4 Site d'étude d'un canyon et de ses falaises (FAL). La forêt de Purau (visible ici), de tulipiers du Gabon et de Mara tapissant le fond de la vallée est bordée en rive gauche d'une falaise infestée par les PFF et en rive droite d'une falaise indemne ; plusieurs Monarques dont cette jeune femelle orange s'étaient établis sur ce site dans 3 territoires entre 2015 et 2016 ; seul un territoire était encore occupé pendant la saison 2016 ; il a été déserté au cours de la saison 2017. ©C. Blanvillain

Les zones FOU et FOR étaient trop proches pour y effectuer des points d'écoute pertinents sur l'avifaune. Les oiseaux non territoriaux étant souvent très mobiles, le risque était trop grand de comptabiliser uniquement des oiseaux de passage et de ne pas mettre en évidence un quelconque effet des fourmis. Il est difficile d'affirmer que les conditions étaient strictement identiques pour les sites FAL.0 et FAL.1 (falaise indemne vs falaise infestée) car il s'agissait des versants en rive droite et rive gauche d'une même portion de la vallée. Cependant, nous avons considéré qu'il n'y avait pas d'effet adret/ubac compte tenu de la configuration du canyon. De plus, ce lieu était l'un des seuls où l'on pouvait tester l'hypothèse d'un éventuel évitement d'une rive par les Monarques de Tahiti – territoriaux et présents dans la zone lors des deux premières sessions d'observation.

2.2. Détermination de la présence ou de l'absence de l'espèce *Wasmannia auropunctata*

La petite fourmi de feu est une espèce relativement facile à appâter avec des matières grasses. Elle est cependant complexe à identifier avec certitude. Les zones avec et sans PFF ont été déterminées puis vérifiées *ad hoc* sur le terrain, le jour des inventaires effectués par l'association Manu dans le cadre de sa lutte contre la PFF (Blanvillain et al., 2017).

Technique d'échantillonnage de l'espèce

Un protocole identique a été appliqué dans chaque zone afin de détecter si la PFF était présente : des bâtonnets en bois enduits de beurre de cacahuètes (SKIPPY® Hormel Foods) étaient déposés tous les 10 mètres le long de transects parallèles espacés de 10 mètres les uns des autres. Si la présence de PFF était avérée, la distance entre chaque bâtonnet et chaque transect était réduite à 5 mètres afin de délimiter plus précisément les foyers d'infestation. Les territoires infestés identifiés étaient ensuite cartographiés à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

Le beurre de cacahuètes attire de nombreuses autres espèces présentes aux alentours (fourmis, mais aussi lézards, limaces, iules, etc.) qui peuvent consommer l'appât. Dans certains sites, en particulier ceux déjà traités plusieurs fois contre la PFF, la densité de cette espèce est très faible. Afin d'optimiser les chances de détecter cette fourmi dans ces sites, les appâts étaient également déposés sur différentes surfaces, à différents niveaux (feuilles mortes au sol, graviers, branches en hauteur, flanc de falaise, etc. ; Figure 2.5) autour du bâtonnet.

Le temps de pose d'un bâtonnet était compris entre trente minutes – pour permettre aux fourmis de découvrir l'appât et de mobiliser suffisamment d'ouvrières pour être détectées – et deux heures : au-delà, le produit peut sécher ou être consommé en totalité par d'autres espèces opportunistes. À chaque relevé, chaque « point » de beurre de cacahuètes est attentivement observé car les ouvrières de *W. auropunctata* sont difficiles à identifier. En cas de doute, un prélèvement est réalisé afin d'identifier avec précision les individus sous loupe binoculaire.



Figure 2. 5 Beurre de cacahuètes (SKIPPY®) déposé sur une surface rocheuse et permettant de tester la présence (a) ou l'absence (b) de PFF. Les fourmis de la figure (b) nettement distinctes des PFF. ©T. Darius

Identification de l'espèce

Les **ouvrières** de l'espèce *W. auropunctata* sont monomorphes (i.e. pas de morphes différents ; Figure 1.1) : elles sont de très petite taille (environ 1,2 mm de long) et de couleur brun-orangé. Les principales caractéristiques permettant de les identifier d'après le « Pacific Invasive Ants Taxonomy Workshop » (Gunawardana and Sarnat, 2007) sont :

- la présence de 2 segments (un pétiole et un post-pétiole) entre l'abdomen et le thorax ;
- deux épines propodéales situées sur le thorax et divergeant autour du pétiole ;
- des antennes de 11 segments, les 2 derniers étant très dilatés.

Les individus possèdent également un petit nombre de poils dressés sur le corps, une tête en forme de pointe de flèche (forme sagittale) et des gouttières antennaires bien marquées remontant jusqu'à la bordure occipitale.

Les **reines** peuvent être très nombreuses (jusqu'à 70 individus, Vanderwoude, non publié) par mètre carré de sol ; elles sont de couleur noire et mesurent environ 4,5 mm de longueur (Figure 1.2a). Les **mâles** leur ressemblent mais ont un corps plus allongé, des antennes plus longues et des épines propodéales moins marquées (Figure 1.2b).

Toutefois, comme chez la plupart des fourmis, seules les ouvrières sortent du nid à la recherche de nourriture : la présence ou l'absence de PFF est donc très souvent basée sur l'identification des ouvrières.

2.3. Échantillonnage de la biodiversité

Présentation de la petite faune terrestre

Les insectes de Polynésie française ont été inventoriés uniquement pour l'île de Tahiti (Paulian, 1998). Les arthropodes terrestres polynésiens sont répartis en quatre grands groupes taxinomiques : les arachnides, les crustacés, les myriapodes et enfin, les insectes au sens strict. Les connaissances sur certaines familles et ordres sont loin d'être exhaustives (Seguin, 2015).

Les arachnides comptent 337 espèces et sous-espèces présentes sur le territoire polynésien : 104 espèces d'araignées connues (dont 46 espèces endémiques), 4 espèces de pseudo-scorpions, 2 espèces de scorpions et 227 espèces d'acariens réparties en quatre ordres (Seguin, 2015).

Les crustacés polynésiens sont essentiellement des décapodes et des amphipodes terrestres. Les millepattes, représentés par 19 espèces dont 4 endémiques, n'ont pas été étudiés depuis 1930 (Seguin, 2015).

Les insectes au sens strict et les collembolés sont représentés par 2 409 espèces et sous-espèces. Les insectes les plus importants en nombre d'espèces en Polynésie française sont de l'ordre des coléoptères : 770 taxons ont été recensés avec un taux d'endémisme de 60%. Trois familles sur les 45 présentes sur le territoire rassemblent à elles seules plus de 60% des espèces : ce sont les Curculionidés (charançons) avec 250 espèces dont 210 endémiques, les Carabidae (carabes) avec 133 espèces dont 112 endémiques et enfin les Staphylinidae (staphylins) avec 116 espèces dont 69 endémiques (Seguin, 2015). D'autre part, 51 espèces de fourmis ont été recensées, comprenant 3 espèces endémiques (T. Ramage, in litt).

L'herpetofaune terrestre se compose de 12 espèces de geckos et scinques (Seguin, 2015), toutes à large répartition et dont le statut biogéographique reste problématique (indigène ou introduction par les Polynésiens). Parmi les lézards, aucune espèce n'est endémique.

Dans cette étude, les espèces ont été distinguées et comptabilisées, puis un groupe fonctionnel trophique a été attribué à chaque espèce (prédateur, phytophage, détritivore, parasite avec distinction piqueur/suceur car ce dernier est favorisé par les fourmis éléveuses).

Méthode de collecte

Des pièges au sol non létaux (*pitfall traps* ; Figure 2.6), en plastique lisse de 12 cm de haut et 8 cm de diamètre environ, ont permis d'échantillonner les animaux terrestres présents sur les zones d'études. En forêt et en zone de fougères, 30 pièges ont été installés simultanément dans le secteur avec et sans PFF (Figure 2.7 et Figure 2.8).

Les *pitfall traps* ont été posés tous les deux mètres, le long de transects non parfaitement rectilignes de 60 mètres de long. Les pièges vides ont été enterrés à l'aide d'une pelle et d'une barre à mine, leurs bords alignés avec la surface du sol. Le dispositif restait en place 24 heures par temps sec. Par choix éthique, aucune substance létale n'a été utilisée afin de préserver les animaux capturés (potentiellement endémiques) : ils ont été relâchés dans le milieu après avoir été identifiés lors des relevés. Seuls les individus que l'on souhaitait déterminer avec davantage de précision ont été prélevés puis observés à la loupe binoculaire.

Cette méthode non létale a des limites : en plus des individus susceptibles de ressortir des pièges, les proportions de chaque espèce dans les pots n'ont pas forcément traduit leur abondance relative dans le milieu, les animaux collectés étant ceux vivant à la surface du sol. Cependant, les biais étaient les mêmes pour toutes les expérimentations, donc la comparaison entre sites du même habitat restait pertinente.

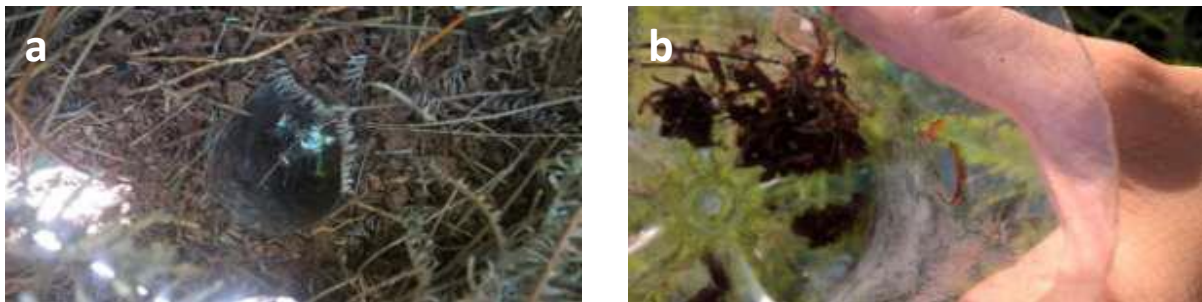


Figure 2. 6 Un piège *Pitfall traps*. Au sol (a) et relevé (b). ©T. Darius

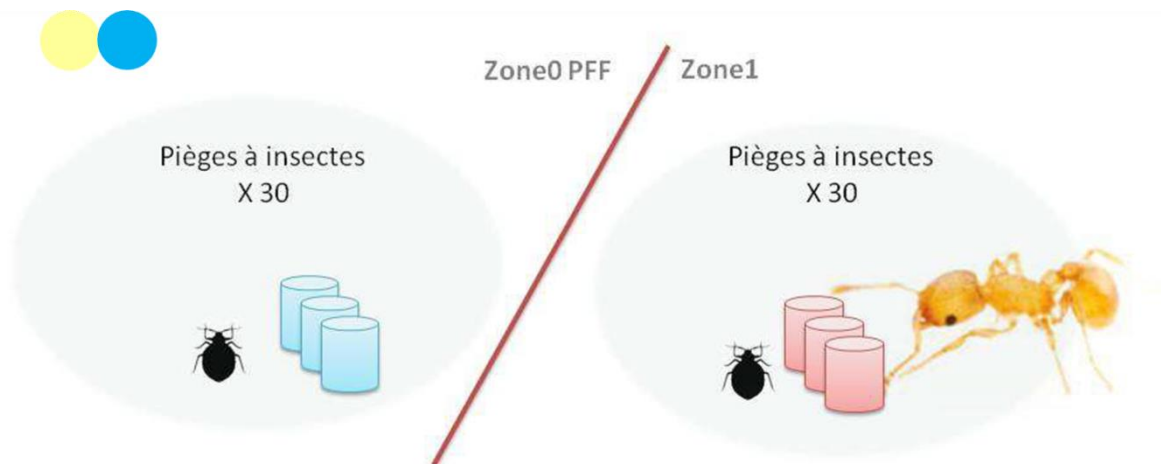


Figure 2. 7 Protocole d'échantillonnage de la faune terrestre (reptiles et invertébrés) en zone avec (1) et sans (0) petite fourmi de feu (PFF).



Figure 2. 8 Disposition spatiale des *pitfall traps* sur les quatre sites d'études en forêt (FOR) et zones de fougères (FOU), avec (1) et sans (0) PFF. Le front de colonisation représenté par les fourmis progresse vers l'Est.

La petite faune volante nocturne

Dans les sites FOU et FOR, un drap blanc de 1m X 1m a été tendu sur une corde à 2 m de hauteur et fixé entre deux arbres ou deux piquets métalliques (Figure 2.9 et Figure 2.10). Ce dispositif était éclairé par une lampe de travail LED (80+1 Lumen). Après 20 minutes d'attente, tous les insectes entrant en contact avec le drap étaient comptabilisés et rapidement identifiés sur place durant les 30 minutes suivantes.



Figure 2. 9 Piège nocturne en place en zone de fougères. ©T. Darius



Figure 2. 10 Disposition spatiale des draps sur les quatre sites d'étude en forêt (FOR) et zones de fougères (FOU), avec (1) et sans (0) PFF. Le front de colonisation représenté par les fourmis progresse vers l'Est.

L'avifaune

Les sessions d'échantillonnage par écoute et observation directe ont eu lieu entre 9h00 et 11h00 à des points fixes durant trois jours non successifs, pour un total de 40 points de comptage de 5 minutes chacun. Trois zones étaient différenciées : rive infestée, rivière et rive non infestée. Tous les oiseaux identifiés dans un rayon de 60 m autour de l'observateur ont été comptabilisés (Figure 2.11).

Cependant, la rivière et son lit constituaient une zone tampon séparant les deux rives. Les fourmis y étaient réparties non uniformément : elles étaient présentes notamment du côté de la rive infestée et dans une partie du lit (rivière à sec lors des sessions d'échantillonnage). Les données correspondant à la rivière ne sont donc pas présentées ici ni prises en compte dans les calculs. Les observations ont été faites par temps dégagé, sans vent : la météo est un facteur pouvant influencer la diversité et l'abondance de l'avifaune localement. Ces comptages ont permis d'établir la répartition des oiseaux sur les sites FAL.0 et FAL.1, dans le vallon encaissé de Maruapo (Figure 2.12).

Sont potentiellement présents dans ces deux zones d'étude FAL.0 et FAL.1 : le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*) ; le Martin-chasseur vénéré (*Todiramphus veneratus*) ; le Ptilope de la Société (*Ptilinopus purpuratus*) ; l'Hirondelle de Tahiti (*Hirundo tahitica tahitica*). Cette dernière se posant rarement en dehors de la zone de la rivière, elle n'a pas été comptabilisée. Sont présents également dans la zone d'étude plusieurs espèces d'oiseaux introduits : le Bulbul à ventre rouge (*Picnonotus cafer*) ; le Zostérops (*Zostérops lateralis*) ; des poules et coqs (*Gallus gallus*) ; la Géopélie striée (*Geopelia striata*).

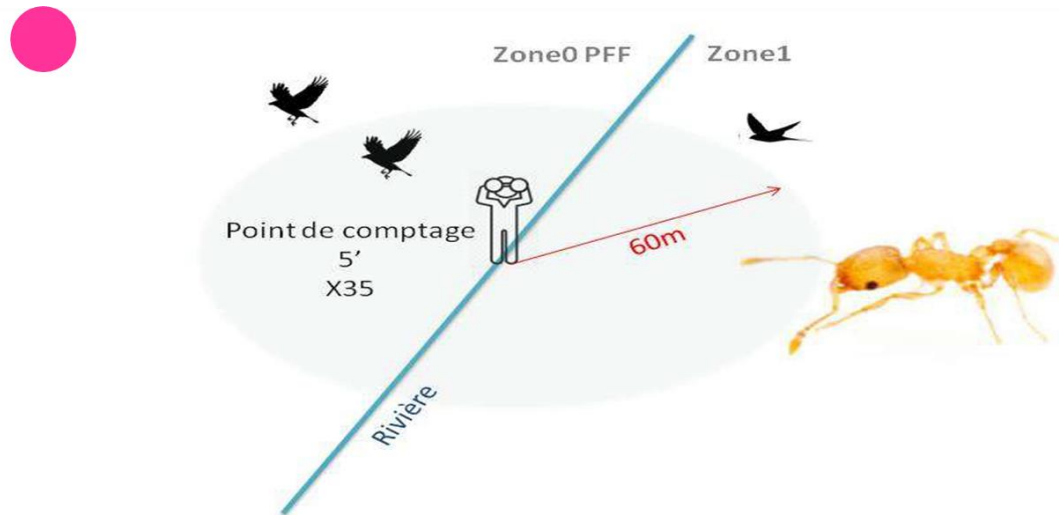


Figure 2. 11 Protocole d'échantillonnage de l'avifaune en zone avec (1) et sans (0) petite fourmi de feu (PFF).

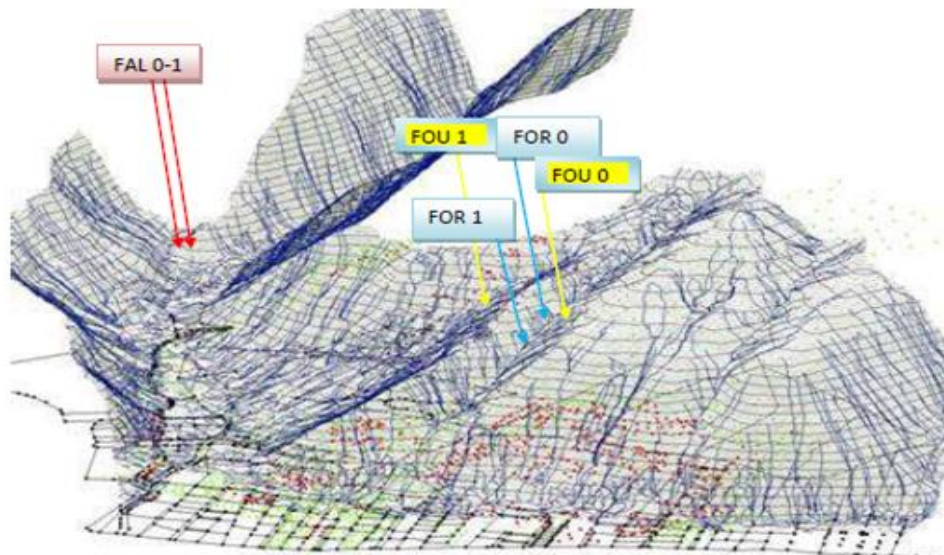


Figure 2. 12 Carte 3D des zones d'études de la PFF. En rouge la localisation des sites 'FAL' d'échantillonnage de l'avifaune à Punauuia, Tahiti. ©G. Peels

2.4. Traitement des données et statistiques

Plusieurs métriques permettent de comparer l'abondance et la biodiversité en invertébrés terrestres sur les sites avec et sans PFF.

Micro-localement

Abondance et diversité moyenne par piège : Les abondances et les diversités moyennes des espèces dans chaque milieu sont comparées grâce à des tests ad hoc de Student (si données paramétriques) ou de Wilcoxon (si données non paramétriques) avec le logiciel de statistique R (R Development Core Team, 2011).

Pour chaque zone infestée, deux types de calculs sont effectués : d'abord en prenant en compte les PFF, ensuite sans les comptabiliser. Cela permet d'estimer le poids de cette fourmi sur l'abondance et la diversité en zone infestée.

Dans le système

Indices de diversité des zones avec et sans PFF : Pour mesurer la diversité spécifique ou biodiversité et ainsi caractériser un peuplement, deux indices sont calculés (Darius et al., 2017 ; Tableau 2.2).

Tableau 2. 2 Comparaison des indices de Shannon-Weaver et de Simpson.

	Indice de Shannon-Weaver	Indice de Simpson
Formule	$H' = - \sum (pi * \ln(pi))$ <p>avec $pi = \frac{ni}{N}$, n étant l'effectif de l'espèce i et N le nombre total d'individus</p>	$D = \sum_{i=1}^s \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$ <p>avec ni l'effectif de l'espèce i, N le nombre total d'individus et S le nombre total d'espèces (ou richesse spécifique)</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Convient bien à l'étude des communautés, car relativement indépendant de la taille des relevés - Donne de l'importance aux espèces rares 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure la probabilité que 2 individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce - Donne de l'importance aux espèces dominantes
Interprétation	<p>Compris entre 0 et $\ln(\text{richesse spécifique})$.</p> <p>Plus H' est élevé, plus la biodiversité est importante</p>	<p>Compris entre 0 et 1.</p> <p>Plus D est proche de 1, plus la biodiversité est faible</p>

Diversité spécifique des zones avec et sans PFF : Les courbes de richesse cumulée permettent d'estimer le nombre d'espèces par extrapolation avec un échantillonnage infini. Les courbes seront obtenues avec la fonction 'specaccum' du logiciel de statistiques R (R Development Core Team, 2011). Elles donnent une bonne estimation de la biodiversité spécifique d'une zone et la représentativité de l'effort d'échantillonnage. La richesse cumulée extrapolée sera estimée par méthode de ré-échantillonnage aléatoire (Palmer, 1990) (bootstrap, jackknife de degré 1 et 2 et méthode de Chao ; ces 4 méthodes d'estimation prennent en compte différemment les occurrences d'espèces rares et l'importance du nombre de répliquas (Chao, 1987, Colwell and Coddington, 1994) avec la fonction 'specpool' de R. La différence de diversité totale entre les zones avec et sans PFF pourra être appréciée.

Différence des communautés fonctionnelles avec et sans PFF : Le nombre d'espèces seul ne permet pas d'apprécier un éventuel changement fonctionnel de l'écosystème (ex. : perte de quelques espèces clefs de voûte comme des décomposeurs, disparition des prédateurs, etc.). Ainsi, nous avons réalisé des tests de permutation (PERMANOVA ; Anderson, 2006) qui permettent de tester la différence de dispersion aux centroïdes des groupes d'espèces avec et sans fourmis. En d'autres termes, ils permettent de tester si les communautés avec et sans PFF sont différentes (avec permutest.betadisperser sous R). Puis une catégorisation des groupes fonctionnels (c.-à-d. : phytophage, prédateur, décomposeur, suceur) a permis de distinguer lesquels étaient les plus affectés par la PFF.

Qualité des territoires et pourcentage d'occurrence : Pour les oiseaux, il est à prévoir que toutes les espèces soient observées sur les zones avec et sans PFF. Cependant, si la qualité d'une zone est

moindre, il est possible que les occurrences (observations) y soient moins nombreuses. Ainsi, les pourcentages d'occurrence observée seront comparés au pourcentage d'occurrence théorique (équilibrée) avec le test binomial exact (fonction 'binom.test' sous R). Si la différence d'occurrence est significative ($p < 0.05$), nous pourrions conclure que moins d'oiseaux fréquentent la zone avec une différence de qualité des zones.

3. Résultats

3.1. Invertébrés du sol

Abondance et diversité moyenne par pièges avec et sans PFF

Dans les deux habitats, les invertébrés piégés sont significativement moins nombreux dans les zones avec PFF (si on ne prend pas en compte les PFF dans les calculs ; Figure 2.13). En zone de fougères, les invertébrés sont simplement remplacés par les PFF tandis qu'en zone de forêt, l'abondance augmente dans les pièges du fait de l'omniprésence de PFF. Sans ces dernières comptabilisées, l'abondance est significativement réduite.

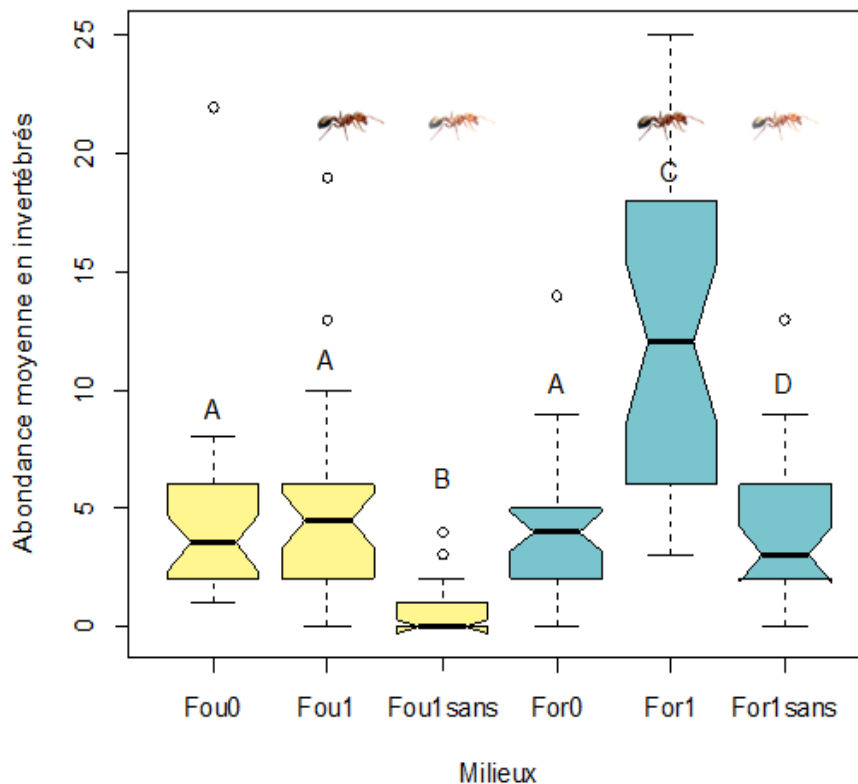


Figure 2. 13 Abondance moyenne par piège à invertébrés dans les zones xérophiles à fougères (Fou) et de forêt humide (For) avec petite fourmi de feu (1) et sans (0) à Punaauia (Tahiti). Les barres de droites pour Fou1 et For1 'sans' indiquent que les PFF sont exclues du calcul. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

En termes de diversité d'espèces, le constat est similaire (Figure 2.14) : en milieu de fougère il y a en moyenne deux espèces par piège en zone indemne, alors qu'en milieu infesté il n'y a plus qu'une espèce : la PFF. En milieu de forêt il y a en moyenne trois espèces par piège en zone indemne, une des espèces est remplacée par la PFF en zone infestée.

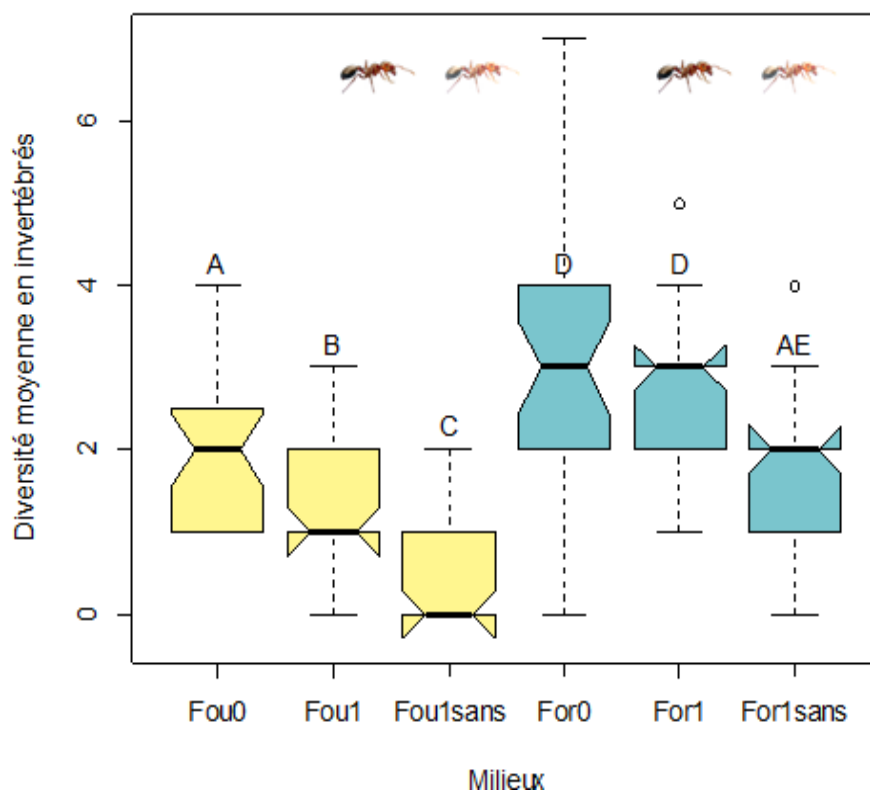


Figure 2. 14 Diversité moyenne par piège à invertébrés dans les zones xérophiles à fougères (Fou) et de forêt humide (For) avec petite fourmi de feu (1) et sans PFF (0) à Punauuia (Tahiti). Les barres de droites pour Fou1 et For1 'sans' indiquent que les PFF sont exclus du calcul. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

Indice de diversité des zones avec et sans PFF (Tableau 2.3)

L'indice de Shannon mesure l'hétérogénéité d'un peuplement ; plus il est élevé, plus la diversité biologique est importante. Cette valeur est plus faible dans les zones avec PFF pour les deux milieux, donc la PFF entraîne une baisse de la biodiversité dans les milieux.

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus pris au hasard appartiennent à la même espèce. Ses valeurs étant plus élevées dans les zones contaminées, ce sont les zones épargnées par la PFF qui semblent présenter la plus grande diversité biologique.

Tableau 2. 3 Indices de Shannon et de Simpson pour les deux milieux étudiés à Punauuia, en absence (0) ou présence (1) de PFF. Les indices avec une plus forte biodiversité relative sont en vert.

	FORÊT		FOUGERES	
	0	1	0	1
Indice Shannon	1,12	0,44	0,57	0,21
Indice Simpson	0,13	0,53	0,43	0,79

Diversité spécifique globale des zones avec et sans PFF

La biodiversité « réelle » du terrain était bien représentée par l'échantillonnage effectué dès lors que plus d'une vingtaine de pièges à insectes a été relevée. Les courbes de richesse cumulée obtenues ont permis d'estimer par extrapolation la diversité spécifique totale (plateau théorique des courbes de richesse cumulée) pour chacun des sites étudiés (Figure 2.15, Figure 2.16 et Figure 2.17). La diversité spécifique locale était, dans chacun des deux milieux, plus importante en absence qu'en présence de PFF. D'autre part, l'interprétation graphique a permis de dire que l'exhaustivité de la diversité était

rapidement atteinte, car appauvrie dans les sites contaminés. En augmentant l'effort d'échantillonnage (le nombre de pièges par site), il est probable que d'autres espèces aient pu être détectées dans les sites sans PFF. A l'inverse, la globalité des espèces présentes en zones envahies appauvries ont probablement été détectées par l'échantillonnage effectué.

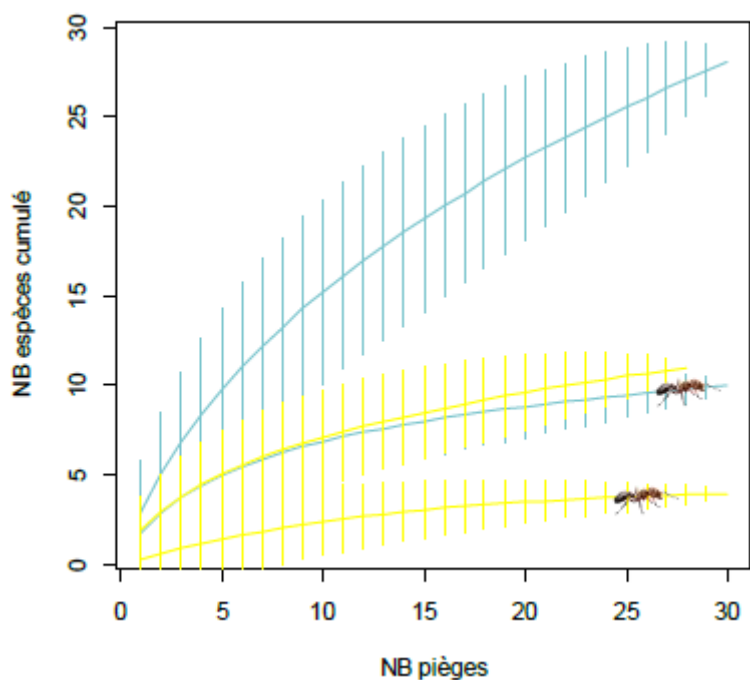


Figure 2. 15 Courbes de richesse cumulée en milieu de forêt humide (bleu) et en milieu xérophile à fougères (jaune) à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs.

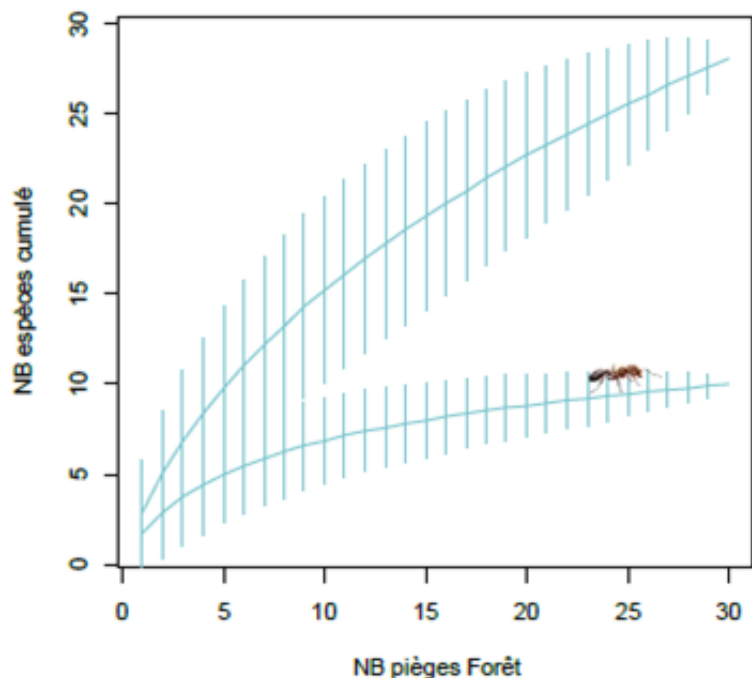


Figure 2. 16 Courbes de richesse cumulée en milieu de forêt humide à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs.

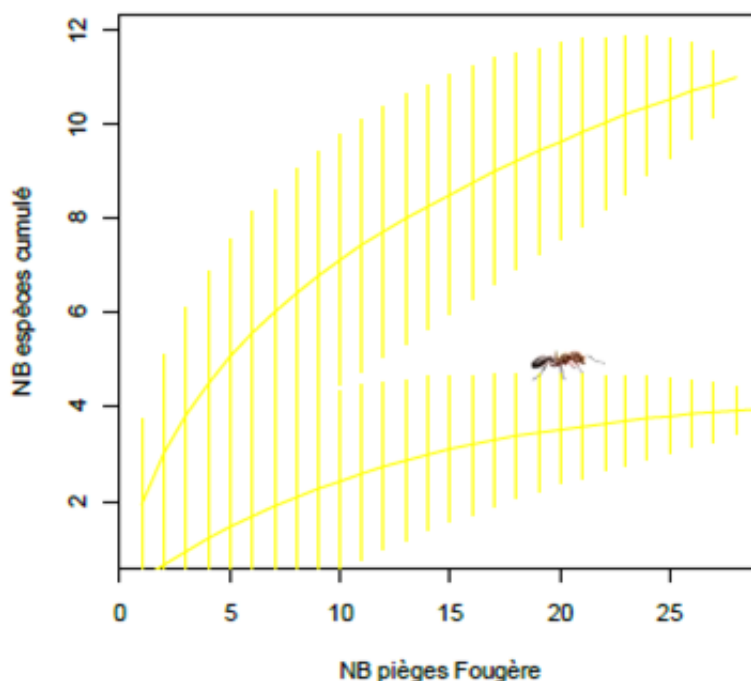


Figure 2. 17 Courbes de richesse cumulée en milieu xérophile à fougères à Punauuia (Tahiti) avec PFF (symbole de la fourmi) et sans PFF. Les PFF ne sont pas comptabilisées dans les calculs.

Specpool : En forêt non infestée, le nombre total d'espèces est estimé au maximum à 49 et en forêt envahie, à 14. En zone de fougères, cette estimation maximale est de 15 en absence de PFF, et de 5 en présence de PFF. Aussi bien en forêt ou dans le milieu de fougères, et quelles que soient les formules d'estimation utilisées, il y a presque trois fois moins d'espèces en présence de PFF, *W. auropunctata* étant incluse dans les calculs (Tableau 2.4 et Tableau 2.5).

Tableau 2. 4 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les 30+28 pièges à insectes dans les zones de forêt avec (FOR.1) et sans PFF (FOR.0) à Punauuia (Tahiti).

	Nb spp identifiées	chao	jackknif1	jackknif2	bootstrap
FOR.0	28	43,8 \pm 11,3	41,5 \pm 4,6	49,2	33,9 \pm 2,5
FOR.1	10	14,4 \pm 7,0	12,9 \pm 1,7	14,8	11,3 \pm 0,9
Facteur	2,8	3,0	3,2	3,3	3,0

Tableau 2. 5 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les 30+30 pièges à insectes dans les zones de fougères avec (FOU.1) et sans PFF (FOU.0) à Punauuia (Tahiti).

	Nb spp identifiées	chao	jackknif1	jackknif2	bootstrap
FOU.0	11	13,6 \pm 3,4	14,9 \pm 1,9	15,9	12,8 \pm 1,2
FOU.1	4	4,5 \pm 1,3	5,0 \pm 1,0	5	4,5 \pm 0,6
Facteur	2,8	3,0	3,0	3,2	2,8

Différence des communautés fonctionnelles avec et sans PFF

Les PERMANOVA sur les communautés infestées et non infestées dans les deux milieux indiquent que les communautés d'invertébrés avec et sans PFF sont significativement différentes dans les zones

de forêt et de fougères (999 permutations, $F= 4.8$, $p=0.029$ & $F= 27.0$, $p<0.001$ respectivement ; Figure 2.18).

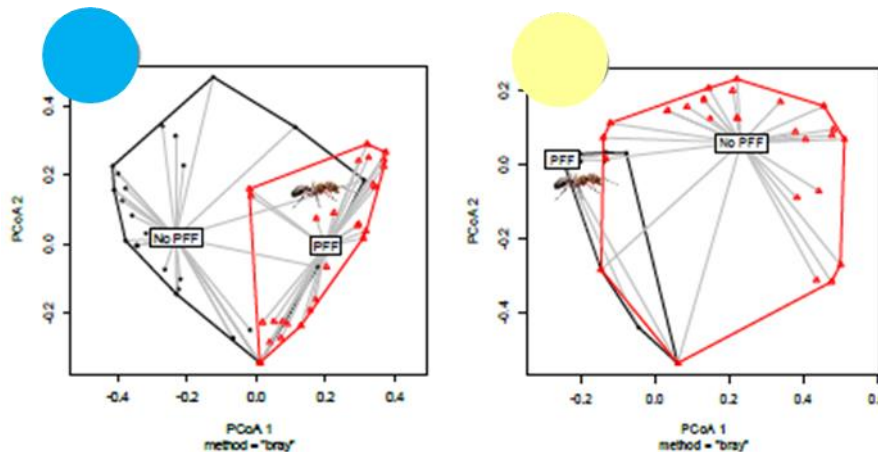


Figure 2. 18 Centroides bidimensionnels des communautés avec et sans PFF, basés sur les pièges à insectes en zone de forêt (gauche) et de fougères (droite) à Punaauia, Tahiti.

Dans les tableaux 2.6 et 2.7, chaque chiffre entre parenthèses correspond au nombre total d'espèces appartenant à la communauté fonctionnelle. La PFF n'est pas comptabilisée.

Les zones sans PFF abritent davantage de groupes fonctionnels que les sites infestés de PFF. Dans les deux milieux, les communautés de fourmis sont très affectées : 4 espèces de fourmis forestières sont totalement absentes en présence de PFF, seule la fourmi folle jaune survit dans ce milieu ; aucune espèce autre que *W. auropunctata* n'est détectée en milieu xérophile. En forêt, les carnivores prédateurs et les phytophages sont également fortement impactés : seule une espèce d'araignées sur 9 arrive à coexister en présence de PFF (Tableau 2.6). En fougère, ce sont les détritivores et saprophytes qui sont davantage touchés : aucun myriapode et un seul collembole a pu être échantillonné en zone infestée (Tableau 2.7, Figure 2.19).

Tableau 2. 6 Groupes fonctionnels et nombres d'espèces présentes en zones de forêt avec et sans PFF en mai 2017.


		Avec PFF 	Sans PFF
OMNIVORES (5)	<i>Fourmis</i>	1	5
DÉTRITIVORES / SAPROPHYTES (9)	<i>Myriapodes, acarien, collemboles, cloportes, moucheron</i>	6	7
CARNIVORES PRÉDATEURS (9)	<i>Arachnides</i>	1	9
PHYTOPHAGES (3)	<i>Escargot, coléoptères, chenille</i>	0	3
PIQUEURS SUCEURS (2)	<i>Aphides</i>	1	1
Autres (3)	/	1	2

Tableau 2. 7 Groupes fonctionnels et nombres d'espèces présentes en zones de fougères avec et sans PFF en mai 2017.




		Avec PFF 	Sans PFF
OMNIVORES (3)	<i>Fourmis</i>	0	3
DÉTRITIVORES / SAPROPHYTES (4)	<i>Myriapodes, collemboles</i>	1	4
CARNIVORES PRÉDATEURS (2)	<i>Arachnides</i>	1	2
PIQUEURS SUCEURS (1)	<i>Aphides</i>	1	1
Autres (1)	/	1	1



Figure 2. 19 Le collembole *Sinella sp* a été détecté en zone forestière humide uniquement lorsque la PFF est absente.
©M. Budde

3.2. Invertébrés nocturnes volants

Tableau 2. 8 Insectes volants comptabilisés sur les pièges nocturnes en milieu de forêt (FOR) et de fougères (FOU), avec PFF (1) ou sans (0).

	FOR.0	FOR.1 	FOU.0	FOU.1 
Nombre d'espèces	3	3	3	9
<i>Lycoriidae (Sciara sp.)</i>	3	1	30	10
Nématocère	0	0	0	5
Culicidae	0	0	0	3
Hétérocère A	2	0	0	0
Hétérocère B	0	2	0	0
Hétérocère C	0	0	2	1
Drosophilidae	0	2	3	0
Muscidae A	1	0	0	1
Muscidae B	0	0	0	1
Muscidae C	0	0	0	1
Muscidae D	0	0	0	2
Muscidae E	0	0	0	1
Nombre d'individus	6	5	35	25

Les invertébrés nocturnes volants capturés n'ont pas pu être déterminés à l'espèce (Tableau 2.8). Le nombre d'espèces piégées est le même pour trois des sites. Dans le quatrième (FOU.1), pourtant infesté, trois fois plus d'espèces ont été observées. En terme quantitatif, les captures sont 5 à 6 fois plus nombreuses en milieu de fougères qu'en forêt : la majorité des individus piégés sont des moucherons et des mouches. En milieu forestier humide, la diversité et l'abondance observées sont nettement plus faibles. Les faibles effectifs ne permettent pas de faire de traitements statistiques.

3.3. Reptile

Seul un reptile (*Emoia cyanura*) a été capturé dans les pièges en zone non infestée de forêt (Figure 2.20). Il ne peut donc y avoir d'analyse statistique sur cette donnée.



Figure 2. 20 *Emoia cyanura* est un reptile trouvé en zone forestière non infestée par les PFF. ©PL Stenger

3.4. Avifaune

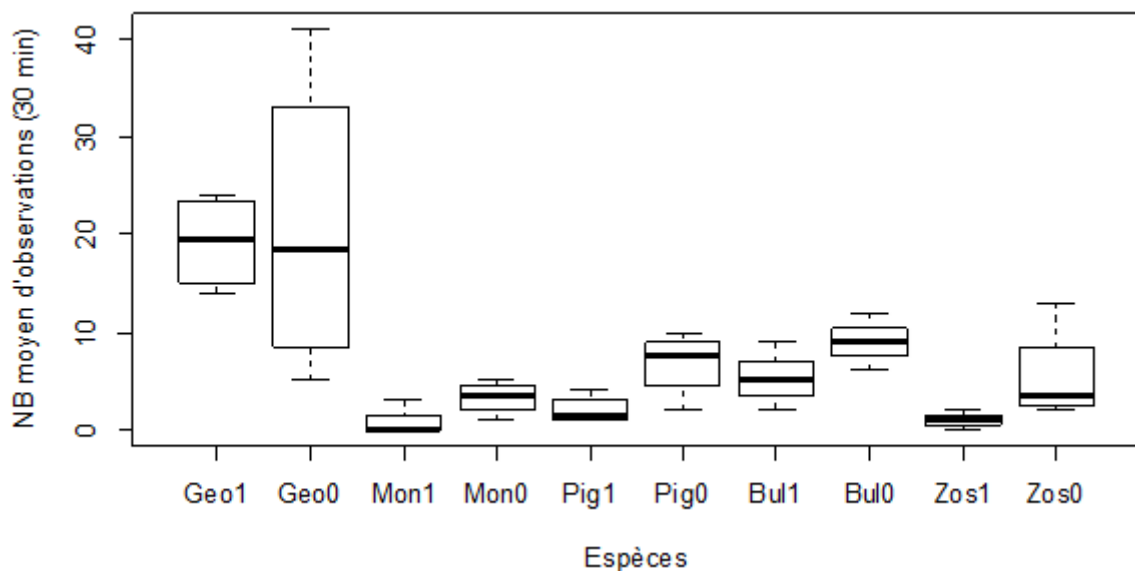


Figure 2. 21 Probabilités de rencontre de l'avifaune pour 30 minutes d'observation dans le canyon de Maruapo, sur rive avec (1) et sans PFF (0). Les diminutifs des espèces désignent, de gauche à droite : la Géopélie striée (*Geopelia striata*), le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*), le Ptilope de la Société (*Ptilinopus purpuratus*), le Bulbul à ventre rouge (*Picnonotus cafer*) et le Zostérops (*Zosterops lateralis*).

Les 40 points de recensement de 5 minutes ont été effectués le 7 et 15 juin 2017 : ils ont permis d'observer 340 oiseaux de 7 espèces différentes. Les observations de monarques, zostérops et pigeons verts sont proches de 0 pour 5 à 30 minutes en zones infestées (Figure 2.21). Globalement, toutes les espèces sont présentes sur les deux rives, avec des probabilités d'occurrences nettement différentes. La rive avec PFF est significativement moins abondante en oiseaux (38.2% ; IC95 [32.60 – 44.0%] ; $p < 0.001$).

La géopélie (granivore) est la seule espèce fréquentant de manière équitable les rives avec et sans PFF. L'espèce insectivore considérée, le Monarque de Tahiti, fréquente significativement moins la rive infestée (18.7% ; IC95 [4.0–45.6%] ; $p < 0.001$). Similairement, les pigeons verts, zostérops, bulbul fréquentent moins la rive infestée que la rive indemne (Tableau 2.9).

Des martins-chasseurs ainsi que des coqs bankiva (poules et coqs) ont été observés (respectivement $N=3$ et $N=7$), mais ces faibles effectifs ne permettent pas d'analyses pour tirer des conclusions.

Tableau 2. 9 Données d'observation de l'avifaune sur les sites avec (FAL.1) et sans PFF (FAL.0). Nombre d'individus répertoriés, pourcentage d'occurrence dans la zone non infestée avec son intervalle de confiance à 95% et résultats du test binomial exact (différence significative par rapport à une répartition équilibrée lorsque $p\text{-value} < 0,05$).

Régime alimentaire	Espèces	FAL.0	FAL.1	% d'occurrence en FAL.0	Test binomial exact
Granivore	Géopélie (<i>Geopelia striata</i>)	83	75	52,5	NS : $p=0.57$ IC ₉₅ [44.4 – 60.5]
Insectivore	Monarque (<i>Pomarea nigra</i>)	13	3	81,3	$p < 0.001$ IC ₉₅ [54.3 – 95.9]
Frugivore	Pigeon vert (<i>Ptilinopus purpuratus</i>)	27	8	77,1	$p < 0.001$ IC ₉₅ [59.8 – 89.6]
Omnivore	Bulbul (<i>Picnonotus cafer</i>)	35	19	64,8	$p < 0.04$ IC ₉₅ [50.6 – 77.3]
Omnivore	Zostérops (<i>Zosterops lateralis</i>)	20	3	87,0	$p < 0.001$ IC ₉₅ [66.4- 97.2]
Insectivore	Martin chasseur (<i>Todiramphus veneratus</i>)	2	1	66,7	NS : $p=1$ IC ₉₅ [9.4-99.1]
Omnivore	Poule/coq (<i>Gallus gallus</i>)	3	4	42,9	NS : $p=1$ IC ₉₅ [9.9-81.6]
Toutes espèces confondues		181	113	61,8	$p < 0.001$ IC ₉₅ [56.0 – 67.4]

4. Discussion

4.1. Invertébrés du sol

En forêt humide

Dans les sites infestés étudiés, la densité de petites fourmis de feu était très élevée ; l'abondance globale des autres espèces et la diversité biologique y étaient nettement plus faibles qu'en forêt non envahie. La petite fourmi de feu a érodé la biodiversité locale, divisant par 3 le nombre d'espèces d'invertébrés terrestres présents dans les territoires colonisés.

La petite fourmi de feu s'est approprié les ressources aussi bien trophiques que spatiales. Cette espèce s'est structurée sur le terrain en supercolonie et n'a pas formé de fourmilières, mais des nids interconnectés qui pouvaient occuper une grande surface de manière continue, laissant très peu de place aux autres espèces terrestres. La myrmécofaune a été particulièrement touchée. Seule la fourmi folle (*Anoplolepis gracilipes* ; Smith, 1857), autre espèce invasive, a appliqué une stratégie adaptative lui permettant de survivre dans cet environnement : nettement plus grosse et plus rapide que *W. auropunctata*, elle a pu davantage occuper la strate arborée et réagir aux perturbations brutales du milieu.

La petite fourmi de feu a totalement évincé les insectes phytophages, a perturbé l'abondance et la diversité des détritivores et saprophytes, et a éliminé de nombreuses espèces carnivores prédatrices, comme les araignées. Elle a donc modifié de manière importante le cycle de la matière, notamment celui du carbone, la chaîne alimentaire et les équilibres proies-prédateurs, impactant des animaux d'un gabarit supérieur qui ne sont pas parvenus à s'adapter à un milieu changeant colonisé par la PFF. En milieu insulaire dysharmonique et présentant généralement une faible diversité (Doherty et al., 2016 ; Lieberman et al., 1994), la résistance et la résilience des écosystèmes sont faibles (Loreau et al., 2002 ; Loreau and Mazancourt, 2013): lorsqu'une espèce est éliminée, la niche écologique qu'elle laisse alors vacante ne va pas forcément être occupée par une nouvelle espèce locale, mais elle peut l'être par une espèce invasive et hypercompétitrice comme la petite fourmi de feu. De cette manière, cette espèce ubiquiste peut rapidement coloniser un grand nombre de niches dans des milieux forestiers comme ceux étudiés.

Les seules populations favorisées par la présence de PFF semblaient être celles d'un acarien et d'un puceron. Les homoptères producteurs de miellat comme les cochenilles ou les pucerons n'étaient pas éliminés par la petite fourmi de feu, car elle apprécie particulièrement la substance sucrée que ces insectes peuvent lui fournir (Bruneau De Miré, 1969). L'une des ressources alimentaires de cette petite fourmi pourrait donc être le miellat issu des pucerons dans cette zone forestière (Fasi et al., 2013). En ce qui concerne les acariens, qui étaient nettement plus nombreux en zone infestée qu'en milieu indemne, nous pouvons émettre plusieurs hypothèses : soit ils étaient associés à *W. auropunctata* et facilitaient l'établissement des populations de PFF, soit leurs niches écologiques ne se chevauchaient pas et les deux espèces pouvaient cohabiter, la fourmi éliminant les prédateurs et/ou compétiteurs des acariens, ce qui pourrait expliquer leur prolifération.

La colonisation par la petite fourmi de feu dans ce contexte forestier insulaire a induit une modification profonde des communautés fonctionnelles, aussi bien en terme qualitatif que quantitatif. Toutes les espèces d'invertébrés terrestres semblaient impactées, et très peu l'étaient positivement. Ce dérèglement global des écosystèmes insulaires de Tahiti impliquant d'une part la disparition ou le déplacement de nombreuses espèces et la prolifération de certaines espèces (pucerons) n'est pas sans rappeler les conséquences désastreuses de l'invasion d'autres îles du Pacifique par d'autres espèces de fourmis envahissantes dans les milieux forestiers (O'Dowd et al., 2003).

En milieu xérophile de fougères

Dans les zones de fougères, la présence de petites fourmis de feu a entraîné une diminution significative de l'abondance et de la diversité des espèces locales (ou en tout cas, des espèces présentes avant la colonisation). Il semblait y avoir approximativement 3 fois moins d'espèces en zones envahies par *W. auropunctata* qu'en zones indemnes.

En contexte xérophile de fougères, aucune autre espèce de fourmi n'a été détectée. Les autres communautés les plus affectées étaient les détritivores et saprophytes, ce qui a eu des conséquences probablement néfastes sur le cycle de la matière, la qualité de l'humus, la chaîne alimentaire, etc. (Del Toro et al., 2012) Les probables répercussions sur les équilibres écologiques concernaient aussi bien le cycle de la matière que la faune et la flore autochtones des zones touchées.

Toutefois, aucune augmentation de population n'a été observée dans ces milieux de fougères : les pucerons notamment n'étaient ni plus nombreux, ni plus diversifiés dans le site infesté. S'il n'y avait pas d'aphides, la production de miellat était nettement plus faible que sur le site forestier précédent. En considérant uniquement nos résultats, les petites fourmis de feu semblaient donc agir différemment et leur régime alimentaire pourrait être milieu-dépendant : les pucerons étaient utilisés uniquement en forêt où les ressources de miellat étaient disponibles, et en contexte de fougères, la stratégie alimentaire s'est adaptée aux cortèges végétaux présents.

4.2. Invertébrés nocturnes volants

Il semble que l'abondance et la diversité de la petite faune nocturne aient été plus élevées en milieu xérophile qu'en contexte forestier, que la petite fourmi de feu ait été présente ou non. En forêt, les résultats n'ont pas permis d'observer une différence, même minime, entre les deux sites. Dans les fougères cependant, le site infesté présentait davantage d'espèces, mais une abondance plus faible que le site non envahi : cela peut être dû à la diminution des communautés d'insectes prédateurs ou compétiteurs, qu'ils soient terrestres ou volants, suite à la colonisation du milieu par *W. auropunctata*. De nouvelles niches écologiques ont été libérées, laissant la place à des invertébrés volants qui auparavant, n'occupaient pas ce type de milieu.

Toutefois, l'expérience a été réalisée une seule fois donc les résultats sont valables uniquement à un instant t, pour un endroit donné. Les conclusions ne sont donc pas généralisables à d'autres contextes.

4.3. Avifaune

La rive non envahie semblait être la plus fréquentée par la majorité des oiseaux (en nombre d'individus et en nombre d'espèces) : le monarque de Tahiti, le pigeon vert, le bulbul et le zostérops peuvent trouver leur nourriture en hauteur dans les arbres ou plus bas, proche ou sur le sol. Le martin-chasseur était quant à lui majoritairement présent le long de la rivière, surtout dans la zone non infestée, car les cours d'eau peuvent lui apporter les mollusques ou petits poissons qui complètent son alimentation. Toutes ces espèces semblaient donc fréquenter en priorité les zones indemnes de *W. auropunctata*, car cette fourmi pouvait soit les déranger directement par ses piqûres, soit diminuer ou éliminer les espèces d'insectes proies (comme on a pu le confirmer précédemment dans les autres sites d'études). Les oiseaux allaient donc dans les zones où la nourriture était suffisante et la perturbation moindre. Une diminution de la qualité de l'habitat risquait d'entraîner un abandon du territoire ou de baisser la production de jeunes.

La géopélie ne semblait pas particulièrement être dérangée alors que le colombidé endémique de l'île, le Ptilope de la Société, était significativement affecté par sa présence. Les oiseaux réagissaient donc différemment à la présence de petites fourmis de feu sur leurs territoires de chasse. Certains semblaient avoir une sensibilité moindre ou ne pas être affectés par la disparition des proies (ce qui était normal pour les géopélies qui sont granivores). Les PFF consomment-elles également les fruits

ou diminuent-elles la fructification des espèces dans les zones touchées (effets indirects en altérant les pollinisateurs) ?

Restait le risque que la zone choisie pour évaluer l'impact sur les oiseaux soit biaisée par une préférence de la rive droite par rapport à la rive gauche uniquement pour des raisons trophiques ou de différence d'habitat. La meilleure preuve de l'existence d'un tel biais serait de retourner faire ces comptages une fois la PFF éliminée par les épandages par drone (ou sérieusement diminuée), mais avec un temps de latence suffisant pour permettre le rétablissement des écosystèmes (là encore il y aura un biais possible, mais qui diminuera dans la durée).

5. Conclusion

La petite fourmi de feu a entraîné une baisse significative de la diversité biologique dans les deux milieux insulaires étudiés, en zone xérophile de fougères et en contexte forestier à Tahiti. Dans chaque cas, tout l'écosystème a profondément été modifié. Dans tous les milieux, il y a eu une altération de l'écosystème, par réduction du nombre d'individus et d'espèces (divisé par trois pour les invertébrés du sol) voir de groupe fonctionnel entier (phytophages, etc.). La flore a elle aussi été impactée, notamment lorsque les populations d'homoptères favorisées par les fourmis comme les pucerons étaient importantes : cet aspect mériterait une étude plus approfondie afin de déterminer les conséquences exactes d'une telle invasion (voir Fasi et al., 2013 pour un exemple d'aphide favorisé par les PFF et ayant un impact dans les jardins).

L'invasion de territoires par *W. auropunctata* bouleverse les équilibres écologiques à Tahiti comme dans les autres îles étudiées (Bousseyrroux et al. Soumis). Les écosystèmes insulaires subissent depuis longtemps une érosion de la biodiversité ; aujourd'hui, la propagation d'autres nouvelles espèces comme la petite fourmi de feu affaiblit encore un peu plus les écosystèmes autochtones et pourrait faire disparaître des espèces qui ont pour l'instant résisté à l'extinction. Sur l'île de Tahiti en Polynésie française, cette invasion menace par exemple directement le Monarque de Tahiti en danger critique d'extinction (IUCN, 2017). Cependant des traitements sont en cours, et la biosécurité peut permettre de limiter les dégâts écologiques et la propagation de la PFF.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe technique de la Société d'Ornithologie de Polynésie, notamment Laurent Yan, Josquin Michoud-Schmidt, Vaiana Maraetefau, Teiva Maraetefau, Vaitearai Arapa, Maya Tehau et Gianluca Lazzari, pour leur implication quotidienne dans les actions de lutte contre les petites fourmis de feu. Nous remercions également Thibault Ramage pour son aide précieuse à l'identification de fourmis, et Pierre-Louis Stenger pour ses conseils avisés. Enfin, nous remercions la DIREN pour leur soutien financier indispensable à la réalisation de ce projet.

Références

- Anderson, M. J. (2006). Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions, *Biometrics*, 62(1), pp. 245-253.
- BirdLife International (2017). Important Bird Areas factsheet: Vallées Maruapo, Papehuet, Hopuetamai et Orofero. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 08/09/2017.
- Blanvillain, C., Peels, G. and Bousseyrroux, A. (2017). Plan opérationnel pour l'éradication de mégacolnies de petite fourmi de feu y compris celle située dans une falaise dans le cadre de la sauvegarde du monarque de Tahiti, oiseau endémique en danger critique d'extinction (Polynésie française). SOP Manu, Taravao, Tahiti.

Rapport final de l'étude de la PFF à Tahiti – SOP Manu

- Bousseynroux, A., Blanvillain, C. and Beaune, D. (2017). La petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) : impacts écologiques en zone infestée dans le monde et risques en Polynésie. Taravao, Tahiti: Société d'Ornithologie de Polynésie, SOP Manu.
- Bruneau De Miré, P. (1969). Une fourmi utilisée au Cameroun dans la lutte contre les mirides du cacaoyer: *Wasmannia auropuncta* Roger, *Café, Cacao, Thé*, 13(3), pp. 209-212.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability, *Biometrics*, pp. 783-791.
- Colwell, R. K. and Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 345(1311), pp. 101-118.
- Darius, T., Bousseynroux, A. and Beaune, D. (2017). Impacts écologiques de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) sur les invertébrés de Tahiti.
- Del Toro, I., Ribbons, R. R. and Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae), *Myrmecological News*, 17, pp. 133-146.
- Doherty, T. S., Glen, A. S., Nimmo, D. G., Ritchie, E. G. and Dickman, C. R. (2016). Invasive predators and global biodiversity loss, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 113(40), pp. 11261-11265.
- Fasi, J., Brodie, G. and Vanderwoude, C. (2013). Increases in crop pests caused by *Wasmannia auropunctata* in Solomon Islands subsistence gardens, *Journal of Applied Entomology*, 137(8), pp. 580-588.
- Gunawardana, D. and Sarnat, E. (2007). Pacific Invasive Ants Taxonomy Workshop. *Workshop Manual*.
- IUCN (2017). The IUCN Red List of Threatened Species, <http://www.iucnredlist.org/>, (Accessed June 2011).
- Lieberman, A., Kuehler, C., Varney, A. and Everett, W. (1994). Island conservation: A Biological imperative, *Zoonoos*, pp. 18-21.
- Loreau, M. and Mazancourt, C. (2013). Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms, *Ecology letters*, 16(s1), pp. 106-115.
- Loreau, M., Naeem, S. and Inchausti, P. (2002). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives. Oxford: Oxford University Press.
- O'Dowd, D. J., Green, P. T. and Lake, P. S. (2003). Invasional 'meltdown' on an oceanic island.
- Palmer, M. W. (1990) 'The estimation of species richness by extrapolation', *Ecology*, 71(3), pp. 1195-1198.
- Paulian, R. (1998). Les insectes de Tahiti. Paris: Editions Boubée.
- R Development Core Team (2011). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Available at: <http://www.R-project.org>.
- Seguin, C. C. F. (2015). Etat de l'environnement en Polynésie Française 2007/2014. Direction de l'Environnement, Polynésie Française, Tahiti.

Chapitre 3 Impact écologique des traitements chimiques liés à la lutte contre la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti*

Alice Bousseyroux^a, Vaihiti Teaniniuraitemoana^a, Caroline Blanvillain^a & David Beaune^a

^aSociété d'Ornithologie de Polynésie française, SOP Manu
B.P. 7023, 98719 Taravao, Tahiti – Polynésie française

*Rapport technique (05/2018) : Alice Bousseyroux, Vaihiti Teaniniuraitemoana, Caroline Blanvillain, David Beaune (2018) Impact écologique des traitements chimiques liés à la lutte contre la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti. Rapport technique. SOP Manu, Taravao Tahiti. 32 pp.

Résumé

La petite fourmi de feu (PFF) (*Wasmannia auropunctata*) est une espèce envahissante à l'expansion pantropicale. La présente étude est la première réalisée à Tahiti afin d'évaluer l'impact des traitements chimiques liés à la lutte contre cette espèce exotique en Polynésie Française. Les observations ont été réalisées dans trois types d'habitats différents : une forêt humide, un milieu xérophile de fougères et un canyon entouré de falaises. Dans les trois cas, une zone avec et une zone sans PFF ont été étudiées avant tout traitement chimique et après un puis deux traitements. Les résultats montrent que dans la plupart des sites observés, ces actions anthropiques ont permis une augmentation significative du nombre et de l'abondance d'autres espèces d'invertébrés terrestres. Seule la zone de forêt initialement indemne de PFF semble avoir subi un impact relativement négatif. Ainsi, les molécules utilisées pour éradiquer *W.auropunctata* semblent cibler correctement l'espèce et permettre aux écosystèmes d'évoluer vers un nouvel équilibre écologique. Toutefois, le protocole d'éradication de la PFF des zones étudiées n'est pas achevé donc cet équilibre ne sera sans doute atteint qu'après le dernier épandage et l'arrêt de perturbations anthropiques majeures.

Mots clés

Wasmannia auropunctata, Hyménoptère, invasion biologique, lutte chimique, impacts écologiques, conservation insulaire, biosécurité, Tahiti

1. Introduction

La petite fourmi de feu (PFF) (*Wasmannia auropunctata*) est une espèce envahissante qui engendre des dégradations environnementales conséquentes dans tous les milieux dans lesquels elle a été introduite, avec des réponses variables (Bousseyroux et al., 2017). Des tentatives de contrôle (éradication ou limitation) de cet hyménoptère ont été réalisées dans de nombreux pays infestés tels que la Nouvelle-Zélande, Hawaii ou encore la Nouvelle Calédonie. Aucun traitement biologique convaincant n'étant connu à ce jour, les traitements mis en place sont de nature chimique. Les molécules répandues dans l'environnement nuisent aux PFF et donc à certaines catégories faunistiques et/ou floristiques des milieux touchés. Le but de cette étude est d'évaluer ces impacts écologiques sur la faune des écosystèmes à Tahiti, première île infestée de Polynésie Française. En comparant certains

écosystèmes avec et sans fourmis, puis avec et sans traitements chimiques, des stratégies de conservation adaptées pourront être mises en place afin de réduire au maximum les nuisances sur la biodiversité locale. En d'autres termes, vaut-il mieux laisser la PFF prospérer ou tenter de l'éradiquer par une méthode chimique ?

Les recherches se sont concentrées sur une zone clef de la biodiversité (ZCB) tahitienne (BirdLife International, 2017) : les « Vallées de Maruapo, Papehue, Hopuetamai et Orofero » et leurs abords parfois infestés par la PFF. Trois habitats représentatifs de ces écosystèmes naturels terrestres ont été étudiés dans des zones avec et sans PFF, avant tout traitement chimique (état initial) puis à deux niveaux d'avancée du traitement. Ces habitats sont : 1) un milieu xérophile (sec) de fougères, 2) une forêt humide et enfin 3) un canyon et ses falaises.

Les groupes taxinomiques observés lors de ce travail étaient les plus représentatifs de la biodiversité animale tahitienne : les invertébrés du sol et l'avifaune (oiseaux). Les impacts sur les mammifères (tous d'origine exogène) ainsi que sur les peuplements végétaux n'ont pas été abordés.

2. Matériel & Méthode

2.1. Sites d'étude

(voir Chapitre 2 – 2. Matériel & Méthode – 2.1. Site d'étude)

2.2. Périodes d'échantillonnage et de traitement chimique sur les sites d'études

Les sites FOR.0, FOR.1, FOU.0 et FOU.1 ont été une première fois échantillonnés pour l'entomofaune en mai 2017 (Bousseyroux et al, 2017), puis ils ont tous les quatre reçu des traitements à base de Fipronil en juillet et septembre 2017 (Figure 3.1a). Ils ont été ré-échantillonnés en juillet après une application puis en novembre 2017 après deux applications.

La répartition de l'avifaune entre les sites FAL.0 et FAL.1 a été enregistrée en juin 2017 (état initial) puis le site FAL.1 a reçu deux épandages de S-Méthoprène en août et novembre 2017 et deux épandages à base d'hydraméthylnon en octobre 2017 et janvier 2018 (Figure 3.1b). Ces sites ont été ré-échantillonnés en janvier 2018 (état après 3 applications chimiques).

Les principes, effets et dosages des traitements ont été décrits par Blanvillain et Bousseyroux (2017). Brièvement, le traitement à base de Fipronil est composé d'une pâte faite localement à base de SKIPPY® (Hormel Foods) et d'huile de tournesol (recette de Laurent YAN, technicien de la SOP Manu). Les épandages dans la falaise FAL.1 ont été faits avec des granulés de maïs expansé contenant du S-méthoprène à 5 g/Kg à la dose de 4 kg/ha en alternance avec des granulés de maïs expansé contenant de l'hydraméthylnon à 7,3 g/Kg à la dose de 6.7 kg/ha. A chaque fois, les doses recommandées par les fabricants ont été doublées pour compenser leur usage en zone de falaise et leur dispersion aérienne à l'aide d'un drone (Blanvillain et Bousseyroux, 2017).

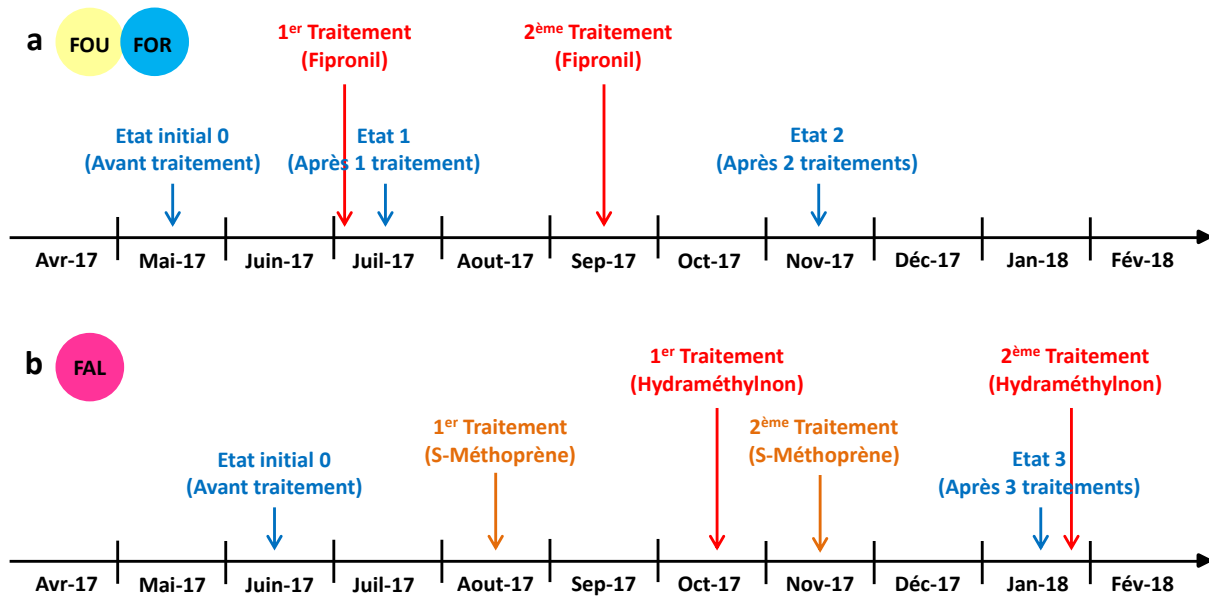


Figure 3. 1 Calendrier d'échantillonnage et de traitement chimique en zone xérophile de fougères et de forêt humide (FOU et FOR) (a), et en zone de falaise (FAL) (b).

2.3. Echantillonnage de la biodiversité

Présentation de la petite faune terrestre

(voir Chapitre 2 – 2. Matériel & Méthode – 2.3. Echantillonnage de la biodiversité – *Présentation de la petite faune terrestre*)

Méthode de collecte

Des pièges au sol non létaux (*pitfall traps* ; Figure 2.6) en plastique lisse de 12 cm de haut et 8 cm de diamètre environ ont permis d'échantillonner les animaux terrestres présents sur les zones d'études.

En forêt et en zone de fougères, 30 pièges puits ou *pitfall traps* ont été installés simultanément sur chaque site avec et sans PFF (Figure 2.7 et Figure 2.8), avant traitement, après une application puis après deux application du traitement chimique au fipronil.

Les *pitfall traps* ont été posés tous les deux mètres, le long de transects non parfaitement rectilignes de 60 mètres de long. Les pièges vides ont été enterrés à l'aide d'une pelle et d'une barre à mine, leurs bords alignés avec la surface du sol. Le dispositif restait en place 24 heures par temps sec. Par choix éthique, aucune substance létale n'a été utilisée afin de préserver les animaux capturés (potentiellement endémiques) : ils ont été relâchés dans le milieu après avoir été identifiés lors des relevés. Seuls quelques individus que l'on souhaitait déterminer avec davantage de précision ont été prélevés puis observés à la loupe binoculaire.

Cette méthode non létale a des limites : en plus des individus susceptibles de ressortir des pièges, les proportions de chaque espèce dans les pots n'ont pas forcément traduit leur abondance relative dans le milieu, les animaux collectés étant ceux vivant à la surface du sol. Cependant, les biais étaient les mêmes pour toutes les expérimentations, donc la comparaison entre sites du même habitat restait pertinente.

L'avifaune

En Juin 2017 (état initial), des sessions d'échantillonnage par écoute et observation directe ont eu lieu entre 9h00 et 11h00 à des points fixes durant quatre jours non successifs, pour un total de 35 points de comptage de 5 minutes chacun. En janvier 2018 (état après traitement), les observations ont eu lieu

deux jours non successifs de 9h00 à 13h00 pour un total de 40 points de comptages. Trois zones étaient différenciées : rive infestée (puis traitée), rivière (traitée) et rive non infestée. Tous les oiseaux identifiés dans un rayon de 60 m autour de l'observateur ont été comptabilisés (Figure 2.11).

Cependant, la rivière et son lit constituaient une zone tampon séparant les deux rives. Les fourmis y étaient initialement réparties non uniformément : elles étaient présentes notamment du côté de la rive infestée et dans une partie du lit (rivière à sec lors des sessions d'échantillonnage). Les données correspondant à la rivière ne sont donc pas présentées ici ni prises en compte dans les calculs. Les observations ont été faites par temps dégagé, sans vent : la météo est un facteur pouvant influencer la diversité et l'abondance de l'avifaune localement. Ces comptages ont permis d'établir l'évolution de la répartition des oiseaux sur les sites FAL.0 et FAL.1 à différents stades du traitement anti-PFF, dans le vallon encaissé de Maruapo (Figure 2.12).

Etaient potentiellement présents dans ces deux zones d'étude FAL.0 et FAL.1 : le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*) ; le Martin-chasseur vénéré (*Todiramphus veneratus*) ; le Ptilope de la Société (*Ptilinopus purpuratus*) ; l'Hirondelle de Tahiti (*Hirundo tahitica*). Cette dernière se posant rarement en dehors de la zone de la rivière, elle n'a pas été comptabilisée. Etaient présents également dans la zone d'étude plusieurs espèces d'oiseaux introduits : le Bulbul à ventre rouge (*Picnonotus cafer*) ; le Zostérops (*Zosterops lateralis*) ; des poules et coqs (*Gallus gallus*) ; la Géopélie striée (*Geopelia striata*).

2.4. Traitement des données et statistiques

Plusieurs métriques permettent de comparer l'abondance et la biodiversité en invertébrés terrestres sur les sites avec et sans PFF.

Micro-localement

Abondance et diversité moyenne par piège : Les abondances et les diversités moyennes des espèces dans chaque milieu sont comparées grâce à des tests ad hoc de Student (si données paramétriques) ou de Wilcoxon (si données non paramétriques) avec le logiciel de statistique R (R Development Core Team, 2011).

Pour chaque zone traitée, deux types de calculs sont effectués : d'abord en prenant en compte les PFF, ensuite sans les comptabiliser. Cela permet d'estimer le poids de cette fourmi sur l'abondance et la diversité en zone infestée.

Dans le système

Indices de diversité des zones avec et sans PFF/traitements : Pour mesurer la diversité spécifique ou biodiversité et ainsi caractériser un peuplement, deux indices sont calculés (Darius et al., 2017, Tableau 2.2).

Diversité spécifique des zones avec et sans PFF/traitements : Les courbes de richesse cumulée permettent d'estimer le nombre d'espèces par extrapolation avec un échantillonnage infini. Les courbes seront obtenues avec la fonction 'specaccum' du logiciel de statistiques R (R Development Core Team, 2011). Elles donnent une bonne estimation de la biodiversité spécifique d'une zone et la représentativité de l'effort d'échantillonnage. La richesse cumulée extrapolée sera estimée par méthode de ré-échantillonnage aléatoire (Palmer, 1990) (bootstrap, jackknife de degré 1 et 2 et méthode de Chao) ; ces 4 méthodes d'estimation prennent en compte différemment les occurrences d'espèces rares et l'importance du nombre de répliquas (Chao, 1987, Colwell and Coddington, 1994)

avec la fonction 'specpool' de R. La différence de diversité totale entre les zones avec et sans PFF, avant et après traitements chimiques, pourra être appréciée.

Qualité des territoires et pourcentage d'occurrence : Pour les oiseaux, il est à prévoir que toutes les espèces soient observées sur les zones avec et sans PFF/traitements, quel que soit le stade de traitement des zones. Cependant, si la qualité d'une zone est moindre due aux applications chimiques par exemple, il est possible que les occurrences (observations) y soient moins nombreuses. Ainsi, les pourcentages d'occurrence observée seront comparés au pourcentage d'occurrence théorique (équilibrée) avec le test binomial exact (fonction 'binom.test' sous R). Si la différence d'occurrence est significative ($p < 0.05$), nous pourrions conclure que moins d'oiseaux fréquentent la zone avec une différence de qualité des zones. Les valeurs absolues d'oiseaux présents à chaque comptage seront également comparées.

3. Résultats

3.1. Invertébrés du sol

Abondance et diversité moyenne

Les abondances et diversités moyennes sont présentées pour les zones initialement infestées de PFF, tout d'abord pour le site xérophile de fougères (FOU.1) puis pour celui en forêt humide (FOR.1). Les données pour les zones initialement indemnes de PFF (FOU.0 et FOR.0) mais qui ont été traitées quand même sont ensuite exposées.

En zone xérophile de fougères initialement infestée :

Dans la zone de fougères initialement infestée, on observe que l'abondance moyenne globale (en comptant les PFF, en bleu sur la Figure 3.2) diminue fortement passant de 5 individus à un seul dès la première phase de traitement entre mai et juillet, puis cette abondance stagne ; lorsqu'on ne compte pas les PFF dans les calculs, on constate que l'abondance moyenne en invertébrés (en orange sur la Figure 3.2) augmente dans un premier temps passant de 0 à 1, puis diminue de manière non significative. La diminution brutale du nombre total d'invertébrés capturés (en bleu) est donc due à l'élimination de petites fourmis de feu, qui semblent avoir été particulièrement touchées par les épandages. En juillet et novembre, dans les deux cas de figure, les échantillons ne sont pas statistiquement différents, donc les petites fourmis de feu sont peu ou pas représentées dans ces groupes.

En ce qui concerne la diversité en invertébrés (Figure 3.3), on constate que les résultats pour le mois de mai sont significativement différents selon si on compte ou pas les PFF dans les calculs : une seule espèce en moyenne est capturée, et il semble que ce soit *W. auropunctata*. En juillet, les résultats sont statistiquement similaires dans les deux cas, l'influence de la PFF est donc très faible ou nulle. En novembre en moyenne, une espèce est présente dans les pots, il s'agit de la PFF ; les groupes statistiques ne sont cependant pas différents donc l'influence de la fourmi est faible.

Le poids de la PFF dans les calculs est donc maximal lors de l'état initial : la présence de la petite fourmi de feu y est très marquée au sein du cortège d'espèces. En effet, lors de l'échantillonnage de mai, la PFF est souvent la seule espèce identifiée dans les pots, et ses individus constituent la grande majorité des captures. Dès les premiers traitements, cette proportion de PFF parmi la biodiversité totale échantillonnée diminue. En novembre, l'espèce est toujours présente mais n'est plus majoritaire.

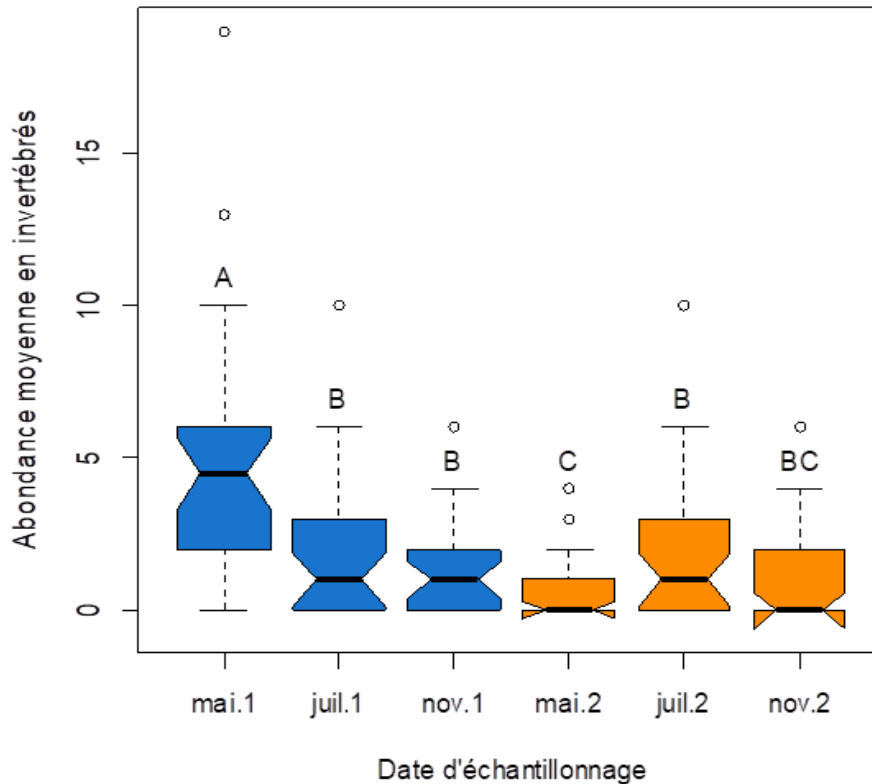


Figure 3. 2 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

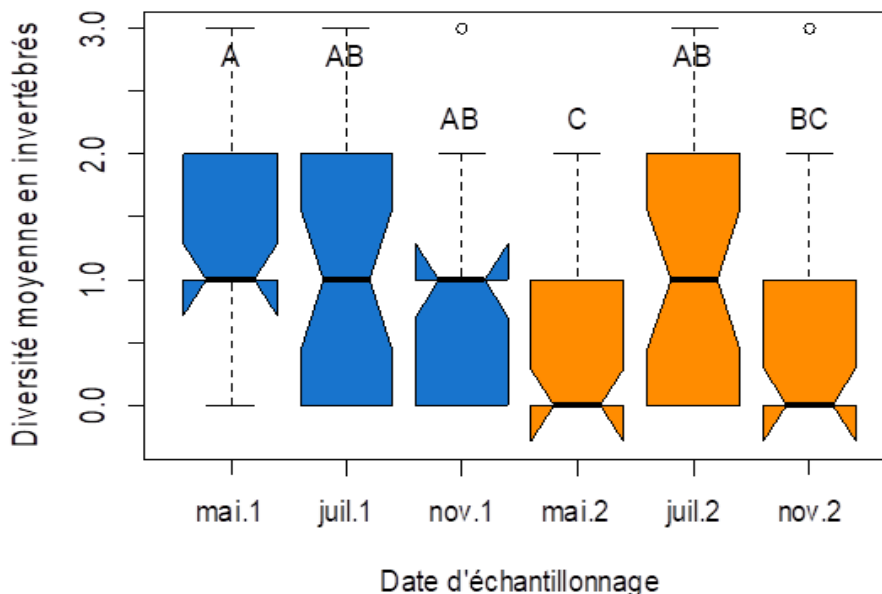


Figure 3. 3 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

En zone de forêt humide initialement infestée :

En forêt, l'abondance moyenne globale en invertébrés chute de manière significative de 12 à 3 individus en moyenne entre mai et juillet (en bleu sur la Figure 3.4) donc entre l'état initial et les

premiers épandages. Entre juillet et novembre donc entre les deux phases du traitement, cette abondance reste constante (en bleu sur la Figure 3.4) et est statistiquement similaire à l'abondance moyenne des trois mois lorsqu'on ne compte pas les PFF dans les calculs (en orange sur la Figure 3.4). Autrement dit, la PFF a un poids très important dans les analyses du mois de mai, et un poids faible ou nul dans celles de juillet et de novembre. Cette fourmi est essentiellement présente lors de l'état initial, puis pas ou peu par la suite.

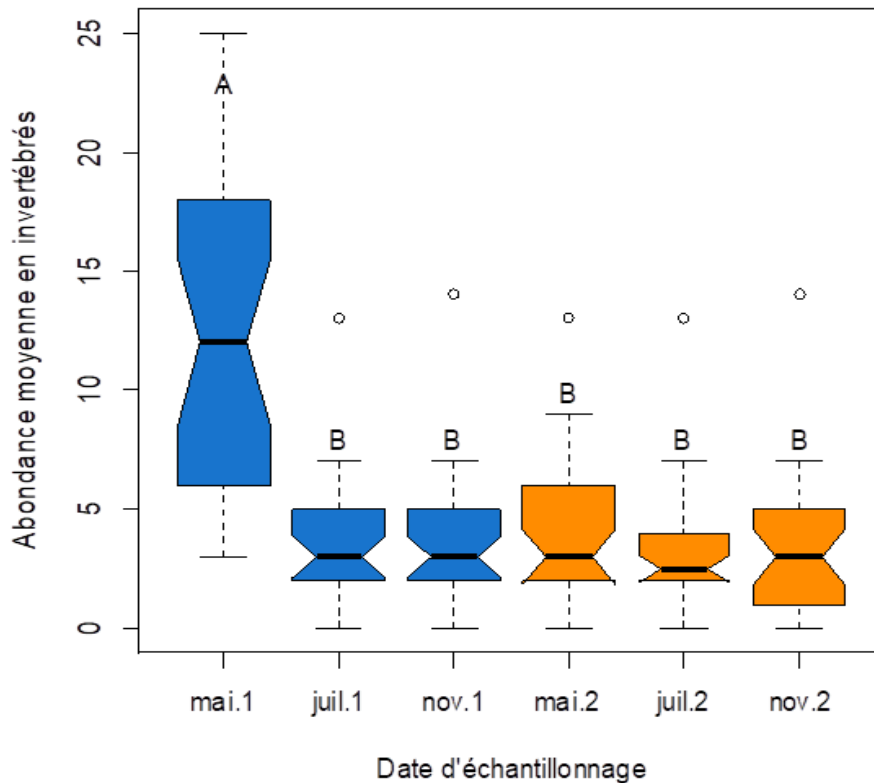


Figure 3. 4 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

La diversité moyenne en invertébrés au mois de mai est de 3 espèces si on prend en compte les PFF (en bleu sur la Figure 3.5), et de 2 sinon (en orange) : *W. auropunctata* est omniprésente dans les pots lors de l'état initial. En juillet, les deux groupes correspondants sont statistiquement similaires mais les données s'étalent sur une gamme de valeurs plus large dans le cas où les PFF sont comptabilisées : l'espèce est encore présente mais elle a un poids moins important dans les analyses car elle est moins souvent trouvée dans les pots. En novembre, la répartition des valeurs de diversité sont quasiment identiques dans les deux cas de figure, les groupes statistiques sont similaires : la PFF a très peu de poids dans les analyses, elle est peu présente dans les échantillons et ce sont les autres espèces qui influencent majoritairement les résultats. De plus, on observe qu'entre mai et juillet, le nombre d'espèce or PFF est similaire dans cette zone, donc les traitements ne semblent pas avoir impacté négativement les autres espèces d'invertébrés présentes.

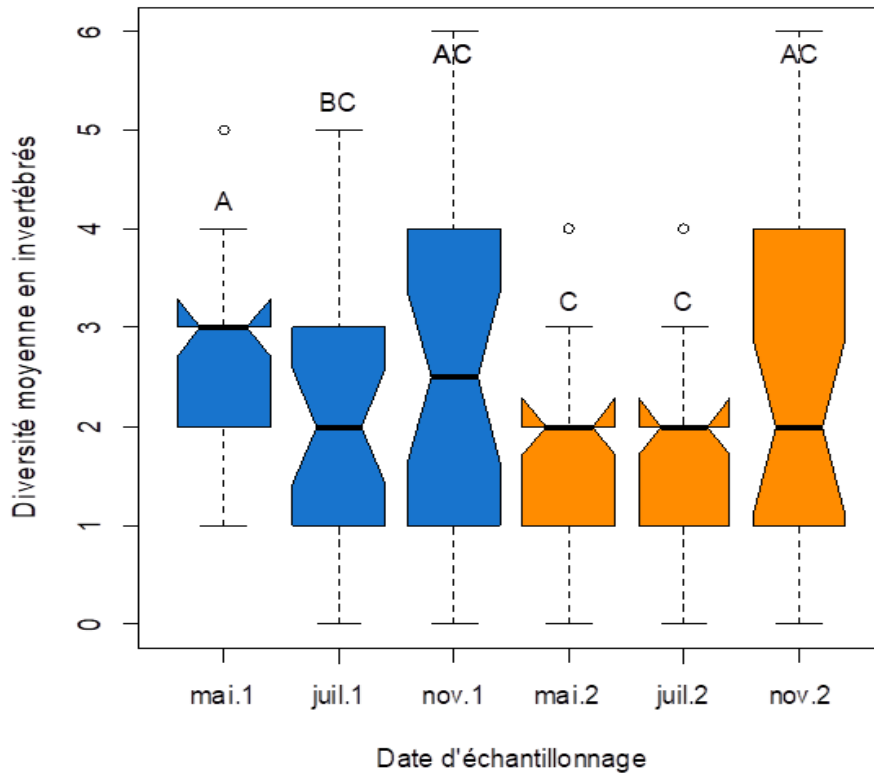


Figure 3. 5 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les PFF ont été prises en compte dans les calculs (1) ou non (2). Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

En zone initialement non infestée :

Dans les zones non infestées initialement, l'abondance moyenne en invertébrés a chuté significativement après les premiers traitements donc entre mai et juillet (Figure 3.6), passant de 3 individus à 2 en fougères (en jaune) et de 4 à 1 individu en forêt (en bleu). Ces valeurs augmentent ensuite de manière non significative en novembre. Dans la zone de fougères, l'abondance moyenne en novembre est significativement différente de celle de mai, ce qui n'est pas le cas pour la zone de forêt : les invertébrés réagissent donc différemment aux traitements selon le milieu où ils se trouvent.

En zone de fougères, le nombre moyen d'espèces capturés est de 2 en mai, puis de 1 en juillet et enfin, 2 en novembre (en jaune sur la Figure 3.7). Statistiquement, l'échantillon de novembre n'est pas différent de celui du mois de mai : après une seule phase de traitement, la baisse est significative mais après les deux phases de traitements, l'impact ne semble pas être négatif sur la diversité moyenne en invertébrés dans le milieu xérophile.

Dans la zone de forêt par contre (en bleu sur la Figure 3.7), on constate une baisse significative du nombre d'espèces capturées entre mai et juillet/novembre, passant de 3 espèces à une seule en moyenne. La situation reste constante durant les phases de traitement (groupes statistiques non différents en juillet et novembre).

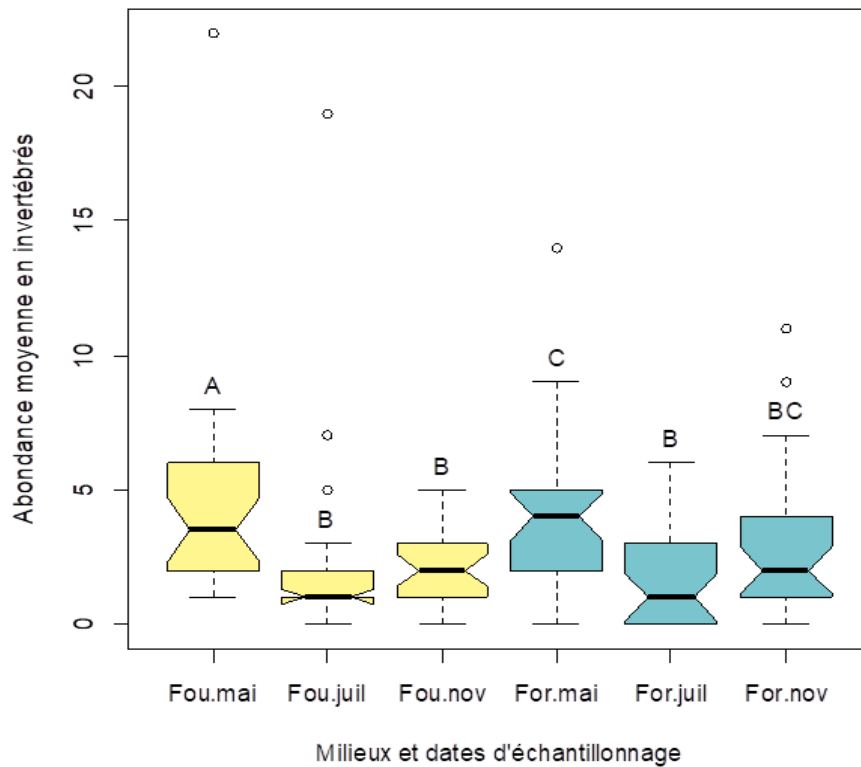


Figure 3. 6 Abondance moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères (Fou) et la zone de forêt humide (For) initialement indemnes de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

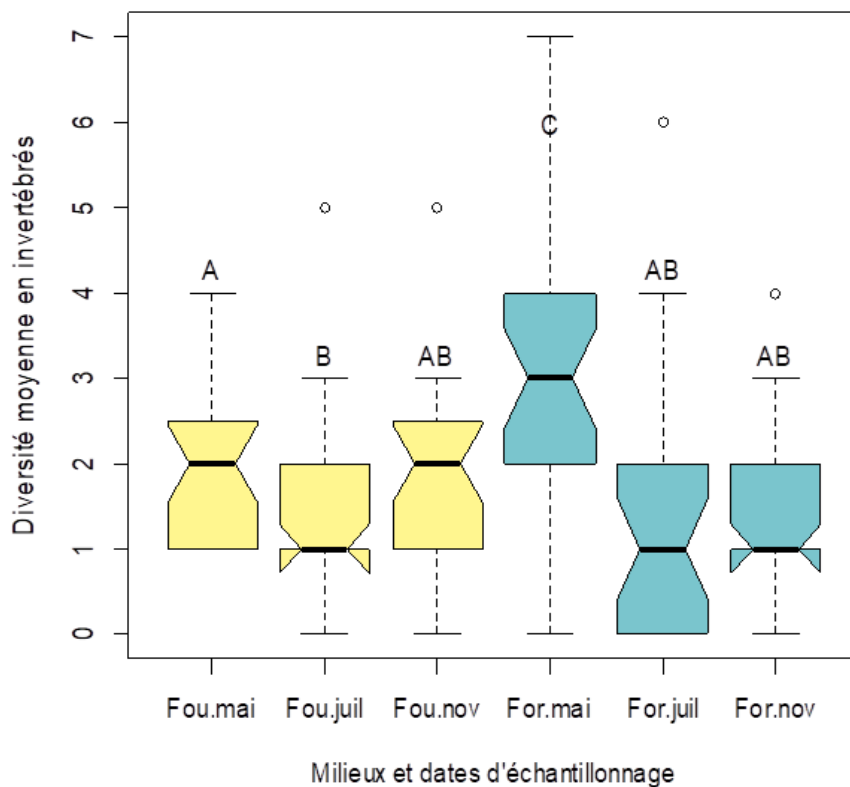


Figure 3. 7 Diversité moyenne en invertébrés dans la zone xérophile de fougères (Fou) et la zone de forêt humide (For) initialement indemnes de PFF. Les échantillonnages ont eu lieu en mai (état initial), en juillet (après une application) et en novembre (après 2 applications) 2017. Les lettres représentent des groupes statistiquement différents (W test avec $p < 0.05$).

Indices de diversité

Tous les indices ont été calculés en prenant en compte la présence de PFF (Tableau 3.1).

L'indice de Shannon mesure l'hétérogénéité d'un peuplement : plus il est élevé, plus la diversité biologique est importante. Cette valeur est plus grande après les traitements dans trois des cas ; seule la zone de forêt initialement indemne de PFF voit son indice de Shannon donc sa diversité biologique diminuer légèrement au fur et à mesure des applications.

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus pris au hasard appartiennent à la même espèce. Ses valeurs sont plus élevées pour chacun des cas étudiés à l'état initial donc avant tout traitement chimique d'origine anthropique : trois des sites semblent présenter la plus grande diversité biologique après deux applications. Quant au site FOR.0, son indice de Simpson fluctue très légèrement entre les différentes phases de traitement.

Tableau 3. 1 Indices de Shannon et de Simpson pour les zones de forêt et de fougères initialement infestée de PFF (1) ou non (0), étudiées au cours des traitements (mai : état initial ; juillet : après une application chimique ; novembre : après deux applications). Les indices avec une plus forte biodiversité relative sont en vert.

	0			1		
	Mai	Juillet	Novembre	Mai	Juillet	Novembre
	Forêt					
Indice Shannon	1,12	1,03	0,99	0,44	0,77	1,14
Indice Simpson	0,13	0,11	0,12	0,53	0,25	0,11
	Fougères					
Indice Shannon	0,57	0,44	1,00	0,21	0,70	0,70
Indice Simpson	0,43	0,26	0,12	0,79	0,34	0,31

Diversité spécifique globale

Afin d'obtenir les courbes de richesses cumulées des figures ci-dessous, les données relatives à *W. auropunctata* ont été prises en compte dans les calculs.

Dans la zone FOU.1, la diversité spécifique globale a légèrement diminué après le premier traitement et stagne autour d'une dizaine d'espèces. Cette diversité a ensuite fortement augmenté après la deuxième application, dépassant les 25 espèces ; la courbe n'atteignant pas de plateau, il semble que l'on aurait pu identifier davantage d'espèces d'invertébrés en posant davantage de pièges.

A l'état initial, la biodiversité de la zone FOU.0 comportait plus de 25 espèces d'invertébrés. Le plateau n'étant pas atteint (courbe noire), il semble que le nombre exact soit bien supérieur. Les deux autres courbes montrent que cette biodiversité a été impactée négativement par les applications chimiques, le nombre d'espèces chutant brutalement après la première application, et stagnant autour d'une quinzaine d'espèces après la deuxième application.

La diversité spécifique du site FOU.1 était de 5 espèces à l'état initial (plateau de la courbe noire). Grâce aux 30 pièges posés, 13 et 10 espèces ont respectivement été recensées après une et deux applications sur la zone : les traitements ont donc provoqué une hausse de cette diversité globale, avec une légère diminution suite au deuxième passage. Toutefois, les plateaux n'étant pas atteints dans les deux cas (courbes rouge et verte), les nombres d'espèces totaux réels sont très probablement supérieurs aux données citées précédemment.

Là encore, les traitements profitent au nombre d'espèces d'invertébrés dans le site FOU.0 : de 11 à l'état initial, la diversité augmente jusqu'à 14 puis 16 après respectivement une et deux applications.

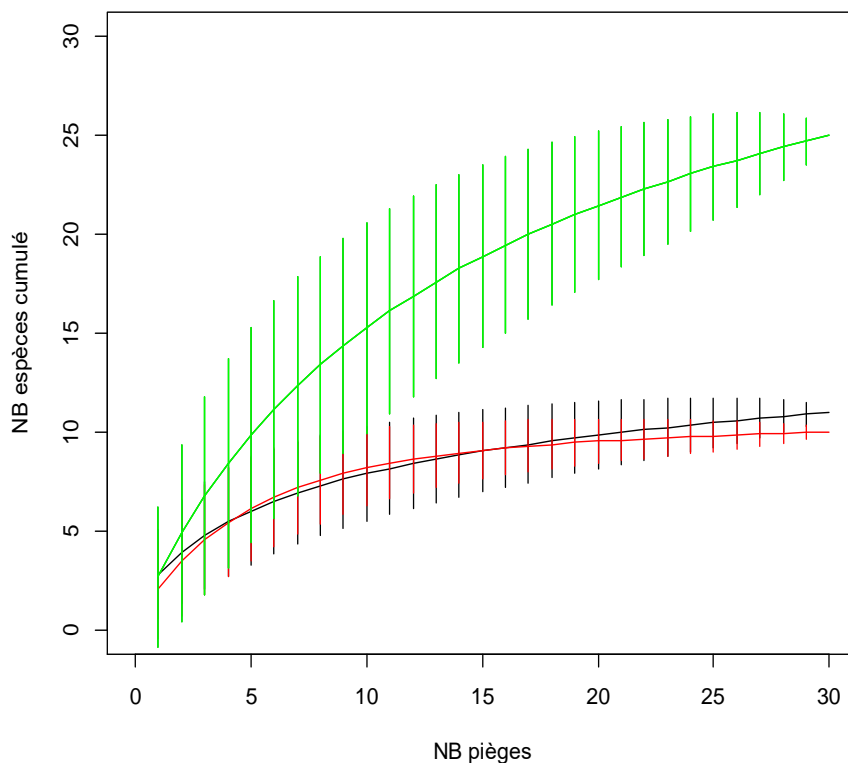


Figure 3. 8 Courbes de richesses cumulées dans la zone de forêt humide initialement infestée de PFF (FOR.1) à Punauuia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).

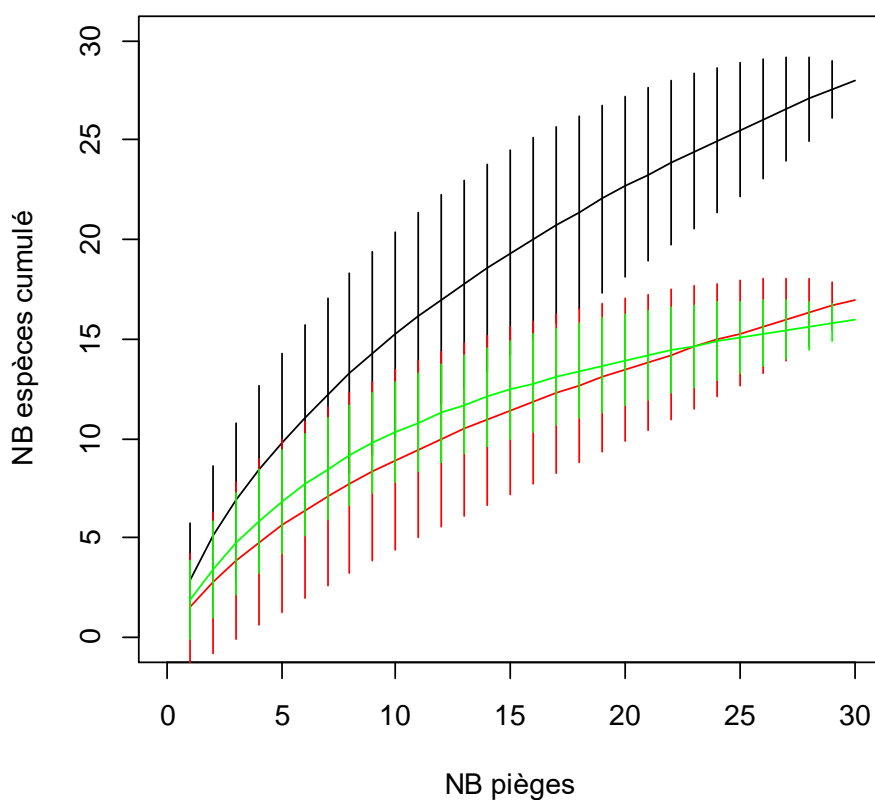


Figure 3. 9 Courbes de richesses cumulées dans la zone de forêt humide initialement indemne de PFF (FOR.0) à Punauuia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).

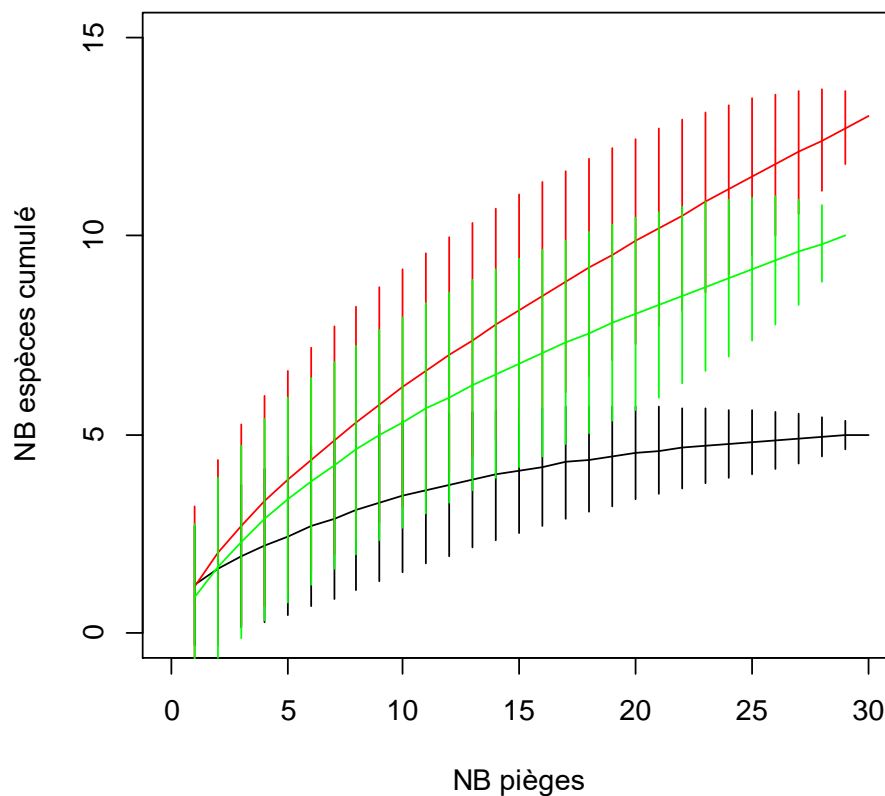


Figure 3. 10 Courbes de richesses cumulées dans la zone xérophile de fougères initialement infestée de PFF (FOU.1) à Punauuia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).

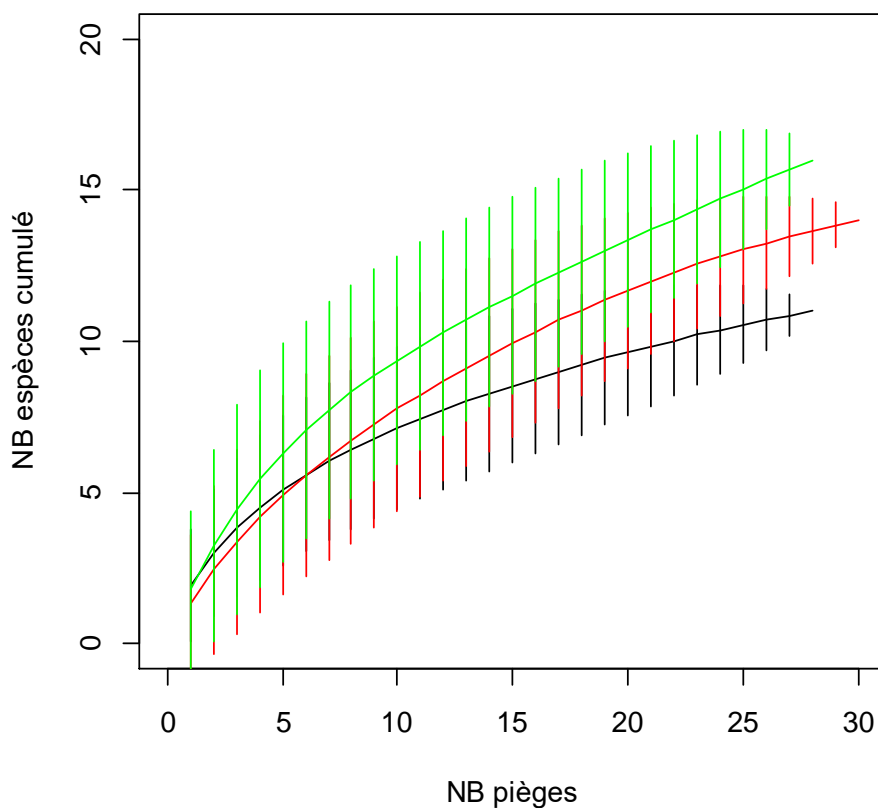


Figure 3. 11 Courbes de richesses cumulées dans la zone xérophile de fougères initialement indemne de PFF (FOU.0) à Punauuia (Tahiti) à l'état initial en mai 2017 (en noir), en juillet après un traitement (en rouge) et en novembre après deux applications (en vert).

Specpool : Le nombre total d'espèces estimé diminue d'un facteur 0,4 en forêt initialement indemnes de PFF (FOR.0) (Tableau 3.2). Dans les trois autres sites, la tendance est inversée : entre le mois de mai (état initial) et le mois de novembre (après 2 applications de produits), les nombres totaux d'espèces estimés sont multipliés par un facteur 2,5 en forêt initialement infestée (FOR .1) ainsi que par 3,6 et 4,5 dans les zones de fougères respectivement indemne (FOU.0) et infestée de PFF (FOU.1) (Tableau 3.2 et Tableau 3.3).

Tableau 3. 2 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les pièges à insectes dans les zones de forêt humide initialement infestée de PFF (FOR.1) ou non (FOR.0) à différents stades de traitement, à Punauuia (Tahiti).

		Nb spp identifiées	chao	jackknif1	jackknif2	bootstrap	Nb de pièges
FOR.0	mai	28	43,8 \pm 11,3	41,5 \pm 4,6	49,2	33,9 \pm 2,5	30
	juillet	17	65,3 \pm 57,6	26,7 \pm 3,6	35,1	20,9 \pm 1,9	
	novembre	16	20,0 \pm 4,7	20,8 \pm 2,6	22,8	18,3 \pm 1,3	
FOR.1	mai	11	15,3 \pm 7,0	13,9 \pm 1,7	15,8	12,3 \pm 0,9	30
	juillet	10	10,5 \pm 1,3	11,0 \pm 1,0	11	10,5 \pm 0,6	
	novembre	25	34,8 \pm 8,7	33,7 \pm 3,5	38,5	29,0 \pm 2,0	

Tableau 3. 3 Nombre d'espèces recensées par l'étude et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap \pm erreur standard) basée sur les pièges à insectes dans les zones xérophile de fougères initialement infestée de PFF (FOU.1) ou non (FOU.0) à différents stades de traitement, à Punauuia (Tahiti).

		Nb spp identifiées	chao	jackknif1	jackknif2	bootstrap	Nb de pièges
FOU.0	mai	11	13,6 \pm 3,4	14,9 \pm 1,9	15,9	12,8 \pm 1,2	28
	juillet	14	16,0 \pm 2,4	18,8 \pm 2,2	18,1	16,6 \pm 1,4	30
	novembre	16	55,1 \pm 47,4	24,7 \pm 3,5	32,1	19,4 \pm 1,7	28
FOU.1	mai	5	5,5 \pm 1,3	6,0 \pm 1,0	6,0	5,5 \pm 0,6	30
	juillet	13	52,2 \pm 47,5	21,7 \pm 2,9	29,2	16,4 \pm 1,4	30
	novembre	10	27,4 \pm 22,8	15,8 \pm 2,7	20,5	12,3 \pm 1,3	29

3.2. Avifaune

Les 35 points de recensement effectués les 7 et 15 juin 2017 et les 40 points effectués les 16 et 26 janvier 2018 ont permis d'observer respectivement 340 oiseaux de 7 espèces différents puis 593 oiseaux de 6 espèces différentes. Le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*) qui préfère la zone FAL.0 (versant non infesté de PFF) a disparu de cette zone avant les applications de traitement, il n'apparaît donc pas dans le tableau 3.4 présentant les résultats de pourcentage d'occurrence.

Suite à 3 applications de produits chimiques luttant contre les PFF dans les zones de falaises, les populations de géopélies, de pigeons verts et de zostérops ont vu leurs densités diminuer sur le versant initialement indemnes de PFF : ces oiseaux fréquentent donc davantage la zone initialement infestée, ce qui semble être une conséquence des traitements. L'effet inverse semble être observé pour les populations de bulbul, de martins chasseurs et de poules/coqs mais les résultats ne permettent pas de conclure au vu des IC₉₅.

Tableau 3. 4 Données d'observation de l'avifaune sur le site FAL.0 non infesté initialement en pourcentage d'occurrence avec son intervalle de confiance à 95% et résultat du test binomial exact (différence significative par rapport à une répartition équilibrée lorsque $p\text{-value} < 0,05$), à l'état initial en juin puis en janvier après 3 traitements.

Régime alimentaire	Espèces	% d'occurrence en FAL.0 en juin	Test binomial exact	% d'occurrence en FAL.0 en janvier	Test binomial exact
Granivore	Géopélie (<i>Geopelia striata</i>)	52,5	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [44.4 - 60.5]	41,7	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [33.2 - 50.6]
Frugivore	Pigeon vert (<i>Ptilinopus purpuratus</i>)	77,1	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [59.9 - 89.6]	61,5	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [51.0 - 71.2]
Omnivore	Bulbul (<i>Picnonotus cafer</i>)	64,8	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [50.6 - 77.3]	68,3	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [59.2 - 76.5]
Omnivore	Zostérops (<i>Zosterops lateralis</i>)	87,0	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [66.4 - 97.2]	55,6	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [47.1 - 64.0]
Insectivore	Martin chasseur (<i>Todiramphus veneratus</i>)	66,7	$p = 0,00725$ IC ₉₅ [94.3 - 99.2]	100	$p\text{-value} = 0.0025$ IC ₉₅ [15.8 - 1.0]
Omnivore	Poules/coqs (<i>Gallus gallus</i>)	42,9	$p = 0,003757$ IC ₉₅ [9.9 - 81.6]	75	$p < 0.001$ IC ₉₅ [34.9 - 96.8]
Toutes espèces confondues		60,7	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [54.7 - 66.5]	56,6	$p < 2.2e-16$ IC ₉₅ [52.1 - 61.0]

4. Discussion

4.1. Invertébrés du sol

Dans les zones initialement infestées

Dans le site de fougères comme dans la zone forestière positivement infestés par la PFF à l'état initial, la grande majorité des individus éradiqués sont de l'espèce *W. auropunctata* et les autres invertébrés ne sont pas éliminés de manière significative. Les molécules visant la petite fourmi de feu semblent donc bien cibler l'espèce, dont la densité était la plus élevée du secteur parmi les espèces d'invertébrés répertoriées : il est donc logique que ses individus soient très impactés car présents en nombre sur le site.

En zone de fougères, la diminution brutale de la densité de PFF permet à des espèces temporairement absentes de revenir et/ou à des espèces présentes en faibles densités de se développer davantage. D'autre part, les molécules chimiques utilisées contre les PFF ne semblent pas impacter directement et/ou négativement les autres invertébrés présents sur la zone et en contact avec les produits. Ces espèces dont les densités augmentent après le début des épandages profitent des traitements de manière indirecte et positive puisque la niche écologique de la PFF est partiellement libérée, les ressources sont davantage disponibles dans le milieu et la pression exercée par l'espèce invasive hyper-compétitrice est alors fortement diminuée.

En contexte forestier, cette chute brutale de la population de PFF n'entraîne aucune augmentation significative des autres espèces d'invertébrés.

Les deux milieux étudiés répondent donc différemment aux pressions exercées par la PFF et par les traitements. Dans les deux cas, l'application de produits chimiques ne semble pas nuire de

manière significative aux espèces d'invertébrés autres que la PFF puisque la diversité biologique augmente d'après les indices de diversité mesurés. Ces deux écosystèmes pourtant proches géographiquement ont une résilience qui leur est propre selon le type de perturbation environnementale. Par rapport au site de forêt, le site de fougères semble avoir une meilleure capacité à retrouver un fonctionnement, un développement et un équilibre dynamique normal après avoir eu une phase d'instabilité liée à l'invasion des PFF et aux traitements qui ont suivi.

Cependant, il est important de préciser que les traitements ne sont pas achevés et que *W. auropunctata* est encore présente sur les deux zones étudiées initialement infestées. De nouvelles expérimentations sont en cours pour observer l'évolution de la biodiversité locale jusqu'à l'éradication totale des PFF.

Dans les zones initialement indemnes

Dans le site de forêt humide FOR.0 comme dans la zone xérophile de fougère FOU.0, le cortège d'espèce réagit aux traitements en deux temps correspondant aux deux vagues d'épandages. La première application impacte de manière conséquente les invertébrés puisque les nombres d'espèces et d'individus diminuent entre mai et juillet : en l'absence de PFF pour monopoliser les appâts, ce sont les animaux présents sur le site qui les ont consommés et qui ont été empoisonnés. La fourmi folle jaune (*Anoplolepis gracilipes*), qui est une espèce invasive envahissante à Tahiti, voit d'ailleurs ses populations fortement diminuer. Après le deuxième traitement, la diversité biologique augmente pour être similaire à celle du mois de mai en fougères, mais elle stagne en forêt. Globalement, les invertébrés du site semblent donc avoir bien réagi suite au protocole d'éradication des PFF : après une première baisse significative de leurs populations, les espèces ont ensuite mieux supporté la perturbation. Ce phénomène peut avoir plusieurs explications : par exemple, les espèces qui ont été les plus impactées ont encore « en mémoire » ce qui les a empoisonnées et ne consomment plus l'appât, ou alors les invertébrés les plus sensibles aux molécules utilisées ont été éliminés, laissant la place à des espèces qui y sont plus résistantes ou ne les consomment tout simplement pas.

En novembre, les deux écosystèmes ne sont pas encore revenus à leur état initial (celui du mois de mai), cependant leur résilience leur permet d'évoluer vers une diversité plus importante en invertébrés notamment dans le site de fougères : un équilibre écologique viable pourra probablement être atteint quelques mois plus tard dans les deux milieux, en l'absence de nouvelles perturbations environnementales. Cet équilibre sera certainement plus rapidement retrouvé dans le site de fougères, qui semble avoir une résilience supérieure au site forestier.

4.2 Avifaune

Les géopélies, les pigeons verts et les zostérops s'équilibrent davantage entre les deux rives après les traitements qui ont affaibli les populations de *W. auropunctata*. Ces oiseaux étant respectivement granivores pour les deux premiers et frugivore pour le troisième, ils ont probablement plus facilement accès à des sources de nourriture lorsque la PFF est absente. Cette conséquence peut être directe puisque les oiseaux à la recherche de nourriture directement au sol ou sur les arbres infestés ne se font plus (ou moins) piquer par les fourmis, et peut également être indirecte avec l'impact sur le cortège d'espèces d'invertébrés. Les ressources alimentaires disponibles pour l'avifaune sont potentiellement plus nombreuses et/ou plus accessibles pour les géopélies, les pigeons verts et les zostérops qui n'hésitent pas à venir davantage sur la pente initialement infestée pour se nourrir après les impacts des premiers épandages.

5. Conclusion

Les résultats préliminaires obtenus dans cette étude montrent ainsi une efficacité du traitement chimique dans le cadre de la lutte et l'éradication de la petite fourmi de feu *W. auropunctata*. En effet ce traitement apparaît spécifique à la petite fourmi de feu en zone infestée et présente un rapport bénéfices/coûts écologiques positif. Bien que la réponse aux traitements soient dépendante des milieux infestés, l'application de produits chimiques ne semble pas nuire de manière significative aux espèces présentes, des invertébrés aux oiseaux, puisque les écosystèmes semble revenir à un état indemne de PFF avec aussi une réappropriation des territoires par les oiseaux.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe technique de la Société d'Ornithologie de Polynésie, notamment Laurent Yan, Josquin Michoud-Schmidt, Vaiana Maraetefau, Teiva Maraetefau, Vaitearai Arapa, Maya Tehau et Gianluca Lazzari, pour leur implication quotidienne dans les actions de lutte contre les petites fourmis de feu. Enfin, nous remercions la DIREN pour leur soutien financier indispensable à la réalisation de ce projet.

Références

- Anderson, M. J. (2006). Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions, *Biometrics*, 62(1), pp. 245-253.
- BirdLife International (2017). Important Bird Areas factsheet: Vallées Maruapo, Papehue, Hopuetamai et Orofero. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 08/09/2017.
- Blanvillain, C., Peels, G. and Bousseyroux, A. (2017). Plan opérationnel pour l'éradication de méga-colonies de petite fourmi de feu y compris celle située dans une falaise dans le cadre de la sauvegarde du monarque de Tahiti, oiseau endémique en danger critique d'extinction (Polynésie française). SOP Manu, Taravao, Tahiti.
- Bousseyroux, A., Blanvillain, C. and Beaune, D. (2017). La petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) : impacts écologiques en zone infestée dans le monde et risques en Polynésie. Taravao, Tahiti: Société d'Ornithologie de Polynésie, SOP Manu.
- Bruneau De Miré, P. (1969). Une fourmi utilisée au Cameroun dans la lutte contre les mirides du cacaoyer: *Wasmannia auropuncta* Roger, *Café, Cacao, Thé*, 13(3), pp. 209-212.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability, *Biometrics*, pp. 783-791.
- Colwell, R. K. and Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 345(1311), pp. 101-118.
- Darius, T., Bousseyroux, A. and Beaune, D. (2017). Impacts écologiques de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) sur les invertébrés de Tahiti.
- Del Toro, I., Ribbons, R. R. and Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae), *Myrmecological News*, 17, pp. 133-146.
- Doherty, T. S., Glen, A. S., Nimmo, D. G., Ritchie, E. G. and Dickman, C. R. (2016). Invasive predators and global biodiversity loss, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 113(40), pp. 11261-11265.

Rapport final de l'étude de la PFF à Tahiti – SOP Manu

Fasi, J., Brodie, G. and Vanderwoude, C. (2013). Increases in crop pests caused by *Wasmannia auropunctata* in Solomon Islands subsistence gardens, *Journal of Applied Entomology*, 137(8), pp. 580-588.

Gunawardana, D. and Sarnat, E. (2007). Pacific Invasive Ants Taxonomy Workshop. Workshop Manual.

IUCN (2017). The IUCN Red List of Threatened Species, <http://www.iucnredlist.org/>, (Accessed June 2011).

Lieberman, A., Kuehler, C., Varney, A. and Everett, W. (1994). Island conservation: A Biological imperative, *Zoonoos*, pp. 18-21.

Loreau, M. and Mazancourt, C. (2013). Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms, *Ecology letters*, 16(s1), pp. 106-115.

Loreau, M., Naeem, S. and Inchausti, P. (2002). *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford: Oxford University Press.

O'Dowd, D. J., Green, P. T. and Lake, P. S. (2003). Invasional 'meltdown' on an oceanic island.

Palmer, M. W. (1990) 'The estimation of species richness by extrapolation', *Ecology*, 71(3), pp. 1195-1198.

Paulian, R. (1998). *Les insectes de Tahiti*. Paris: Editions Boubée.

R Development Core Team (2011). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Available at: <http://www.R-project.org>

Seguin, C. C. F. (2015). *Etat de l'environnement en Polynésie Française 2007/2014*. Direction de l'Environnement, Polynésie Française, Tahiti.

Chapitre 4 Phénologie de la reproduction et de la répartition verticale de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti*

Vaihiti Teaniniuraitemoana^a, Alice Bousseyrroux^a, Camille Soi Louk^b, Josquin Michoud-Schmitt^a, Caroline Blanvillain^a & David Beaune^a

^aSociété d'Ornithologie de Polynésie française, SOP Manu
B.P. 7023, 98719 Taravao, Tahiti – Polynésie française

^bUniversité de la Polynésie française
Campus d'Outumaoro, Punaauia, B.P. 6570, 98702 Faa'a, Tahiti - Polynésie française

*Rapport technique (05/2018) : Vaihiti Teaniniuraitemoana, Alice Bousseyrroux, Camille Soi Louk, Josquin Michoud-Schmitt, Caroline Blanvillain et David Beaune (2018) Phénologie de la reproduction et de la répartition verticale de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) à Tahiti. Rapport technique. SOP Manu, Taravao Tahiti. 13 pp.

Résumé

La petite fourmi de feu (PFF) (*Wasmannia auropunctata*) est une espèce envahissante à l'expansion pantropicale. La présente étude est la première réalisée à Tahiti afin de mieux comprendre la dynamique de la PFF dans les milieux au travers notamment de sa reproduction et de sa répartition verticale (présence en canopée) dans deux types d'habitats différents : dans une zone sauvage non-urbanisée de type forêt humide sur Punaauia, et dans une zone urbanisée/anthropisée sur Arue. La production de larves sexués et d'individus ailés dans les nids ainsi que sa présence dans les arbres en canopée a été suivi durant une période d'au moins un an. Les résultats ont montré une dynamique de la PFF différentes entre les habitats étudiés avec une dynamique saisonnière plus soumise au climat en zone sauvage. Enfin les résultats de cette études ont permis en perspective de proposer une stratégie de traitement dans le cadre d'une lutte et éradication de la PFF en fonction du type de milieu.

Mots clés

Wasmannia auropunctata, Hyménoptère, phénologie, reproduction, répartition verticale, lutte chimique, Tahiti

1. Introduction

La petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata* Roger, 1863 ; Hyménoptères, Formicidae, Myrmicinae) est un insecte originaire d'Amérique centrale et du Sud (Wetterer et al., 2003) qui colonise petit à petit d'autres régions du monde comme les îles Galápagos ou la Floride, allant jusqu'aux îles du Pacifique comme la Nouvelle-Calédonie ou encore la Polynésie française. Cette fourmi, étant une espèce exotique envahissante (EEE) dans de nombreux pays, compte parmi les 100 espèces des plus invasives du monde (Lowe et al., 2000). La propagation pantropicale est la plupart du temps accidentelle (transport de marchandises agricoles, de terres, etc.). Elle a cependant été parfois volontaire comme au Gabon dans les années 1920 (Ndoutoume-Ndong and Mikissa, 2007), car

considérée comme insecticide efficace par plusieurs agronomes, mais l'effet fut contreproductif. Cette fourmi envahissante est aujourd'hui évaluée comme un vrai fléau dans les domaines écologique, agronomique et sanitaire. Ayant cette réputation d'être une peste agricole et une espèce menaçant la biodiversité, la petite fourmi de feu a été officiellement découverte en Polynésie française en 2004 (DIREN, 2017). De ce fait, plusieurs traitements lourds, dont un épandage aérien, ont été mis en place pour s'en débarrasser, mais l'espèce n'a à ce jour pas été éradiquée.

Aujourd'hui, il existe un traitement chimique appelé Fipronil ($C_{12}H_4Cl_2F_6N_4OS$, famille chimique des phénylpyrazoles). La molécule active enrobe un appât (exemple: maïs concassé) qui est projeté dans la zone à traiter. L'insecticide/acaricide alors ingéré bloque les canaux à chlorures associés aux récepteurs du GABA (neurotransmetteur) chez les individus ciblés. La toxicité environnementale notamment sur les abeilles a été démontrée (Tingle et al., 2003). La préconisation des experts internationaux est donc d'utiliser cette molécule à une forte dilution non mortelle sur les ouvrières et la plupart des invertébrés : ce sont les individus sexués plus grands et énergivores qui recevront une dose plus concentrée et létale par trophallaxie (mode d'échange alimentaire). Ce type de traitement cible donc les individus sexués, et à terme toute la colonie est incapable de se reproduire (Blanvillain et al., 2017). En effet, le principe d'un bon traitement est d'éliminer les individus capables de produire d'autres fourmis. Il est donc clair que pour lutter efficacement contre une espèce exotique envahissante telle que la petite fourmi de feu, il est impératif de connaître sa dynamique localement au travers de sa reproduction et sa répartition.

Les reines produisent des individus sexués quasiment toute l'année dans leur milieu d'origine – dans l'hémisphère Sud, au Brésil : des femelles de janvier à octobre ou novembre, des mâles de janvier à juin (Ulloa-Chacon, 1990). En zone infestée néo-calédonienne, cette production semble être influencée par les conditions microclimatiques et s'étaler sur les 8 mois les plus chauds de l'année, soit de septembre à avril (Chazeau et al., 2002). L'apparition de nouveaux sexués dans la colonie serait inhibée par les femelles fonctionnelles. Par contre, lorsque les reines sont peu nombreuses ou âgées, la production d'œufs est faible. Ainsi pour la survie de la colonie, des larves sexuées sont alors élevées (Ulloa-Chacon, 1990). Il ne semble pas y avoir de vol nuptial massif entre mâles et femelles ailés au sein des territoires néo-calédoniens envahis, contrairement au Brésil (Jourdan, 1999).

Appréciant les milieux ombragés et humides, les petites fourmis de feu se nichent aussi bien au sol que dans les arbres. Cette répartition verticale apparaît elle aussi variable en fonctions des milieux et des saisons. En saison sèche elle aurait tendance à enfouir ses colonies dans le sol, notamment au pied des arbres (Fabres and Brown, 1978). En Nouvelle-Calédonie, Ulloa-Chacon (1990) observe une utilisation préférentielle de substrats différents entre saison humide (litière et pierre) et sèche (morceau de bois), qu'elle interprète comme un refuge vers des abris plus favorables (plus humides). D'une manière générale, les microhabitats humides seraient privilégiés (Spencer, 1941 ; Clark et al. 1982).

La phénologie étant l'étude de l'apparition d'évènements périodiques déterminés par les variations saisonnières, l'objectif de ce travail est ainsi d'apporter des connaissances quant à la phénologie de la reproduction et notamment la production d'individus sexués, et de la répartition verticale de la petite fourmi de feu à Tahiti et ce, afin d'optimiser la stratégie de traitement.

2. Matériel & Méthode

2.1. Sites d'étude et périodes de suivi

Wasmannia auropunctata a été décrite pour la première fois en Polynésie en 2004, à Tahiti (DIREN, 2017), mais elle y est probablement arrivée dans les années 1990 (Depierre, com. pers.). Plusieurs points d'infestation ont ensuite été signalés qu'ils soient en zone urbanisée ou sauvage non-urbanisée telle que des vallées, collines ou forêts.

Ainsi afin de comprendre la phénologie de la reproduction et de la répartition verticale de la PFF à Tahiti, 2 sites d'étude ont été choisis (Figure 4.1) :

(1) une zone sauvage de forêt humide non-urbanisée infestée par la PFF et située dans la commune de Punaauia à l'entrée de la vallée de Maruapo qui est classée zone clé de biodiversité (ZCB) et IBA en danger (Important Bird & Biodiversity Areas in Danger) (Bird Life International, 2017). Cette vallée est d'intérêt majeur pour la biodiversité grâce aux nombreuses espèces endémiques et parfois en danger d'extinction qui y résident telles que le Monarque de Tahiti, *Pomarea nigra* (CR).

(2) Une zone urbanisée signalée en 2012 comme étant infestée par la PFF et située dans la Commune de Arue au niveau du lotissement Erima. Plus en détail, la zone étudiée se situe au niveau des terrains de tennis, sur le terrain vague faisant office de parking pour les joueurs de tennis.

Les sites d'étude ont été suivis de Mai 2017 à Avril 2018 pour Punaauia et de Février 2017 à Avril 2018 pour Arue, couvrant ainsi une période d'au moins un an.



Figure 4. 1 Sites d'études : une zone sauvage de forêt humide non-urbanisée située dans la commune de Punaauia et une zone urbanisée située dans la commune de Arue.

2.2. Suivi de la production des individus sexués

La petite fourmi de feu est une espèce nomade qui ne construit pas de fourmilière, mais forme plutôt des nids dans les lieux qui leur sont propices. Appréciant une légère humidité, elles se nichent en dessous des pierres, des pots de fleurs (principal vecteur de dissémination par les hommes), des

éléments de végétation comme les branches d'arbre ou feuilles en décomposition, mais aussi en hauteur, dans les arbres.

Dans chaque site d'étude, la recherche d'en moyenne 10 nids a été réalisée avec une fréquence mensuelle durant les périodes décrites ci-dessus. Pour chaque nid trouvé, la présence et l'absence de larves sexuées (distinguable des larves ouvrières à l'œil nu de par leur plus grande taille ; Figure 4.2) et d'individus ailés (Figure 4.3) ont été notées. Les individus ailés (jeunes individus sexués) témoignant d'une production de larves sexuées récentes, un pourcentage de nids produisant des individus sexués (larves sexuées + individus ailés) a pu être calculé.

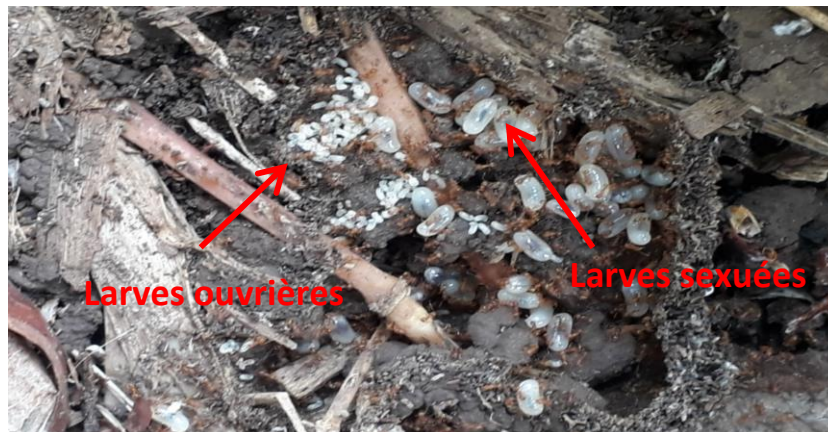


Figure 4. 2 Distinction entre larves ouvrières et sexuées au sein d'un nid de PFF à Arue. ©C. Soi Louk



Figure 4. 3 Distinction entre jeune individu sexué ailé et une reine non ailée. ©C. Soi Louk

2.3. Détermination de la répartition spatiale verticale

La répartition verticale des PFF sur les sites n'a été étudiée qu'en zone de forêt humide sur Punaauia pour des raisons techniques. Ainsi afin de déterminer la présence ou non de colonie de PFF dans la canopée, l'appâtage par trois tâches de beurre de cacahuète SKIPPY® (Hormel Foods) a été effectué au niveau d'au moins 10 troncs d'arbres différents de la manière suivante à chaque temps de suivi: (1) à la base du tronc, (2) au milieu du tronc, et (3) en haut du tronc. Après environ une heure d'attente, l'origine (canopée ou sol) des PFF ouvrières se nourrissant du SKIPPY® déposé a été relevée. Un pourcentage de présence de colonies en canopée a pu être ainsi calculé pour chaque mois suivi.

2.4. Acquisition des données météorologiques

Les données météorologiques quotidiennes de température, de précipitation et de durée de jour ont été récoltées sur le site de Météo France et relevées aux stations météorologiques PUNAAUIA 7 pour la zone sauvage de forêt humide située à Punaauia et ARUE 3 pour la zone urbanisée située à Arue.

Ensuite les moyennes de température et de durée de jour ont été calculées pour chaque mois et les données de précipitation totale mensuelles ont été déterminées par la somme des précipitations quotidiennes.

2.5. Traitement des données et statistiques

Les pourcentages mensuels de nids présentant une production d'individus sexués et ceux de présence de colonies en canopée pour chaque zone d'étude ont été comparés en utilisant le Test Exact de Fisher.

La corrélation de ces dernières données avec les paramètres météorologiques récoltés a été testée selon un modèle de régression linéaire.

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel de statistique R (R Development Core Team, 2011) et au seuil de significativité $\alpha = 0.05$.

3. Résultats

3.1. La production des individus sexués

En zone sauvage de forêt humide (Punaauia)

Dans la zone de forêt humide étudiée, 100% des nids trouvés présentaient des larves ouvrières (résultats non-montrés) et ce tout au long de la période de suivi, traduisant ainsi une production de larves ouvrières continue au cours de l'année.

Par contre, bien qu'elles ne soient pas significatives selon le Test exact de Fisher ($\alpha = 0.05$), des différences de production d'individus sexués ont été retrouvées au cours des mois suivis avec un net profil (Figure 4.4). En effet la production d'individus sexués a été plus importante lors des mois d'octobre 2017 à mars 2018 associés à la saison chaude et humide, avec des maxima au cours des mois d'octobre et de janvier où environ 70% des nids trouvés présentaient des larves sexuées et/ou des individus ailés. Au contraire, la production d'individus sexués a été beaucoup moins élevée voire inexistante durant les mois de mai à septembre 2017 et avril 2018 associés à une saison sèche et fraîche, avec des minima lors des mois d'avril, mai, août et septembre où 0% des nids trouvés montraient des larves sexuées et/ou d'individus ailés.

Dans un second temps des tests de modèle de régression linéaire ont été réalisés afin de déterminer si la production d'individus sexués était corrélée avec des paramètres environnementaux tels que la température, les précipitations ou encore la durée de jour. Ces tests ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation significative de production d'individus sexués avec la température et les précipitations relevées durant la période d'étude. Cependant une corrélation significative entre la production d'individus sexués et la durée de jour a été révélée ($R^2_{\text{ajusté}} = 0,6319$; $p < 0,001217$; $\alpha = 0.05$; Figure 4.4). En effet, on retrouve une production plus importante durant les mois de durée de jour les plus long, d'octobre à mars associés à la saison chaude et humide.

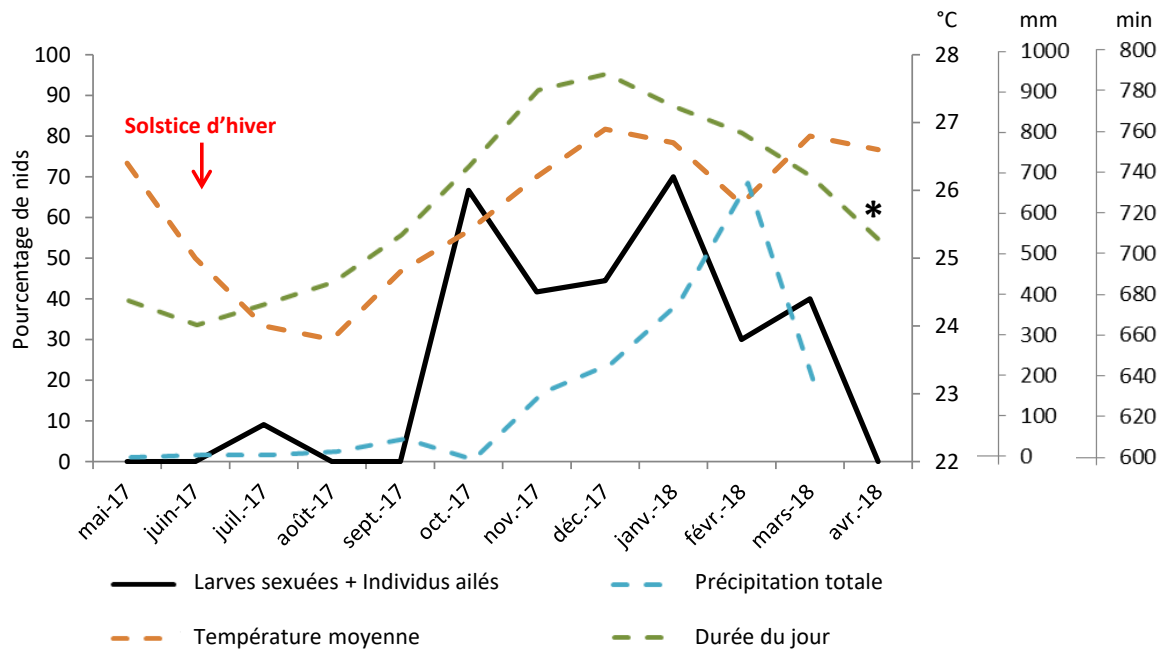


Figure 4. 4 Suivi des nids et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone sauvage de forêt humide sur Punaauia. * indique une corrélation significative selon un modèle de régression linéaire ($\alpha = 0.05$).

En zone urbanisée (Arue)

Dans la zone urbanisée étudiée, également 100% des nids trouvés présentaient des larves ouvrières (résultats non-montrés) et ce tout au long de la période de suivi, traduisant ainsi une production de larves ouvrières continue au cours de l'année.

Par contre, bien qu'elles ne soient pas significatives selon le Test exact de Fisher ($\alpha = 0.05$), des différences de production d'individus sexués ont été retrouvées au cours des mois suivis avec cependant un profil différent que celui retrouvé en zone de forêt humide sur Punaauia (Figure 4.5). En effet, deux périodes de production d'individus sexués apparaissent dans cette zone urbanisée. De la même manière qu'en zone de forêt humide, la production d'individus sexués a été plus importante lors de la saison chaude et humide, des mois d'octobre 2017 à janvier 2018, avec un maximum au cours du mois de janvier où environ 80% des nids trouvés présentaient des larves sexuées et/ou des individus ailés. La seconde période de production d'individus sexués a quant à elle été retrouvée de mai à juillet 2017 durant la période sèche et plus fraîche, où 50% des nids trouvés montraient des larves sexuées et/ou d'individus ailés. Les productions d'individus sexués minimales ou nulles (0% des nids trouvés montraient des larves sexuées et/ou d'individus ailés) ont alors été relevées de février à avril 2017 et 2018 et enfin lors des mois d'août et septembre 2017 séparant ainsi les 2 périodes de production importante.

Aussi, dans un second temps des tests de modèle de régression linéaire ont été réalisés afin de déterminer si la production d'individus sexués était corrélée avec les paramètres environnementaux tels que la température, la durée de jour ou encore les précipitations. Ces dernières se retrouvent globalement plus importantes en saison chaude et humide sur Arue que sur Punaauia (1000 mm à Arue contre 700 mm à Punaauia lors des mois les plus pluvieux). Ces tests ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation significative entre la production d'individus sexués et quelque soit les paramètres testés ($\alpha = 0.05$; Figure 4.5).

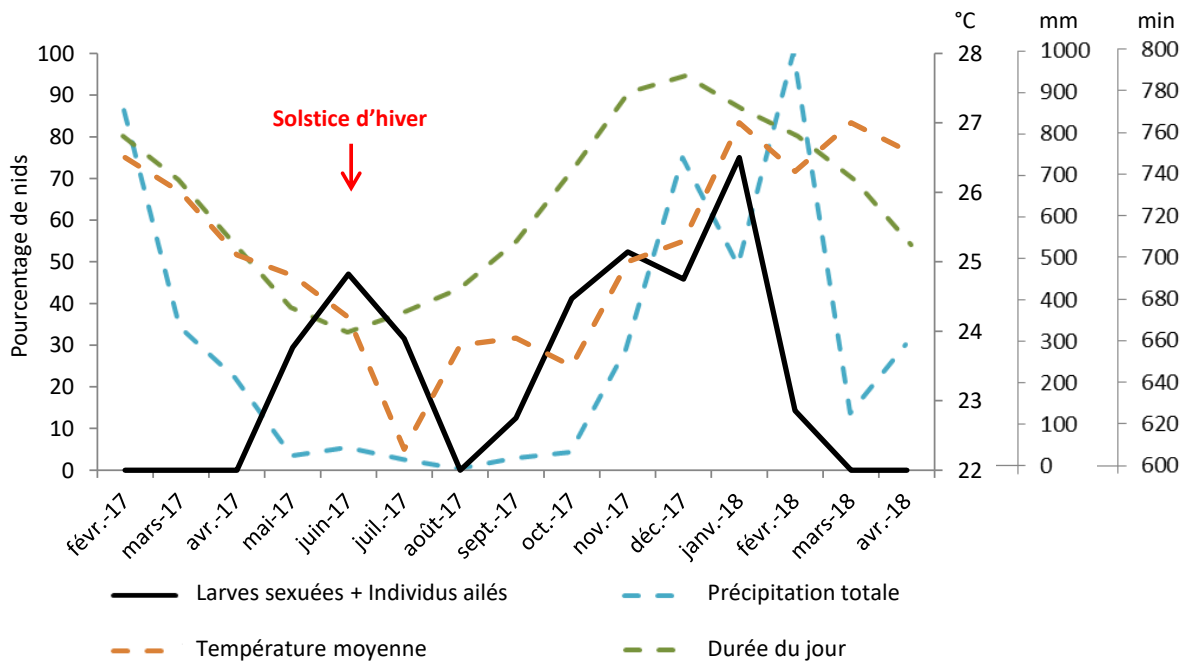


Figure 4. 5 Suivi des nids et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone urbanisée sur Arue.

3.2 La répartition verticale : présence en canopée

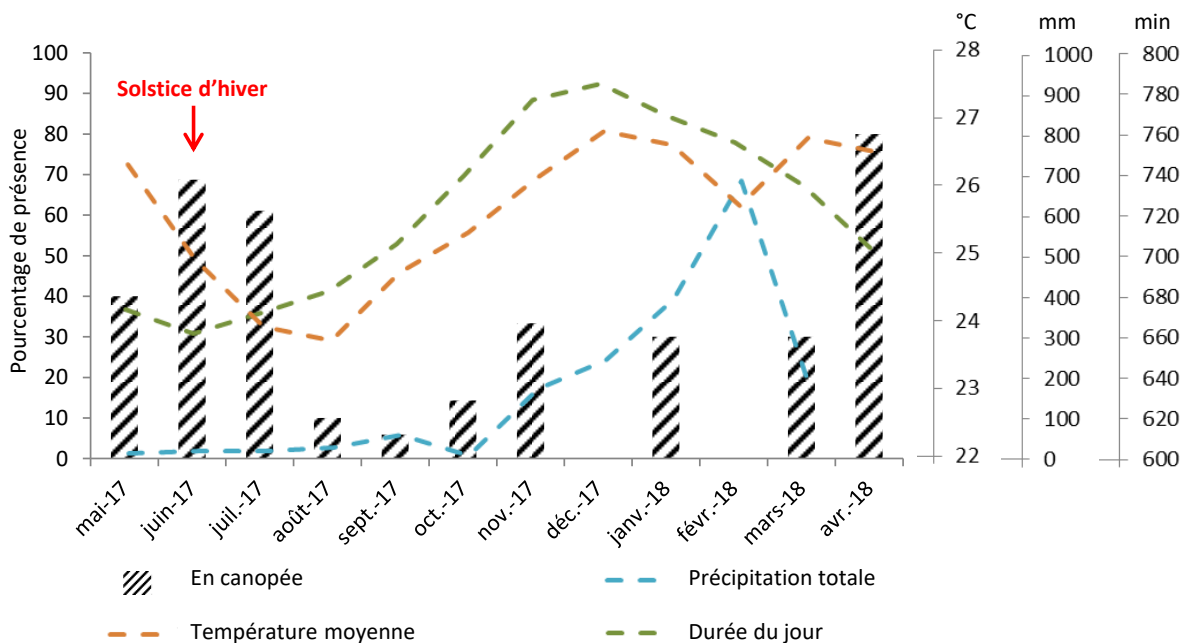


Figure 4. 6 Suivi de la présence de colonies en canopée et des paramètres météorologiques (température moyenne, précipitation totale et durée de jour) en zone sauvage de forêt humide sur Punaauia.

La répartition verticale des PFF a été analysée uniquement dans la zone de forêt humide située à Punaauia. Ainsi dans cette zone, bien qu'elles ne soient pas significatives selon le Test exact de Fisher ($\alpha = 0.05$), des différences de pourcentage de présence de colonies en canopée ont été retrouvées au

cours des mois suivis avec un potentiel profil saisonnier (Figure 4.5). En effet le pourcentage de colonies présentes en canopée a été plus important de mai 2017 à juillet 2017 et de mars à avril 2018 associés à l'inter-saison chaude et humide vers sèche et fraîche, avec un maximum au cours du mois d'avril où 80% des arbres présentaient des colonies de PFF en canopée. Au contraire, le pourcentage de colonies présentes en canopée a été beaucoup moins élevé voire parfois nul durant le reste de la période de suivi, avec des minima lors des mois de décembre 2017 et février 2018 où 0% des arbres appâtés présentaient des colonies de PFF en canopée.

Dans un second temps des tests de modèle de régression linéaire ont été réalisés afin de déterminer si la présence des colonies de PFF en canopée était corrélée avec des paramètres environnementaux tels que la température, les précipitations ou encore la durée de jour. Ces tests ont montré aucune corrélation significative ($\alpha = 0.05$).

4. Discussion

4.1. Phénologie de la reproduction

En zone infestée néo-calédonienne, la production de larves sexuées semble être influencée par les conditions microclimatiques et s'étaler sur les 8 mois les plus chauds de l'année, soit de septembre à avril (Chazeau et al., 2002). A Tahiti il semblerait aussi que la production d'individus sexués soit sous variation saisonnière, avec une production importante lors de la saison chaude et humide. Cependant le facteur environnemental qui y est fortement corrélé est non pas la température ou les pluies comme supposé au départ mais plutôt la durée de jour. La photopériode serait ainsi probablement le facteur environnemental clé et jouant un rôle majeur dans la biologie de la PFF et notamment dans la reproduction de cette espèce comme chez de nombreux insectes.

Cependant en zone urbanisée, cette saisonnalité de production d'individus sexués n'est plus distinctement retrouvée. En effet il semblerait que cette production s'opère toute l'année. Le site d'étude étant un terrain vague, faisant office de parking de voitures, et étant ainsi régulièrement entretenu (service de jardinage), les colonies de fourmi doivent ainsi faire face à un stress constant. Or, il a déjà été montré que lorsque les nids de PFF étaient fréquemment perturbés, ils pouvaient se délocaliser (Soi Louk, 2017). Cette réponse face à un tel stress serait également accompagnée par une production massive de nouveaux individus sexués afin de pérenniser la colonie qui se sent alors en danger.

4.2. Phénologie de la répartition verticale

Appréciant les milieux ombragés et humides, les petites fourmis de feu se nichent aussi bien au sol que dans les arbres. Dans notre cas, la PFF aurait tendance à former des colonies dans les arbres en inter-saison chaude et humide vers sèche et fraîche des mois d'avril à juillet. Ces colonies sembleraient ensuite redescendre vers le sol au cours des mois d'août et septembre pour y rester en saison chaude et humide. Cette descente vers le sol pourrait correspondre à une période et des conditions favorables de prolifération de la ressource de la petite fourmi de feu et ainsi des conditions optimales pour une reproduction active qui survient alors durant les mois d'octobre à mars. Cependant il est fort probable aussi que des désertifications ponctuelles de cette strate verticale lors de cette saison pourraient être dues à un lessivage brutal des arbres par des pluies abondantes.

4.3. Perspectives pour une lutte contre la petite fourmi de feu

Le principe d'un traitement efficace étant d'éliminer les individus capables de produire d'autres fourmis, donc les reines, et au vu des résultats obtenus précédemment, la première méthode serait de traiter les colonies en saison sèche et fraîche lorsque la production d'individus sexués est absente. Cependant étant donné que le traitement au fipronil se fait au sol, le traitement ne prendrait alors pas en compte les colonies présentes dans les arbres en canopée. Une réinfestation rapide du milieu par les PFF nichant en hauteur se produirait facilement dans les semaines suivantes. Pour que le traitement soit ainsi plus efficace dans la durée, il devrait se faire en saison sèche et fraîche mais notamment durant les mois d'août et septembre lorsque les colonies descendraient des arbres.

De plus, il apparaît que cette méthode de traitement précédente ne serait pas efficace au niveau des zones urbanisées qui sembleraient montrer une production d'individus sexués toute l'année. Dans ces zones, un traitement régulier couvrant les deux saisons serait ainsi plus adapté.

5. Conclusion

A Tahiti la dynamique de la petite fourmi de feu *W. auropunctata* apparaît, dans un premier temps, dépendante du milieu qu'elle infeste (zone sauvage vs zone urbanisée). Ces travaux ont effet montré qu'en zone sauvage non-urbanisée telle qu'une forêt humide, sa production d'individus sexués serait soumise au climat et présenterait ainsi des variations saisonnières avec une production active en saison chaude et humide. Cependant en zone urbanisée la production des individus sexués se ferait quasiment toute l'année afin de palier au stress créé par l'anthropisation.

Dans un second temps, en zone sauvage non-urbanisée, il apparaît que sa répartition verticale serait également potentiellement soumise aux conditions environnementales présentes que ce soit de façon direct (lessivage par les fortes pluies) ou de façon indirecte (conditions favorisant ses ressources alimentaires au sol) avec une présence en canopée plus importante en inter-saison chaude et humide vers sèche et fraîche et moins importante le reste de l'année.

Enfin dans le cadre d'une lutte efficace contre la petite fourmi de feu et de son éradication, 2 stratégies de traitement seraient à mettre en œuvre : (1) des traitements réguliers tout au long de l'année dans les zones urbanisées, et (2) des traitements en saison sèche et fraîche en zone sauvage non-urbanisée lorsque la PFF ne produit pas de nouveaux individus sexués et notamment durant les mois d'août et septembre quand les colonies seraient moins présentes en canopée.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe technique de la Société d'Ornithologie de Polynésie, notamment Laurent Yan, Josquin Michoud-Schmidt, Vaiana Maraetefau, Teiva Maraetefau, Vaitearai Arapa, Maya Tehau et Gianluca Lazzari, pour leur implication quotidienne dans les actions de lutte contre les petites fourmis de feu. Nous remercions également Mr. Pollock pour l'accès à sa propriété pour le suivi sur Punaauia. Enfin, nous remercions la DIREN pour leur soutien financier indispensable à la réalisation de ce projet.

Références

Blanvillain, C., Peels, G. and Bousseynroux, A. (2017). Plan opérationnel pour l'éradication de méga-colonies de petite fourmi de feu y compris celle située dans une falaise dans le cadre de la sauvegarde du monarque de Tahiti, oiseau endémique en danger critique d'extinction (Polynésie française). SOP Manu, Taravao, Tahiti

Rapport final de l'étude de la PFF à Tahiti – SOP Manu

Chazeau, J., Jourdan, H., Le Breton, J., Andrés, F., Bonnet de Larbogne, L., Dejean, A., Delsinne, T., Foucaud, J., Konghouleux, D. & Maïrouch, N. (2002) Etude de l'invasion de la Nouvelle-Calédonie par la fourmi pionnière *Wasmannia auropunctata* (Roger): modalités, impact sur la diversité et le fonctionnement des écosystèmes, moyens d'une maîtrise de la nuisance: programme *INWASCAL: rapport final*, IRD Nouméa, 193 pp

Clark, D. B., Guayasamin, C., Pazmino, O., Donoso, C. & de Villacis, Y. P. (1982) The tramp ant *Wasmannia auropunctata*: autecology & effects on ant diversity & distribution on Santa Cruz Island, Galapagos, *Biotropica*, pp. 196-207.

DIREN, 2017, <http://www.environnement.pf/la-petite-fourmi-de-feu>

Fabres, G. & Brown, W.L. (1978). The recent introduction of the pest ant *Wasmannia auropunctata* into New Caledonia. *Austral Entomology* (17:2) 139-142.

Jourdan, H. (1999) Dynamique de la biodiversité de quelques écosystèmes terrestres néo-calédoniens sous l'effet de l'invasion de la fourmi peste *Wasmannia auropunctata* (Roger) 1863 (Hymenoptera: Formicidae). Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 376 pp.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S. & De Poorter, M. (2000). 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. Publié par le Groupe de spécialistes des espèces envahissantes (Invasive Species Specialist Group–ISSG) un groupe de spécialistes de la Commission de la Sauvegarde des Espèces (CSE) de l'Union Mondiale pour la Nature (UICN), 12pp.

Ndoutoume-Ndong, A. & Mikissa, B. (2007) Influence de la présence de la fourmi *Wasmannia auropunctata* (Roger 1863) (Hymenoptera: Formicidae) sur les autres espèces de fourmis dans la réserve de la Lope (centre du Gabon). *Annales de la Société entomologique de France*: Taylor & Francis, 155-158.

Soi Louk, C. (2017) Phénologie de la petite fourmi de feu (*Wasmannia auropunctata*) dans une zone infestée de Tahiti. Rapport de stage. 12 pp.

Spencer, H. (1941) The small fire ant *Wasmannia* in citrus groves: a preliminary report, *The Florida Entomologist*, 24(1), pp. 6-14.

Tingle, C. C., Rother, J. A., Dewhurst, C. F., Lauer, S., & King, W. J., 2003. Fipronil: environmental fate, ecotoxicology, and human health concerns. *Reviews of environmental contamination and toxicology* : Springer New York (pp. 1-66).

Ulloa-Chacon, P. (1990) Biologie de la reproduction chez la petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera, Formicidae). Thèse de Doctorat, Université de Lausanne, Faculté des Sciences, Suisse.

Wetterer, J. K. & Porter, S. D. (2003) The little fire ant, *Wasmannia auropunctata*: distribution, impact, & control, *Sociobiology*, 42(1), pp. 1-42.

Synthèse générale & Perspectives

La petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata*, est l'une des espèces exotiques envahissantes les plus virulentes au monde à l'expansion pantropicale. Signalée officiellement en Polynésie française à Mahina en 2004, la petite fourmi de feu (PFF) est classée « espèce menaçant la biodiversité » selon le code de l'environnement, parmi 13 autres espèces animales. Au-delà des menaces qu'elle représente pour la biodiversité, elle est reconnue comme problématique pour l'agriculture, le bien-être des populations et pour l'activité économique d'une manière générale. Les vastes opérations de luttes chimiques menées entre 2005 et 2009 à Mahina afin d'aboutir à l'éradication de cette peste se sont soldées par un échec, doublé du constat d'une dissémination importante en 2009 sur l'ensemble de l'île de Tahiti. Inscrit dans ce contexte précédent, l'objectif principal de cette étude a été d'apporter et d'approfondir les connaissances sur la PFF à Tahiti tant sur sa biologie et sa dynamique dans le milieu que sur ses impacts potentiels sur l'écosystème.

De ce fait les travaux de cette étude ont été mis en place dans le but de répondre à 3 principales questions qui sont, dans cette synthèse générale, reprises une à une avec les réponses qui ont été apportées.

(1) Quel est l'impact de la PFF sur les communautés animales ?

La petite fourmi de feu *W. auropunctata* a entraîné une baisse significative de la diversité biologique dans les milieux insulaires étudiés à Tahiti. En effet dans chaque cas, tout l'écosystème a profondément été modifié et altéré avec une réduction du nombre d'individus et d'espèces (divisé par trois pour les invertébrés du sol) voir de groupe fonctionnel entier (phytophages, etc.). L'invasion de territoires par *W. auropunctata* bouleverse ainsi les équilibres écologiques à Tahiti favorisant une érosion de la biodiversité et un affaiblissement des écosystèmes autochtones. Cette invasion menace notamment directement et indirectement le Monarque de Tahiti *Pomarea nigra* en danger critique d'extinction (IUCN, 2017).

(2) Quel est l'impact du traitement chimique de la PFF (bénéfices et coût écologique) ?

Le traitement chimique testé dans cette étude apparaît spécifique à la petite fourmi de feu *Wasmannia auropunctata* en zone infestée et présente un rapport bénéfices/coûts écologiques positif. En effet, l'application des produits chimiques utilisés lors de ces traitements ne semble pas nuire de manière significative aux espèces présentes, des invertébrés aux oiseaux, puisque les écosystèmes semblent revenir à un état indemne de PFF. Le traitement chimique testé semblerait ainsi être écologiquement efficace dans la lutte et l'éradication de la petite fourmi de feu à Tahiti.

(3) Quelle est la phénologie (reproduction et répartition verticale) de la PFF en zone infestée ?

La dynamique de la petite fourmi de feu *W. auropunctata* apparaît dépendante du milieu qu'elle infeste (zone sauvage vs zone urbanisée) avec des variations saisonnières de production d'individus sexués qui semble très intense en saison chaude et humide en zone sauvage. Cependant en zone urbanisée la production des individus sexués se ferait quasiment toute l'année par stratégie de compensation dû au stress constant auquel elles font face. Sa répartition verticale présenterait également une variation saisonnière avec une présence dans les arbres plus importante en inter-saison chaude et humide vers sèche et fraîche et moins importante le reste de l'année.

Enfin en perspectives, dans le cadre d'une lutte efficace contre la petite fourmi de feu et de son éradication, 2 stratégies de traitement seraient à mettre en œuvre : (1) des traitements réguliers tout au long de l'année dans les zones urbanisées, et (2) des traitements en saison sèche et fraîche en zone sauvage non-urbanisée lorsque la PFF ne produit pas de nouveaux individus sexués et notamment durant les mois d'août et septembre quand les colonies descendraient des arbres.