

Diversité des Formicidae de la réserve intégrale de l'île de Bagaud (Var, France), avant l'éradication de deux taxa invasifs majeurs : *Rattus rattus* et *Carpobrotus* spp.

Laurence BERVILLE^{1,2*}, Aurélie PASSETTI^{1,3}, Philippe PONEL¹

¹Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE), Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Technopôle Arbois-Méditerranée, Bât. Villemin, BP 80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 04, France.

²Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes (IGEPP) Université de Rennes 1, Agrocampus Ouest-INRA, Bât. 25, Campus Beaulieu, Avenue du Général Leclerc, 35 042 Rennes Cedex, France.

³Biotope Languedoc-Roussillon, 22 Bd Maréchal Foch, BP 58, F-34140 Mèze, France.

*Contact : laurence-berville@hotmail.fr

Résumé. Le déplacement involontaire d'espèces de plantes et d'animaux est devenu un facteur particulièrement important dans les problématiques de conservation de la biodiversité. En effet, les invasions biologiques représentent la première cause de perte de biodiversité dans les écosystèmes isolés, au fonctionnement simplifié, que composent les milieux insulaires. Ils constituent ainsi des terrains d'études privilégiés pour l'analyse de l'impact des taxons envahissants et c'est pourquoi de nombreux programmes d'éradication ont été menés pour restaurer la biodiversité des îles. Toutefois, rares sont les études scientifiques post-éradication et tout particulièrement celles cherchant à prendre en compte les bénéfices / pertes de biodiversité dans les communautés d'arthropodes. La réserve intégrale de l'île de Bagaud, dans l'archipel des îles d'Hyères (Var, France) fait partie intégrante du Parc national de Port-Cros (PNPC). Dans un but de conservation, le PNPC a lancé un programme décennal de restauration écologique qui implique l'éradication du rat noir (*Rattus rattus*) et des griffes de sorcière (*Carpobrotus* spp.), connus pour leurs effets particulièrement néfastes sur la flore et la faune des écosystèmes méditerranéens. Toutefois, dans le cadre d'un programme d'éradication, il est essentiel de connaître l'état initial du site afin d'évaluer, ultérieurement, les effets de l'opération. Ainsi, la communauté des fourmis de l'île a fait l'objet d'un état initial entre 2010 et 2012. Afin de connaître la myrmécofaune de l'île selon les habitats, nous avons choisi une approche couplant plusieurs méthodes de piégeage. L'ensemble des campagnes de terrain met en évidence la présence d'un grand nombre d'individus (8 077) et 28 taxa. L'île héberge une myrmécofaune assez riche malgré une superficie faible (59 ha) et comprend plus de 11,9 % de la myrmécofaune française, sur moins de 0,001 ‰ de son territoire. Malgré l'apparente simplicité du milieu en termes de ressources, il semble donc que la diversité des micro-habitats à l'échelle de l'île puisse expliquer le grand nombre d'espèces rencontrées. La fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*), une espèce invasive présente sur les îles voisines de Port-Cros et Porquerolles, est pour le moment absente de Bagaud.

Mots-clés : fourmis, inventaire biologique, écosystème insulaire, restauration écologique, état initial.

Abstract. Ant diversity on Bagaud Island wilderness area (Var, France), before the eradication of two major invasive taxa: *Rattus rattus* and *Carpobrotus* spp.

Involuntary displacement of both fauna and flora species has become an important factor regard to the conservation of biodiversity problematics. As a matter of fact, invading species represent the mean driver of biodiversity loss in isolated and simplified biotopes, such as insular ecosystems. The latter constitute propitious study sites for an assessment of the environmental impacts of invasive taxa; hence many eradication programs have been conducted in order to restore island biodiversity. Nevertheless, post-eradication scientific studies are scarce; in particular those seeking to take into account both benefits and losses of arthropod biodiversity. Bagaud Island wilderness area is an integral nature reserve included in Port-Cros National Park (PNPC) located in Hyères archipelago in southern France. For conservation purpose, the PNPC initiated a ten-year ecological restoration program including the eradication of both *Rattus rattus* (black rat) and *Carpobrotus* spp. (iceplant), well known for their negative impacts on the Mediterranean fauna and flora. However, it is essential to provide detailed information on the initial state of the environment to assess the effectiveness of the proposed measures over time. Thus, between 2010 and 2012, the initial state of ant biodiversity has been estimated using several trapping methods in the different habitats. The full set of data of all field campaigns yielded a high number of individuals (8 077) and 28 taxa. In spite of its small size (59 ha), Bagaud Island hosts more than 11.9 % of the French myrmecofauna, on less than 0.001‰ of his territory. Notwithstanding an apparent environment simplicity in terms of resources it would therefore appear that the micro-habitat diversity of the island may explain this high ant diversity. The Argentine ant (*Linepithema humile*), an invasive species that occurs on the neighboring Port-Cros and Porquerolles Islands, has to date not been reported on Bagaud.

Keywords: ants, biological inventory, insular ecosystem, ecological restoration, initial state.

Introduction

L'accroissement de la vitesse de fragmentation des habitats, l'augmentation du nombre d'espèces invasives et le réchauffement climatique ont fait de la conservation de la biodiversité l'un des enjeux majeurs du XXI^e siècle (Avisé *et al.*, 2008). Avec l'intervention de l'homme, les invasions biologiques s'accroissent et constituent l'une des principales causes d'extinction d'espèces, tout particulièrement au sein des systèmes insulaires (ex. Honneger, 1981 ; King, 1985 ; Ceballos et Brown, 1995). En effet, les îles hébergent un fort taux d'endémisme, une part importante des espèces animales et végétales mondialement menacées, ainsi que des réseaux trophiques simplifiés (Cronk, 1997 ; Denslow, 2001 ; Drake *et al.*, 2002), conférant à ces systèmes écologiques une grande vulnérabilité face aux invasions biologiques (Amori *et al.*, 2008 ; Sax et Gaines, 2008 ; Berglund *et al.*, 2009). Le bassin méditerranéen, avec plusieurs milliers d'îles et d'îlots, est donc particulièrement concerné par ces diverses menaces. Les systèmes insulaires qu'il héberge forment des ensembles de grand intérêt biologique et biogéographique (Quézel *et al.*, 1990) présentant des assemblages d'espèces très distincts du continent et semblent plus sensibles aux perturbations (Vidal *et al.*, 1998). Ils sont de plus le théâtre d'invasions biologiques, souvent anciennes, aux répercussions

considérables sur la faune et la flore indigènes. C'est le cas du rat noir *Rattus rattus*, mais bien d'autres espèces animales ou végétales ont été introduites au cours du XIX^e ou XX^e siècle, comme les plantes du genre *Carpobrotus* spp. (griffes de sorcière) originaires d'Afrique du Sud, ou la fourmi d'Argentine *Linepithema humile* originaire d'Amérique du Sud. La présence simultanée de plusieurs espèces invasives peut être à l'origine d'un processus de « fusion invasive » (Simberloff et Von Holle, 1999) en raison des interactions mutualistes multiples que peuvent entretenir ces taxons exotiques (ex. Vilà et D'Antonio, 1998 ; Suehs *et al.*, 2003 ; Bourgeois *et al.*, 2004).

L'expansion des griffes de sorcière, du rat noir et de la fourmi d'Argentine sur les îles de Provence, soulève une inquiétude du fait des menaces qu'elles font peser sur ces écosystèmes fragiles. Leurs capacités démographiques donnent à ces taxons la capacité d'interférer avec les composantes majeures de l'écosystème, à savoir plantes et insectes. Les griffes de sorcière entrent en forte compétition avec les communautés végétales indigènes, car elles altèrent la structure des écosystèmes littoraux (Campos *et al.*, 2004), entraînant une banalisation de la faune (Orgeas *et al.*, 2007). Ces auteurs ont également montré que les *Carpobrotus* spp. ont un effet extrêmement négatif non seulement sur la richesse spécifique mais aussi sur l'abondance de certaines communautés entomologiques (Coléoptères et Hyménoptères Formicidae).

La fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*) a envahi tous les écosystèmes de type méditerranéen (Carpintero *et al.*, 2004 ; Giraud *et al.*, 2002) pour devenir l'une des cent espèces les plus invasives du monde (Lowe *et al.*, 2000). En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, elle occupe une grande partie du littoral (Giraud *et al.*, 2002 ; Blight *et al.*, 2012 ; Berville *et al.*, 2013) depuis plus d'un siècle (Chopard, 1921). L'infestation s'opère à partir de foyers centrés autour des zones urbanisées (Suarez *et al.*, 1998) et s'étend plus ou moins profondément dans les zones naturelles adjacentes (Holway, 1998 ; Holway *et al.*, 2002 ; Espadaler et Gomez, 2003 ; Gomez et Oliveras, 2003). Sur les îles de Provence, l'invasion est pour l'heure partielle sur Port-Cros (Berville *et al.*, 2012), préoccupante sur l'île de Porquerolles (Berville *et al.*, 2012) et totale sur l'île des Embiez (Berville, 2013). Au-delà de la perte évidente de diversité de la myrmécofaune en zones envahies, son expansion menace de déstructurer complètement l'écosystème. En effet, la disparition d'espèces indigènes [de fourmis et plus généralement d'Arthropodes (Cole *et al.*, 1992)] entraîne une homogénéisation à la fois morphologique et éthologique de la communauté. Cet amoindrissement de la biodiversité va créer des dysfonctionnements dans les équilibres des écosystèmes, puisque les

arthropodes représentent un compartiment clé dans l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes.

L'île de Bagaud a été sélectionnée pour un programme de restauration écologique, visant à éliminer le rat noir et les *Carpobrotus* spp. Cette réserve naturelle est située à quelques encablures seulement de l'île de Port-Cros, elle-même partiellement envahie par la fourmi d'Argentine, alors que la présence de cette espèce n'était pas établie sur Bagaud. Dans le cadre d'un programme d'éradication, il est essentiel de connaître l'état initial du site afin d'évaluer ultérieurement les effets de l'opération dans un contexte d'invasions biologiques. Une description précise du milieu permet ainsi d'estimer la pertinence de l'opération et d'apprécier *a posteriori* ses répercussions sur l'écosystème dans sa globalité (Pascal et Chapuis, 2000). Pour ces raisons, il était d'un grand intérêt de connaître : 1-) les communautés de fourmis occupant les différents habitats de l'île avant les opérations d'éradication et 2-) la présence et éventuellement l'étendue d'une invasion de l'île par la fourmi d'Argentine. L'application d'un protocole d'échantillonnage très précis et parfaitement reproductible devrait donc permettre de tester à moyen et long termes la réponse des communautés d'Hyménoptères Formicidae aux opérations d'éradication multi-invasives actuellement menées sur l'île et de fournir un état zéro de ces communautés dans l'hypothèse où la fourmi d'Argentine parviendrait à coloniser l'île de Bagaud.

Matériels et méthodes

Site de l'étude

L'Archipel des îles d'Hyères, aussi appelé les Îles d'Or, est un groupe de quatre îles, situé dans le département du Var, en face de la rade d'Hyères (Fig. 1). Il est composé de l'île de Porquerolles - la plus grande -, de l'île du Levant, de l'île de Port-Cros et de l'île de Bagaud, ainsi que de nombreux îlots comme la Gabinière ou le Rocher du Rascas. L'insularité et la situation méridionale confèrent à l'archipel un climat caractérisé par des étés chauds et des hivers tempérés, avec une forte humidité relative de l'air, même en été. La température moyenne annuelle est d'environ 15°C et les maxima estivaux dépassent fréquemment les 30°C. Les vents d'Est et le Mistral (Nord-Ouest) sont les plus fréquents. L'île de Bagaud est située à seulement 450 m à l'Ouest de l'île de Port-Cros. D'une superficie projetée de 58,8 hectares, elle mesure 1 480 m dans sa plus grande longueur (du nord au sud) et est large de 590 m d'Est en Ouest (Fig. 1). L'île de Bagaud est principalement recouverte par un matorral dominé par *Pistacia lentiscus*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Myrtus communis* et *Phillyrea* spp.

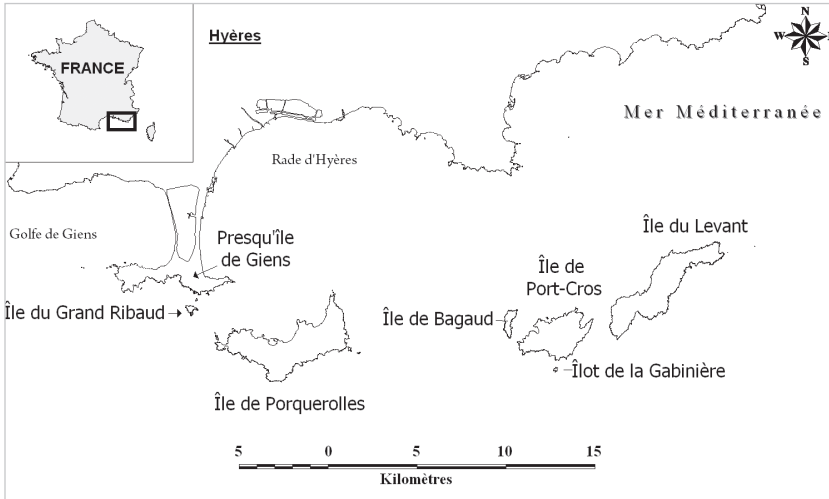


Figure 1. Archipel des îles d'Hyères (Berville et Ponel, 2013).

À l'occasion du programme de restauration écologique, des layons ont été provisoirement ouverts à travers le maquis impénétrable pour faciliter les déplacements sur l'ensemble de l'île (Passetti *et al.*, 2012 ; Ruffino *et al.*, 2014) et explorer des secteurs inaccessibles. Dès le début, il a été possible de faire quelques observations entomologiques inédites (Ponel *et al.*, 2012). Ces données sont d'autant plus précieuses que la faune des insectes de Bagaud reste mal connue (Ponel et Andrieu-Ponel, 1998), à l'exception des parties les plus méridionales de l'île qui ont été étudiées à l'occasion de divers programmes de recherches consacrés à l'impact sur l'entomofaune des colonies de goélands (Orgeas *et al.*, 2003) et des taches de *Carpobrotus* spp. (Orgeas, 2003 ; Orgeas *et al.*, 2007).

Échantillonnage de la communauté myrmécologique

Trois méthodes complémentaires de capture ont été mises en place visant les fourmis terricoles de surface, habitant sous les pierres, dans le sol (à moins de 30 cm de profondeur), celles vivant dans les arbres ainsi que celles vivant dans les fentes des rochers. Ces fourmis constituent la majorité de la faune myrmécologique française. Une première méthode consiste en une chasse à vue sur les différents types d'habitats, au cours de laquelle la surface prospectée est parcourue au hasard pendant un intervalle de temps connu. Cette méthode permet d'observer de nombreuses espèces et de connaître leur habitat. La prospection à vue de l'île de Bagaud a été effectuée

durant 5 journées complètes à différentes périodes de l'année (avril, mai, juin et septembre) (Fig. 2).

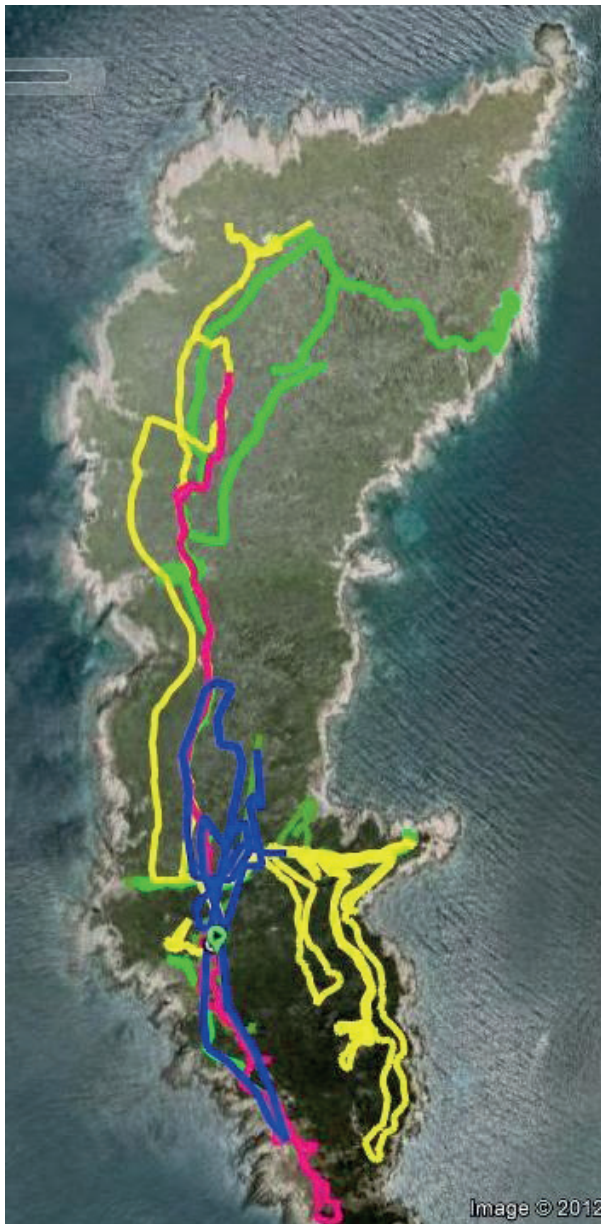
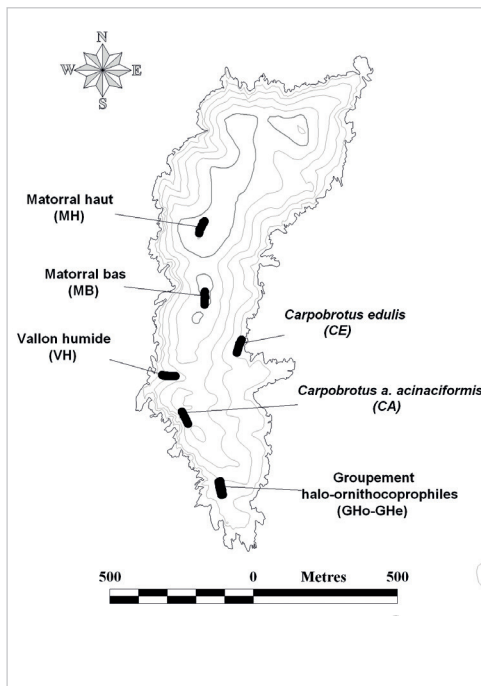


Figure 2. Itinéraires parcourus sur l'île lors des différentes chasses à vue (Berville et Ponel, 2013). Chaque couleur représente le parcours d'une journée.

La deuxième méthode de capture est un échantillonnage par la méthode des « *Pitfall traps* », ou pièges Barber. Cette méthode consiste à capturer la faune mobile au moyen de pièges. Elle a l'avantage d'être efficace quel que soit le type d'habitat et d'assurer un suivi standardisé sans biais d'échantillonnage majeur. En effet, elle ne crée pas de biais de distribution lié à la sensibilité olfactive des insectes (Abensperg-Traun et Steven 1995) et donne une estimation de la faune active au sol, ainsi que la probabilité des captures au hasard en fonction de la densité des insectes et de leur mobilité (Greenslade, 1973). Un récipient en plastique de 102 mm de profondeur et 53 mm de diamètre est enfoncé dans le sol, le sommet du récipient affleurant la surface du sol. Il est rempli au $\frac{3}{4}$ d'un mélange non attractif de propylène glycol qui agit comme conservateur en évitant la décomposition des insectes récoltés et de quelques gouttes de liquide de vaisselle (agent tensioactif) qui permet aux individus de couler au fond du récipient. En 2011, quatre campagnes de piégeage ont eu lieu (d'avril à octobre). Pour chaque campagne de piégeage, sept transects constitués de 10 pièges espacés de 5 m, ont été posés dans 7 milieux durant 3 semaines (Fig. 3, Berville et Ponel, 2013) (n=280). Deux transects ont



été placés dans les zones à *Carpobrotus* spp. : un transect dans les *Carpobrotus affine acinaciformis* (CA) et un transect dans les *Carpobrotus edulis* (CE). Les cinq autres transects ont été installés dans le matorral bas à *Pistacia lentiscus* et *Phillyrea angustifolia* (MB) ; dans le matorral haut à *Erica arborea* et *Arbutus unedo* (MH), dans la ceinture halophile d'un vallon humide (VH) et enfin deux dans les groupements halo-ornithocoprofiles (GHo et GHe)]. Ce maillage permet d'évaluer la richesse et l'abondance de la faune locale (Berville et Ponel, 2013).

Figure 3. Répartition des pièges « Barber » sur l'île de Bagaud (Berville et Ponel, 2013).

La troisième méthode de capture consiste en un tamisage de litière au tamis Winkler (maille : 0,5 cm), chaque échantillon représentant cinq litres de particules fines contenant aussi les insectes. La litière ainsi collectée est placée dans un sac de toile, puis, de retour au laboratoire, traitée par l'« extracteur de Berlese ». Cette technique permet de capturer essentiellement les fourmis de la litière et d'en mesurer l'abondance dans un volume donné de litière. Cinq prélèvements de litière ont été effectués en décembre 2011 et trois autres en mars 2012. Ils ont concerné diverses formations végétales ; deux formations arbustives basses à *Pistacia lentiscus*, deux formations à *Lavatera arborescens*, une cistaie à *Cistus monspeliensis*, une cistaie à *Cistus salviifolius* et *Cistus monspeliensis* et un sous-bois à *Quercus ilex*, une formation à *Juniperus phoenicea*, une formation à *Olea europaea* et une formation à *Rhamnus alaternus* (Fig. 4, Berville et Ponel, 2013).

Tous les individus prélevés à l'aide des trois méthodes ont été identifiés morphologiquement au laboratoire.

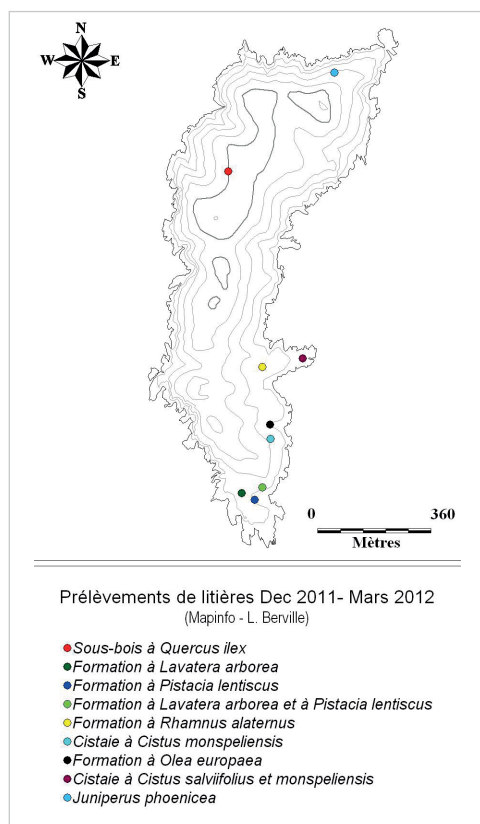


Figure 4. Localisation des prélèvements de litières en 2011 et 2012 (Berville et Ponel, 2013).

Traitement des données

Pour chaque milieu, la fréquence d'occurrence (F) d'une espèce a été calculée par le rapport (exprimé en pourcentage) du nombre de prélèvements où cette espèce est présente au nombre total de prélèvements effectués : $F = (Pa/P) \times 100$ (avec, F : la fréquence d'occurrence de l'espèce, Pa : le nombre total de prélèvements contenant l'espèce considérée et P : le nombre total de prélèvements).

Afin d'évaluer l'impact des *Carpobrotus* sur la structure des communautés, les différentes zones d'échantillonnage par pitfalls ont fait l'objet de comparaison en termes de richesse spécifique et d'abondances absolue et relative. Le signal saisonnier a été éliminé en fusionnant les quatre campagnes de terrain annuelles pour chaque transect étudié.

Résultats et conclusion

L'ensemble des campagnes de terrain a permis d'obtenir un grand nombre de fourmis (8 077 individus). Ces chiffres traduisent le résultat d'un effort d'échantillonnage important, tant par le nombre de prospections que par la diversité des méthodes de collecte employées ou la diversité des habitats étudiés. L'inventaire réalisé fournit donc probablement une bonne estimation de la diversité des fourmis présentes sur l'île.

L'île de Bagaud semble héberger une myrmécophage assez riche malgré une faible superficie. Actuellement, avec 28 espèces de fourmis (Tabl. I), l'île de Bagaud comprend plus de 11,9 % de la myrmécophage française (Casevitz-Weulersse et Galkowski, 2009), sur moins de 0,001 ‰ de la superficie de la France. Cette observation est surprenante car sur une île d'une telle dimension, soumise à diverses invasions, où règnent des conditions écologiques assez drastiques avec des vents violents chargés d'embruns salés, on pourrait s'attendre à une diversité et une abondance entomologique bien plus faibles. Malgré l'apparente simplicité du milieu en termes de ressources, il semble donc que la diversité des micro-habitats à l'échelle de l'île puisse expliquer le grand nombre d'espèces rencontrées. Ces 28 espèces appartiennent à 14 genres et 4 sous-familles [Dolichoderinae, Formicinae ainsi que les Myrmicinae et les Ponerinae] sur les 6 sous-familles représentées en France. On notera l'absence du genre *Cataglyphis* pourtant bien représenté sur le continent (Della Santa, 1995) et la présence des trois espèces du genre *Crematogaster* actuellement connues de France continentale (Tabl. I). À ce jour, signalons l'absence de la fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*) sur Bagaud, alors qu'elle est bien présente sur les îles voisines, Port-Cros et Porquerolles.

Tableau I. Fourmis observées pour chaque type d'échantillonnage (Berville et Ponel, 2013).

Espèces	Pitfall	Litière	Chasse à vue
1 <i>Aphaenogaster subterranea</i> (Latreille, 1798)	X	X	X
2 <i>Camponotus foreli</i> Emery, 1881			X
3 <i>Camponotus lateralis</i> (Olivier, 1792)	X	X	X
4 <i>Camponotus piceus</i> (Leach, 1834)	X		X
5 <i>Camponotus sylvaticus</i> (Olivier, 1792)	X		X
6 <i>Crematogaster auberti</i> Emery, 1869	X		
7 <i>Crematogaster scutellaris</i> (Olivier, 1792)	X	X	X
8 <i>Crematogaster sordidula</i> (Nylander, 1849)	X	X	X
9 <i>Hypoponera eduardi</i> (Forel, 1894)		X	
10 <i>Hypoponera punctatissima</i> (Roger, 1859)	X		
11 <i>Lasius lasioides</i> (Emery, 1869)	X	X	X
12 <i>Lasius myops</i> (Forel, 1894)			X
13 <i>Lasius</i> gr. <i>niger</i>	X		X
14 <i>Lasius</i> sp.	X		X
15 <i>Leptothorax</i> sp.	X		
16 <i>Messor barbarus</i> (Linnaeus, 1767)	X		X
17 <i>Messor sanctus</i> Emery, 1921/ <i>M. bouvieri</i> (Bondroit, 1918)	X		X
18 <i>Myrmecina graminicola</i> (Latreille, 1802)		X	
19 <i>Pheidole pallidula</i> (Nylander, 1849)	X	X	X
20 <i>Plagiolepis pygmaea</i> (Latreille, 1798)	X	X	X
21 <i>Ponera testacea</i> Emery, 1895	X	X	
22 <i>Solenopsis</i> sp.	X	X	X
23 <i>Temnothorax angustulus</i> (Nylander, 1856)			X
24 <i>Temnothorax exilis</i> (Emery, 1869)			X
25 <i>Temnothorax leviceps</i> (Emery, 1898)	X	X	X
26 <i>Temnothorax lichtensteini</i> (Bondroit, 1918)	X	X	X
27 <i>Temnothorax</i> sp.	X		
28 <i>Tetramorium</i> gr. <i>caespitum</i>	X		

Les trois méthodes de prospections sont complémentaires. La prospection par chasse à vue s'est effectuée sur 442 sites géo-référencés (Fig. 5). Elle a permis d'identifier 20 espèces de fourmis appartenant à 9 genres (Tabl. I). Les *Crematogaster scutellaris* représentent plus de 31 % des observations. Des nids impressionnants de plusieurs milliers d'individus ont été observés dans le sud de l'île, dans les zones à *Pistacia lentiscus*. Ces fourmis arboricoles semblent être l'espèce dominante de l'île. Le sud, plus ouvert, est dominé par les *Pheidole pallidula*.

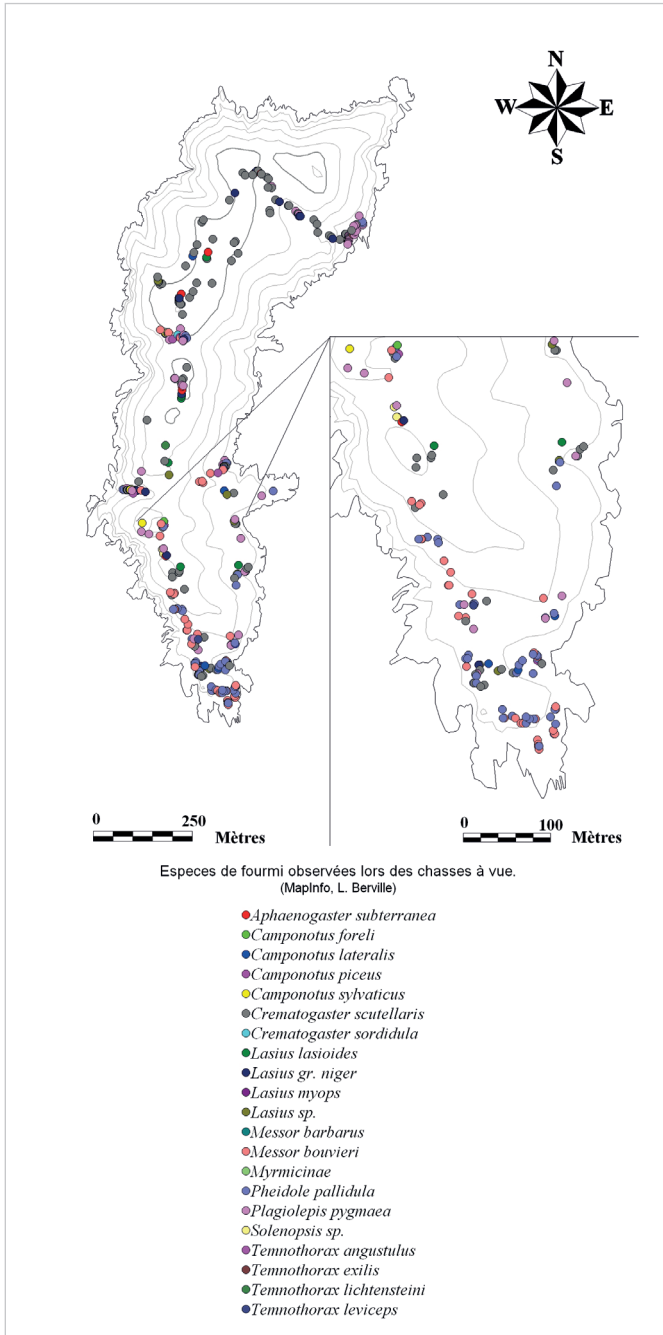


Figure 5. Distribution des espèces de fourmis observées durant les chasses à vue (Berville et Ponel, 2013).

Les prélèvements de litières ont permis l'observation de 560 individus (ouvrières et reines) correspondant à 13 espèces de fourmis (Tabl. I et II). *Myrmecina graminicola* n'a pas été observée par les autres techniques d'échantillonnage. Le prélèvement de litière sous *Quercus ilex* a révélé la présence de 7 espèces (dont l'unique point de prélèvement de *M. graminicola*). Les deux prélèvements sous *Pistacia lentiscus* ont révélé la présence de 9 espèces, ceux sous *Lavatera arborescens* de six espèces. Les prélèvements sous *Rhamnus alaternus* et sous *Olea europaea* ont mis en évidence la présence respectivement de trois et cinq espèces. La cistaie à *Cistus monspeliensis* et la cistaie à *Cistus salviifolius* et *C. monspeliensis* ont fourni une et cinq espèces respectivement. Enfin, aucune espèce n'a été trouvée dans la formation à *Juniperus phoenicea* (Tabl.II).

Tableau II. Diversité myrmécologique de chaque formation végétale et fréquence d'occurrence de chaque espèce de fourmi lors des prélèvements de litière (Berville, Ponel, 2013). Formations végétales : *Cistus monspeliensis* (C.m) ; *Cistus salviifolius* et *C. monspeliensis* (C.s&m); *Juniperus phoenicea* (J.p); *Pistacia lentiscus* 1 (P.I1) et 2 (P.I2) ; *Lavatera* 1 (L1) et 2 (L2) ; *Olea europaea* (O. e) ; *Quercus ilex* (Q.i) ; *Rhamnus alaternus*. (R.a).

Espèces	Formations végétales											F
	C. m	C. s&m	J. p	P. I1	P. I2	L1	L2	O. e	Q. i	R. a		
<i>Aphaenogaster subterranea</i>					X			X	X	X		40
<i>Camponotus lateralis</i>					X	X	X	X				40
<i>Crematogaster scutellaris</i>				X								10
<i>Crematogaster sordidula</i>	X			X			X					30
<i>Hypoponera eduardi</i>									X			10
<i>Lasius lasioides</i>								X				10
<i>Myrmecina graminicola</i>									X			10
<i>Pheidole pallidula</i>	X			X	X		X					40
<i>Plagiolepis pygmaea</i>	X				X	X	X					40
<i>Ponera testacea</i>									X			10
<i>Temnothorax leviceps</i>	X			X		X	X					40
<i>Temnothorax lichtensteini</i>				X	X			X	X	X		50
<i>Solenopsis sp.</i>	X	X		X			X	X		X		60
Richesse spécifique par habitat	1	5	0	6	5	3	6	5	7	3		

Les pièges Barber ont permis de capturer 6 633 individus correspondant à 22 espèces de fourmis (Tabl. III et IV). Les *Pheidole pallidula* et les *Crematogaster scutellaris* ont les plus fortes fréquences d'occurrence (Tabl. III). De plus, elles ont été trouvées dans tous les milieux, de même que les minuscules *Plagiolepis pygmaea* et *Solenopsis sp.*, (Tabl. IV). On notera l'absence des *Camponotus foreli* et des *Lasius myops* observées lors des chasses à vue. Cinq espèces ont été capturées dans les pièges mais pas observées lors des chasses à vue. Il s'agit de *Crematogaster auberti*, *Hypoconerops punctatissima*, *Leptothorax acervorum*, *Ponera testacea* et *Tetramorium gr. caespitum*

(Tabl. I). Toutefois, sur les 280 pièges Barber placés sur l'île de Bagaud en 2011, un total de 19 pièges a été déterré et/ou renversé (6 CE, 1GHe, 3 GHo, 3 MB, 2 MH, 4VH) dans des lieux où les goélands ou/et les rats sont très actifs. De plus, 15 pièges ne contenaient aucune fourmi (1 CE, 10 CA, 1GHe, 2 GHo, 1 MB). On notera que, malgré l'absence de fourmis dans 25 % des pièges de CA, ce transect présente la plus grande richesse spécifique. Les transects dans les *Carpobrotus acinaciformis* et dans le matorral bas ont révélé la plus grande richesse spécifique, avec la présence de 17 et 15 espèces respectivement. Le groupement ornitho-coprophile Ouest recèle la plus faible richesse spécifique avec 10 espèces. Cependant, ces différences d'abondance ou de richesse spécifique entre milieux ne sont pas statistiquement significatives. La présence exclusive de *Carpobrotus* spp. ou la nature du couvert végétal (ciste, lentisque, chêne vert, lavatère) ne semblent pas diminuer la diversité des communautés de fourmi sur l'île de Bagaud. Contrairement à ce qui avait été observé lors d'une précédente étude (Orgeas *et al.*, 2007), les taches à *Carpobrotus* spp. ne montrent pas une nette diminution de l'abondance et de la richesse spécifique comparativement aux zones non envahies, que ce soit le cordon halophile ou le maquis central. En revanche, cinq espèces ne se rencontrent qu'en dehors des taches de *Carpobrotus* alors qu'aucune n'est exclusive des *Carpobrotus* (Tabl. IV).

Tableau III. Nombre d'individus observés dans les pitfalls pour chaque espèce de fourmi et leur fréquence d'occurrence (Berville, Ponel, 2013). Pa représente le nombre de pièges contenant l'espèce prise en considération (n=280).

Espèces	Nb individu obs.	Pa	F
<i>Aphaenogaster subterranea</i>	337	49	17,50
<i>Camponotus lateralis</i>	77	42	15,00
<i>Camponotus piceus</i>	31	8	2,86
<i>Camponotus sylvaticus</i>	73	52	18,57
<i>Crematogaster auberti</i>	2	2	0,71
<i>Crematogaster scutellaris</i>	324	95	33,93
<i>Crematogaster sordidula</i>	49	21	7,50
<i>Hypoponera punctatissima</i>	2	2	0,71
<i>Lasius lasioides</i>	529	21	7,50
<i>Lasius gr. niger</i>	368	27	9,64
<i>Lasius sp.</i>	62	6	2,14
<i>Leptothorax sp.</i>	23	7	2,50
<i>Messor barbarus</i>	164	7	2,50
<i>Messor bouvieri</i>	1298	60	21,43
<i>Pheidole pallidula</i>	2814	134	47,86
<i>Plagiolepis pygmaea</i>	298	82	29,29
<i>Ponera testacea</i>	12	11	3,93
<i>Solenopsis sp.</i>	79	34	12,14
<i>Temnothorax leviceps</i>	66	22	7,86
<i>Temnothorax lichtensteini</i>	21	15	5,36
<i>Temnothorax sp.</i>	3	3	1,07
<i>Tetramorium gr. caespitum</i>	1	1	0,36
Total général	6633	712	

Tableau IV. Nombre total de pitfall contenant l'espèce prise en considération en fonction du type d'écosystème (Berville, Ponel, 2013). Formations végétales : *Carpobrotus affine acinaciformis* (CA) ; *Carpobrotus edulis* (CE) ; matorral bas (MB) ; matorral haut (MH), ceinture halophile d'un vallon humide (VH) et halo-ornithocrophiles (GHe & GHe).

Espèces	CA	CE	GHe	GHo	MB	MH	VH
<i>Aphaenogaster subterranea</i>	3				11	35	
<i>Camponotus lateralis</i>	5		1		11	18	7
<i>Camponotus merula</i>	1						7
<i>Camponotus sylvaticus</i>	11	17	1		6		17
<i>Crematogaster auberti</i>	1				1		
<i>Crematogaster scutellaris</i>	2	13	11	11	19	23	16
<i>Crematogaster sordidula</i>	1		1		4	4	11
<i>Hypoponera punctatissima</i>	2						
<i>Lasius lasioides</i>		2			10	6	5
<i>Lasius gr. niger</i>		2			5	1	17
<i>Lasius sp.</i>	1	1	1		1	1	1
<i>Leptothorax sp.</i>			3	3	1		
<i>Messor barbarus</i>	2		1				4
<i>Messor bouvieri</i>	12	8	11	12			17
<i>Pheidole pallidula</i>	5	21	38	35	10	1	24
<i>Plagiolepis pygmaea</i>	4	19	9	6	17		27
<i>Ponera testacea</i>	10			1			
<i>Solenopsis sp.</i>	5	4	1	1	10	3	10
<i>Temnothorax leviceps</i>	2	3	6	10	1		1
<i>Temnothorax lichtensteini</i>	2		1	1	8	3	
<i>Temnothorax sp.</i>		1		2			
<i>Tetramorium gr. caespitum</i>						1	
Total général	69	91	85	82	116	99	164
Richesse spécifique par transect	17	11	13	10	15	11	14

Préconisations concernant la fourmi d'Argentine

L'absence de la fourmi d'Argentine sur Bagaud ne doit pas conduire à une baisse de la vigilance. En effet, on trouve cette espèce sur un très grand nombre d'îles (Porquerolles, l'île du Frioul, Les Embiez, etc.), même très éloignées du continent. Encore aujourd'hui, éradiquer cette fourmi - comme beaucoup d'autres - même en milieu insulaire, se révèle extrêmement compliqué, voire impossible à partir d'un certain niveau d'invasion.

Cette fourmi emploie une stratégie de dissémination par bourgeonnement à partir d'une tête de pont (les ports par exemple) largement dépendante des activités humaines. Il est très important de veiller à ne pas propager de reines dans des lieux non infestés. Deux facteurs de risque sont principalement à surveiller. D'abord la propagation depuis d'autres îles proches telles que Port-Cros et Porquerolles est à craindre, particulièrement dans le contexte des programmes actuels de restauration écologique de l'île de Bagaud qui impliquent un transfert (depuis les autres îles ou depuis le continent) de matériel (ratières) et de personnel (main d'œuvre pour l'arrachage des *Carpobrotus* spp., dératissage, ouverture des layons, suivis

scientifiques, etc.), sans oublier les programmes de conservation des populations de certains oiseaux marins comme les puffins qui nécessitent l'apport de nids artificiels. À partir des têtes de pont, la propagation à l'intérieur même des îles par divers vecteurs est une menace sérieuse. Les containers à ordures ménagères acheminés d'une zone infestée (villages) vers des zones non infestées, ainsi que les camions qui circulent sur les îles peuvent transporter à plusieurs kilomètres des propagules (reines ou ouvrières plus larves), prémices à l'installation de nouvelles colonies. Il semble urgent de traiter les zones de stockage des ordures ménagères, ainsi que de réduire au maximum les trajets des camions. Contenir, voire diminuer, la surface d'invasion de cette fourmi semble encore possible si elle est présente dans des lieux facilement accessibles et sur une surface restreinte. La contenir sur de petites zones dans les villages ou les ports semble être le but à atteindre.

Les traitements chimiques sont difficiles, chers et peu efficaces. Sur l'île des Embiez, plusieurs traitements chimiques annuels n'ont pas permis d'en venir à bout. Une méthode d'éradication par la voie chimique seule n'est donc ni durable, ni viable. Il existe cependant des moyens simples pour faire « reculer » la fourmi d'Argentine. En effet, nous avons constaté qu'elle était absente des pare-feux DFCl (Défense de la Forêt Contre les Incendies). Ces zones, qui ne sont tout simplement pas irriguées en saison sèche, semblent constituer un obstacle pour la fourmi d'Argentine. Diminuer, voire arrêter l'arrosage des plantes et des cultures fortes consommatrices d'eau semble être la solution la plus économique, viable et écologique. Afin d'éviter une nouvelle catastrophe écologique, une surveillance accrue de la myrmécofaune sur les îles satellites est souhaitable. Une inspection minutieuse de Bagaud est donc préconisée en 2015, à la fin des opérations de dératisation et de l'arrachage des *Carpobrotus* spp, afin de détecter précocement une possible implantation de propagules de fourmis d'Argentine.

Enfin, il est indispensable de sensibiliser au plus vite la population, les touristes et les personnes travaillant sur les programmes de recherche, ainsi que de mettre en place des études afin de comprendre les impacts de la présence de la fourmi d'Argentine sur les autres insectes (ex : Coléoptères), les araignées ou les reptiles.

Remerciements. Nous tenons à remercier vivement, tout le personnel du Parc national de Port-Cros pour l'accueil qui nous a été fait ainsi pour leur aide logistique. Merci particulièrement à Hervé Bergère, chef du secteur de Port-Cros. Merci à Frédéric Guter, Alice Ménager, Jean-Yves Meunier, Daniel Pavon et Coralie Santelli pour leur aide sur le terrain et /ou durant le tri des pièges. Un grand merci à Xavier Espadaler pour la détermination de *Lasius lasioides* et *Temnothorax leviceps*.

Références

- ABENSPERG-TRAUN M., STEVEN D., 1995. - The effects of pitfall traps diameter on ant species richness (Hymenoptera: Formicidae) and species composition of the catch in a semi-arid eucalypt woodland. *Australian Journal of Ecology*, 20: 282-287.
- AMORI G., GIPPOLITI S., HELGEN K.M., 2008. - Diversity, distribution, and conservation of endemic island rodents. *Quaternary International*, 182: 6-15.
- AVISE J.C., HUBBELL S.P., AYALA F.J., 2008. - In the light of evolution II: Biodiversity and extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 11453-11457.
- BERGLUND H., JÄRENO J., BENGTOSSON G., 2009. - Endemism predicts intrinsic vulnerability to nonindigenous species on islands. *The American Naturalist*, 174: 94-101.
- BERVILLE L., 2013. - Inventaire myrmécologique de l'île des Embiez. Imbe, France. 15 pp.
- BERVILLE L., BLIGHT O., RENUCCI M., HEFETZ A., PROVOST E., 2013. - A peaceful zone bordering two Argentine ant supercolonies. *Chemoeology*, 23 (4): 213-218.
- BERVILLE L., PONEL P., 2013. - Inventaire myrmécologique de la réserve intégrale de l'île de Bagaud avant un programme de restauration écologique (Parc national de Port-Cros). Imbe, France. 21 pp.
- BERVILLE L., RENUCCI M., PROVOST E., 2012. - Mise en place de protocoles de contrôle de la fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*) sur les îles de Port-Cros et Porquerolles (Var, France). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 26: 91-108.
- BLIGHT O., BERVILLE L., VOGEL V., *et al.*, 2012. - Variation in the level of aggression, chemical and genetic distance among three supercolonies of the Argentine ant in Europe. *Molecular Ecology*, 21: 4106-4121.
- BOURGEOIS K., VIDAL E., SUEHS C., MÉDAIL F., 2004. - Extreme invasional meltdown: multitrophic interactions catalyse Mediterranean island invasions. In: ARIANOUTSOU M., PAPANASTASIS V.P., *Proceedings of the 10th MEDECOS Conference*. Ecology, conservation and management of Mediterranean climate ecosystems. Millpress Science Publishers, Rotterdam, 1-5 pp.
- CAMPOS J.A., HERRERA M., BIURRUN I., LOIDI J., 2004. - The role of alien plants in the natural coastal vegetation in central-northern Spain. *Biodiversity and Conservation*, 13: 2275-2293.
- CARPINTERO S., REYES-LOPEZ J., DE REYNA L.A., 2004. - Impact of human dwellings on the distribution of the exotic Argentine ant: a case study in the Doñana National Park, Spain. *Biological Conservation*, 115: 279-289.
- CASEVITZ-WEULERSSE J., GALKOWSKI C., 2009. - Liste actualisée des Fourmis de France (Hymenoptera, Formicidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 114 (4) : 475-510.
- CEBALLOS G., BROWN J.H., 1995. - Global patterns of mammalian diversity, endemism and endangerment. *Conservation Biology*, 9: 559-568.
- CHOPARD L., 1921. - La fourmi d'Argentine, *Iridomyrmex humilis* var. *arrogans* dans le midi de la France. *Annales des Epiphyties*, 7: 237-265.
- COLE F.R., MEDEIROS A.C., LOOPE L.L., ZUEHLKE W.W., 1992. - Effects of the Argentine ant on arthropod fauna of Hawaiian high-elevation shrubland. *Ecology*, 73: 1313-1322.

- CRONK Q.C., 1997. - Islands: stability, diversity, conservation. *Biodiversity and Conservation*, 6: 477-493.
- DELLA SANTA E., 1995. - Les fourmis de Provence. *Faune de Provence*, CEEP. 16 : 5-38.
- DENSLOW J.S., 2001. The ecology of insular biotas. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 423-424.
- DRAKE D.R., MULDER C.P., TOWNS D.R., DAUGHERTY C.H., 2002. - The biology of insularity: an introduction. *Journal of Biogeography*, 29: 563-569.
- ESPADALER X., GOMEZ C., 2003. - The Argentine ant, *Linepithema humile*, in the Iberian Peninsula. *Sociobiology*, 42: 187-192.
- GIRAUD T., PEDERSEN J.S., KELLER L., 2002. - Evolution of supercolonies : The Argentine ants of southern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 6075-6079.
- GOMEZ C., OLIVERAS J., 2003. - Can the Argentine ant (*Linepithema humile* Mayr) replace native ants in myrmecochory? *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 24: 47-53.
- GREENSLADE P.J.M., 1973. - Sampling ants with pitfall traps: digging-in effect. *Insectes Sociaux*, 20: 343-353.
- HOLWAY D.A., 1998. - Factors governing rate of invasion: a natural experiment using Argentine ants. *Oecologia*, 115: 206-212.
- HOLWAY D.A., SUAREZ A.V., CASE T.J., 2002. - Role of abiotic factors in governing susceptibility to invasion: a test with argentine ants. *Ecology*, 83: 1610-1619.
- HONNEGER R.E., 1981. - List of amphibians and reptiles either known or thought to have become extinct since 1600. *Biological Conservation*, 19: 141-158.
- KING W.B., 1985. - Island birds: will the future repeat the past? In: PJ Moors., *Conservation of Island Birds*. ICPB technical publication Cambridge, 3-17.
- LOWE S., BROWNE M., BOUDJELAS S., DE POORTER M., 2007. - 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. 12pp.
- ORGEAS J., 2003. - Inventaire de l'entomofaune des îles satellites (Bagaud, Gabinière et Rascas) du Parc national de Port-Cros. Parc national de Port-Cros. 12 pp.
- ORGEAS J., PONEL P., FADDA S., MATOCQ A., TURPAUD A., 2007 - Conséquences écologiques de l'envahissement des griffes de sorcière (*Carpobrotus* ssp.) sur les communautés d'insectes d'un îlot du Parc national de Port Cros (Var). *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park*, 22: 233-257.
- ORGEAS J., VIDAL E., PONEL P., 2003., - Colonial seabirds change beetle assemblages on a Mediterranean island. *Ecoscience*, 10: 38-44.
- PASCAL M., CHAPUIS J., 2000. - Éradications des mammifères introduits en milieu insulaires : questions préalables et mise en application. *Rev. Ecol. (Terre et vie)*, suppl, pp. 85-104.
- PASSETTI A., ABOUCAYA A., BUISSON E., GAUTHIER, J., MEDAIL, F., PASCAL, M., PONEL, P., VIDAL, E (2012) Restauration écologique de la Réserve intégrale de l'île de Bagaud (Var) et « état zéro » des suivis scientifiques : synthèse méthodologique. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 26: 149-171.
- PONEL P., ANDRIEU-PONEL V., 1998. - Eléments pour un inventaire des arthropodes des îles satellites du Parc national de Port-Cros : Bagaud, Gabinière et Rascas. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 17: 81-90.

- PONEL P., PASSETTI A., BERVILLE L., 2012. - *Cis quadridentulus* Perris, 1874 sur l'île de Bagaud, archipel des Iles d'Hyères, Parc national de Port-Cros (Coleoptera Tenebrionoidea Ciidae) (Var, France). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 26: 275-277.
- QUEZEL P., BARBERO M., LOISEL R., 1990. - Recent plant invasions in the circum-Mediterranean region. In: F. Di Castri, A. J. Hansen, M. Debussche. *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. Kluwer Academic Publishers, pp 51-60.
- RUFFINO L., KREBS E., PASSETTI A., ABOUCAYA A., AFFRE L., FOURCY D., LORVELEC O., BARCELO A., BERVILLE L., BIGEARD N., BROUSSET L., DE MÉRINGO H., GILLET P., LE QUILLIEC P., LIMOUZIN Y., MÉDAIL F., MEUNIER J.Y., PASCAL Ma., PASCAL Me., PONEL P., RIFFLET F., SANTELLI C., BUISSON E., VIDAL E., 2014. - Eradications as scientific experiments: progress in simultaneous eradication of two major invasive taxa from a Mediterranean island. *Pest Management Science*. DOI: 10.1002/ps.3786.
- SAX D.F., GAINES S.D., 2008. - Species invasions and extinction: the future of native biodiversity on islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 11490-11497.
- SIMBERLOFF D., VON HOLLE B., 1999. - Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? *Biological Invasions* 1 (1): 21-32.
- SUAREZ A.V., BOLGER D.T., CASE T.J., 1998. - Effects of fragmentation and invasion on native ant communities in coastal southern California. *Ecology*, 79: 2041-2056.
- SUEHS C., MÉDAIL F., AFFRE L., 2003. - Invasion by South African *Carpobrotus* (Aizoaceae) taxa in the Mediterranean Basin: the effects of islands on plant reproductive systems, In *Plant invasions: ecological threats and management solutions*, Child, L. E., Brock, J. H., Brundu, G. Prach, pp 247-263.
- VIDAL E., MÉDAIL F., TATONI T., 1998. - Is the yellow-legged gull a superabundant bird species in the Mediterranean? Impact on fauna and flora, conservation measures and research priorities 1998. *Biodiversity and Conservation*, 7 (8): 1013-1026.
- VILÀ M., D'ANTONIO C., 1998. - Fruit choice and seed dispersal of invasive vs. non invasive *Carpobrotus* (Aizoaceae) in coastal California. *Ecology*, 79: 1053-1060.