

Restauration écologique de la Réserve Intégrale de l'île de Bagaud et "état zéro" des suivis scientifiques : synthèse méthodologique

Passetti Aurélie (1), Aboucaya Annie (2), Buisson Elise (3), Gauthier Joël (4), Médail Frédéric (1), Pascal Michel (5), Ponel Philippe (1), Vidal Eric (1)

1) Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie (IMEP, IRD, UMR-CNRS 6116), Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III. Europôle de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix en Provence cedex 04. aurelie.passetti@gmail.com, eric.vidal@univ-cezanne.fr, philippe.ponel@univ-cezanne.fr, f.medail@univ-cezanne.fr

2) Parc national de Port-Cros, Allée du Castel Sainte Claire BP 70220 - 83406 Hyères cedex. annie.aboucaya@portcros-parcnational.fr

3) Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie (IMEP, UMR-CNRS 6116), IUT d'Avignon, Département Génie Biologique Site Agroparc BP 1207 84911 Avignon cedex 9-France. elise.buisson@univ-avignon.fr

4) Association Reptil' Var, 171 chemin de Provence, 83100 Toulon reptilvar@hotmail.fr

5) INRA - Station SCRIBE - Campus de Beaulieu - Bâtiment 16, 35000 Rennes Michel.Pascal@rennes.inra.fr

RESUME : Restauration écologique de la Réserve Intégrale de l'île de Bagaud et "état zéro" des suivis scientifiques: synthèse méthodologique

La petite île de Bagaud dans l'archipel des Iles d'Hyères (Var, France) est une Réserve Intégrale dépendant du Parc national de Port-Cros. Elle est soumise à deux perturbations majeures d'origine anthropique, l'invasion de la "griffe de sorcière" (*Carpobrotus* spp.) et du rat noir (*Rattus rattus*), deux espèces exotiques connues pour leurs effets particulièrement néfastes sur la flore et la faune des écosystèmes méditerranéens. Dans un but de conservation de la biodiversité insulaire, et pour permettre à l'île de Bagaud de jouer pleinement son rôle de sanctuaire biologique, le Parc national de Port-Cros a lancé un programme décennal de restauration écologique qui implique l'éradication de ces espèces invasives. Outre les actions d'éradication, le programme prévoit l'établissement préalable d'un état zéro "faune-flore", puis le suivi post-éradication d'un panel de taxons indigènes sur un pas de temps décennal selon des protocoles standardisés, légers et facilement reproductibles. Les actions d'éradications bénéficient de méthodologies précises mises au point par des études de faisabilité, des expérimentations préalables de restauration in situ, et des conseils d'experts. La réalisation de ce programme est possible grâce à l'implication forte du Parc national de Port-Cros, de l'Institut Méditerranéen d'Ecologie et Paléoécologie et de nombreux partenaires financiers (Communauté Européenne, Conservatoire du littoral, Fondation Total). Un guide méthodologique scientifique et technique relatif à la mise en œuvre d'actions de restauration

écologique au sein d'écosystèmes méditerranéens devrait être réalisé à l'issue de ce projet de longue haleine.

Mots clefs : Restauration écologique, éradication, espèces invasives, *Carpobrotus* spp., *Rattus rattus*, protocoles scientifiques, Archipel des Iles d'Hyères, Parc national de Port-Cros

ABSTRACT: Ecological restoration of Bagaud island and "zero-state" of scientific monitorings: a methodological synthesis

The small Bagaud island belongs to the Hyeres Island Archipelago (Var, France), and is an Integral Biological Reserve included in the Port-Cros National Park. This island is submitted to two major perturbations of human origin, the spread of both hottentot fig (*Carpobrotus* spp.) and black rat (*Rattus rattus*), two aliens especially harmful for the flora and fauna of mediterranean ecosystems. With the aim of conserving the biodiversity and to allow the Bagaud island to fulfill its role of biological sanctuary, the Port-Cros national Park began a ten-year ecological restoration program involving the eradication of these species. Beyond the eradication project, the program includes a flora-fauna "zero-state", then the monitoring of a panel of native taxa on a ten-year timescale according to standardized, light and easily reproducible protocols. The eradication protocols have been established on the basis of a precise methodology devised from feasibility studies, preliminary experiments of restoration and expert advices. The achievement of this program is possible thanks to the strong support of the Port-Cros National Park, the Mediterranean Institute of Ecology and Paleoecology and many financial partners (European Community, Conservatoire du Littoral (French Coastal Conservatory), Total Foundation). A scientific and technical methodological guide of ecological restoration actions within mediterranean ecosystems should be carried out to conclude this long-term project.

Keywords: Ecological restoration, eradication, invasive species, *Carpobrotus* spp., *Rattus rattus*, scientific protocols, Hyères Island Archipelago, Port-Cros national Park.

INTRODUCTION

La petite île de Bagaud (58 ha) fait partie de l'archipel des Iles d'Hyères (département du Var, France). Il s'agit d'une réserve intégrale propriété du Conservatoire du Littoral, gérée par le Parc national de Port-Cros. Cette île est couverte principalement d'un épais maquis, et d'une ceinture de végétation halorésistante limitée au littoral rocheux. Elle est soumise à deux importantes perturbations d'origine anthropique: (1) le développement spectaculaire de *Carpobrotus* spp. ("griffe de sorcière"), probablement introduit par l'Homme au XIX^e siècle pour stabiliser les glacis autour des constructions militaires (batteries), (2) la pullulation du rat noir *Rattus rattus* introduit involontairement depuis des navires. Comme cela a déjà été observé ailleurs dans le Bassin méditerranéen et au-delà, ces deux facteurs affectent fortement la faune et la flore. Un programme décennal de restauration écologique dont l'objectif est d'éliminer ces deux perturbations a donc été initié par le Parc national de Port-Cros en février 2010, sous la responsabilité scientifique de l'IMEP (Institut Méditerranéen d'Ecologie et de

Paléoécologie). Ce programme pionnier vise principalement à conserver la riche flore et faune de ce site sanctuaire, mais aussi à acquérir des données originales, fondamentales et appliquées, sur un thème d'actualité, la restauration écologique des systèmes insulaires méditerranéens.

Le programme bénéficie du soutien financier de différents bailleurs de fonds publics et privés. Ainsi, l'Europe, grâce à son outil financier « FEDER » (Fonds Européens de Développement Régional) participe au financement de divers volets du programme et en particulier aux actions concrètes d'éradication. Le Conservatoire du Littoral, propriétaire du site, finance également une partie importante des éradications. La Fondation Total finance la coordination scientifique et technique du programme et sa valorisation. Enfin, le Parc national de Port-Cros finance une partie des suivis scientifiques et les études complémentaires de ce programme. Il fournit également, en synergie avec les membres du Conseil Scientifique et de l'IMEP, un investissement important en matière d'expertises scientifiques et de moyens humains.

L'invasion du rat noir et l'expansion de la griffe de sorcière impactent fortement les îles siliceuses du littoral varois. Les effets néfastes de la prolifération de ces taxons sur les écosystèmes insulaires méditerranéens ont été mis en évidence tant à l'échelle nationale qu'internationale. Le rat noir, introduit depuis plus de deux millénaires sur les îles méditerranéennes est à l'origine de profondes modifications de l'entomofaune et de la flore (Palmer & Pons, 1996, 2001), mais aussi de l'avifaune (Penloup *et al.*, 1997), et tout particulièrement du cortège d'espèces d'oiseaux marins coloniaux (Martin *et al.*, 2000). Quant à l'expansion de la griffe de sorcière, elle menace fortement la structure, l'organisation et la dynamique des fragiles communautés littorales et le maintien de plusieurs espèces végétales et animales endémiques insulaires sur le pourtour méditerranéen (ex. Suehs *et al.*, 2001, 2003, Hulme 2004, Vilà *et al.*, 2006, Orgeas *et al.*, 2007). En dépit de ce constat, très peu d'opérations d'éradication combinant « griffes de sorcière + rat noir » ont été réalisées dans ce domaine biogéographique. En outre, la majorité de ces opérations n'ont pas fait l'objet d'un cadrage scientifique suffisant. Par conséquent, il n'existe pas à l'heure actuelle d'expérience permettant de concevoir des plans de gestion adaptés qui puissent être transposés dans le contexte de l'archipel des Iles d'Hyères. C'est en ce sens que le programme de restauration écologique de la RI de Bagaud est particulièrement original, car pour la première fois un suivi scientifique rigoureux concernant un panel de taxons (flore, arthropodes épigés et insectes volants, reptiles, oiseaux nicheurs terrestres, oiseaux nicheurs marins) sur un pas de temps décennal a été mis en place, incluant un "état zéro" préalable aux opérations d'éradications proprement dites. Le programme se déroule selon trois étapes principales (fig.1) : (i) l'étude T-zéro et les expérimentations de pré-restauration (2010-2011), (ii) les éradications (2011 à 2012), (iii) le suivi scientifique des taxons indigènes et la biosécurité post-éradication (2010-2019).

L'objectif de cet article est de présenter les différentes méthodes mise en œuvre dans ce programme de restauration écologique, dans le but d'assurer à la fois le suivi scientifique décennal des taxons indigènes et le succès des opérations d'éradication des espèces invasives.

LES ÉTUDES "T-ZÉRO" ET LES SUIVIS SCIENTIFIQUES

La première étape du programme a débuté en février 2010 avec la réalisation de l'étude T-zéro, encore appelé "état initial". Ce travail devrait constituer la première étape dans la mise en œuvre de toute action de gestion d'un espace naturel. Il a pour objectif de justifier une action de gestion sur un écosystème en matière de préservation de la biodiversité, et de contrôler si les objectifs qui l'ont motivé ont été atteints ou non. Le principe est d'acquies avant l'éradication (T-zéro) des informations qualitatives (ex. inventaires de faune et de flore) et quantitatives (effectifs, indices d'abondance, répartition spatiale, succès de reproduction, etc.) relatives à la faune et à la flore autochtones (Pascal & Chapuis, 2000) grâce à la mise en place de différents protocoles standardisés destinés à suivre les taxons indigènes supposés interagir avec les espèces invasives. C'est la comparaison entre les données biologiques acquises avant l'éradication et celles acquises après sa mise en œuvre qui va permettre d'évaluer l'effet des opérations de restauration.

Plusieurs aspects sont à prendre en compte dans le choix des protocoles de l'étude T-zéro : (1) les protocoles doivent être adaptés au milieu : à titre d'exemple, sur l'île de Bagaud, la densité de végétation ne permet pas de prospecter l'ensemble de sa surface, il est donc impossible de procéder à un échantillonnage aléatoire, c'est-à-dire que les zones d'études sont choisies en fonction de leur accessibilité et de leur intérêt biologique, (2) les protocoles doivent être légers et reproductibles pour pérenniser le suivi, (3) l'étude T-zéro doit être répétée sur au moins deux années consécutives pour s'affranchir des contrastes saisonniers interannuels sous climat méditerranéen, en particulier de l'irrégularité des précipitations et obtenir ainsi une solide description de l'état initial de l'écosystème. L'étude T-zéro sur l'île de Bagaud a concerné plusieurs groupes taxonomiques : (i) la flore, (ii) les arthropodes épigés et les insectes volants, (iii) les reptiles, (iv) les oiseaux terrestres nicheurs, (v) les oiseaux marins nicheurs.

Les données météorologiques de l'année (températures et précipitations au moins) sont essentielles pour pouvoir interpréter les données de suivi des taxons indigènes. En effet, la température et les précipitations influent sur la disponibilité des ressources et la dynamique des populations animales. L'année climatique 2010 a mis une nouvelle fois en évidence de fortes variations interannuelles saisonnières. En 2010, elles ont été bien plus importantes en novembre (148,9mm), janvier (131mm), février (159,5mm) et juin (136,9 mm) par comparaison avec les moyennes des mois de novembre (90,78mm), janvier (77,18mm), février (35mm) et juin (24,84mm) calculées sur la période 2005-2009. Les températures moyennes sont globalement identiques, seule une différence existe pour le mois de mai 2010 (15,6°C) où la température moyenne a été plus faible en comparaison avec la moyenne du mois de mai (18,4 °C) calculées sur la période 2005-2009 (Passetti, 2010). Ces différences pourraient avoir une influence sur la date d'émergence des espèces et leur abondance. Un second point « zéro » a donc été réalisé en 2011, dans l'espoir d'obtenir un état zéro plus représentatif des conditions climatiques moyennes.

Flore

L'étude T-zéro de la flore a d'abord consisté à installer un réseau de placettes permanentes. Deux stratégies d'échantillonnage de la végétation ont été mises en œuvre. Au sein des sept grands ensembles de végétation de l'île ont été positionnées des placettes circulaires d'une superficie de 100m² où un relevé mésologique (recouvrement des blocs, rochers, terre nue, etc.) et floristique a été effectué (espèces et recouvrement). Dans les habitats à fort enjeu de restauration, notamment les zones envahies par *Carpobrotus*, jusqu'à 3 échelles de placettes emboîtées (100m², 16m² et 1m²) ont été installées afin d'obtenir des données précises en termes de composition et d'abondance des espèces. Toutes les placettes ont été matérialisées par des piquets métalliques, et géolocalisées avec un GPS de précision centimétrique. Cette stratégie de placettes emboîtées permet de disposer d'un protocole adapté à l'évolution dynamique de la végétation et de suivre finement les changements dans la composition du couvert végétal.

Les déplacements destinés à la mise en place de ce suivi ont été également mis à profit pour inventorier toutes les espèces végétales contactées ainsi que pour géolocaliser avec une précision centimétrique les stations d'espèces patrimoniales.

La deuxième action engagée dans le cadre de l'étude "T-zéro flore" a concerné la mise en place d'un constat photographique dans les zones à fort enjeu de restauration, d'après la méthode de l'observatoire national du paysage : il s'agit d'effectuer des séries de photographies depuis le même emplacement, avec les mêmes conditions de cadrage et de lumière. En définissant un pas de temps d'acquisition de prises de vues pour l'étude envisagée, il est possible d'obtenir des éléments visuels permettant une lecture précise et dynamique des changements dans le paysage. Le constat répété dans le temps est un élément d'analyse et de comparaison qui permet, en outre, de disposer d'outils précieux sur le plan de la communication.

Enfin, une cartographie de la végétation est actuellement en cours de réalisation. Ce travail permet d'approfondir les connaissances sur la répartition spatiale des formations végétales et d'appréhender leur dynamique dans la perspective d'une nouvelle couverture cartographique ultérieure, qui pourrait être effectuée dix ans plus tard par exemple. Ce travail est réalisé grâce à deux supports fournis par l'IGN : la photographie aérienne classique et la photographie infrarouge. L'analyse se déroule en 4 étapes principales : (1) création d'un maillage fin d'une résolution de 10m sur les différents fonds cartographiques, (2) réalisation d'une lecture préliminaire des mailles qui consiste (après avoir fixé le seuil de zoom de lecture) à attribuer à chaque maille identifiable un code représenté par le type d'habitat qu'elle contient, (3) contrôle d'un échantillon de mailles directement sur le site afin d'évaluer l'exactitude de la première lecture sur fonds cartographiques, (4) exécution de relevés de terrain complémentaires pour délimiter, à l'aide d'un GPS de précision centimétrique, les formations végétales non discernables sur les fonds cartographiques, mais qu'il est important de caractériser en raison de leur intérêt biologique (formations à *Lavatera arborea*, pelouses sableuses à *Tuberaria guttata*, jonçaises à *Juncus acutus*).

Entomofaune

Concernant l'étude T-zéro des arthropodes, deux dispositifs de suivi ont été mis en place. Le premier est destiné à échantillonner les arthropodes épigés mobiles au moyen de pots cylindriques enterrés au ras du sol, plus connus sous le nom de pièges « Barber ». Il s'agit de la méthode la plus fréquemment utilisée dans un tel contexte (Spence & Niemelä, 1994). Le protocole a consisté à installer des pièges « Barber » non attractifs à intervalle fixe de 5 m, le long d'une ligne droite (transect) de 45 m (soit dix pièges par transect) dans chacun des grands ensembles de végétation. Les pots de 10 cm de hauteur et de 5 cm de diamètre ont été remplis à moitié d'éthylène-glycol (un liquide conservateur), ce qui a permis de les laisser en place pendant plusieurs semaines sans que les arthropodes se décomposent. Ces transects ont été matérialisés par des piquets métalliques, et géolocalisés au GPS de précision centimétrique de manière à ce que le protocole puisse être exactement reproductible au cours des années à venir, même par d'autres opérateurs.

Le second dispositif est représenté par cinq pièges à vitres non attractifs (modèle "Polytrap"), disposés sur des arbres en milieu dégagé. Ce système standardisé permet d'échantillonner les insectes volants par simple interception. Il s'agit de deux plaques transparentes disposées en croix, surmontant un entonnoir et un bocal récepteur contenant de l'éthylène-glycol. Les insectes volants heurtent les plaques transparentes, puis tombent dans le bocal récepteur. Ces pièges ont été également géolocalisés pour pouvoir être replacés au même point dans la perspective d'un suivi de longue durée. L'avantage de ces deux systèmes de piégeage, outre leur simplicité d'utilisation et leur faible coût, est qu'ils permettent d'échantillonner un nombre important de taxons et de caractériser également leur abondance. Cette étude T-zéro est donc aussi l'occasion de compléter l'inventaire de l'entomofaune de Bagaud, qui demeure encore fort mal connu à l'heure actuelle.

Reptiles

L'étude T-zéro "reptiles" a conduit à mettre en œuvre 3 méthodes différentes, pour caractériser au mieux le statut des différentes espèces au sein des différents milieux (ouverts à semi-ouverts). En effet, le travail a été rendu particulièrement difficile par la densité du maquis, rendant une bonne partie de l'île inaccessible aux observateurs. La zone d'étude échantillonnée se limite à la partie sud de l'île car il s'agit du secteur géographique le plus facile d'accès et concentrant la majeure partie des habitats potentiels de ce taxon. Les différentes méthodes employées sont (Gauthier, 2010) :

(1) échantillonnage sur itinéraires-échantillons au sein des milieux ouverts à semi ouverts (fourrés halo-ornithocoprophiles, lisière de maquis) (c'est à dire dénombrement par un observateur de tous les individus le long d'un itinéraire de longueur et de largeur prédéfinies selon un temps déterminé).

(2) échantillonnage sur quadrats de 1125 m² au sein des milieux ouverts (c'est à dire dénombrement par un observateur de tous les individus sur une surface prédéfinie et dans un temps fixe).

(3) échantillonnage sur sites-témoins, spécifique au recensement des phyllodactyles d'Europe qui se cantonnent aux milieux rocheux et présentent des mœurs nocturnes (c'est à dire dénombrement par un observateur de tous les individus dans un temps et sur un site déterminé).

(4) échantillonnage sous « plaques abris ». Ce dispositif consiste à créer des lieux de refuge artificiels pour les colubridés notamment. Cette méthode d'échantillonnage est complémentaire aux méthodes de recensement classique car elle se révèle particulièrement adaptée pour détecter la présence d'espèces discrètes.

Avifaune nicheuse

Concernant l'avifaune, les protocoles de suivi visent à caractériser les populations d'oiseaux nicheurs terrestres et les populations d'oiseaux nicheurs marins.

Oiseaux nicheurs terrestres

La méthode des indices ponctuels d'abondance a été utilisée pour le recensement des oiseaux nicheurs terrestres. Elle consiste à échantillonner depuis un point fixe, dans un temps déterminé, tous les contacts qu'ils soient visuels ou auditifs. Gilles Cheylan ayant déjà effectué un recensement en 2007 (Cheylan, 2007), la réutilisation de ces points d'écoute permet de disposer d'un point zéro supplémentaire.

Oiseaux nicheurs marins

Différentes méthodes ont été employées pour le recensement des oiseaux nicheurs marins. Pour les goélands leucophées, deux techniques complémentaires ont été mises en œuvre (DREAM, 2010) : (1) le dénombrement direct des nids au sein des colonies accessibles, (2) le dénombrement à distance à l'aide de jumelles depuis une embarcation pour les colonies inaccessibles. Pour cette seconde technique, tous les oiseaux couveurs visibles, les individus isolés considérés comme partenaires proches d'un couveur non visible dissimulé derrière la végétation ou un bloc rocheux, ainsi que les individus stationnés par paire ont été comptabilisés. Pour les colonies relictuelles du puffin cendré et du puffin yelkouan présentes sur Bagaud, le recensement a consisté à prospecter les colonies connues (Rabouam, 1999 ; Bigeard et al., 2006) à la recherche d'indices de visite et d'occupation (fientes, odeurs, plumes, traces de pattes, observation directe d'adultes, d'œufs, de poussins).

Les moyens mis en œuvre

Les moyens mis en œuvre pour l'étude « T-zéro », tous groupes confondus, se montent à un total annuel de 45,5 jours de terrain. Dans le détail, 13,5 jours ont été attribués au suivi de la flore, 16 pour l'entomofaune, 14 pour les reptiles (dont 14 prospections de jour et 5 de nuit) et 4 pour l'avifaune. Dans ce laps de temps, un total de 29 placettes a été installé dans les grands ensembles de végétation, 26 dans les milieux à fort enjeu de restauration entre le mois d'avril et de mai. Pour le constat photographique, 4 points photos fixes ont été installés en septembre, dont deux au sein du matorral, un au sein de la tache principale à *Carpobrotus affine acinaciformis* ($\approx 1500\text{m}^2$) située près de la batterie sud-ouest de l'île et un au sein de la tache

à *Carpobrotus edulis* ($\approx 2000\text{m}^2$) située près de l'embarcadère. Pour l'entomofaune terrestre, 7 transects (1 par habitat) de 10 pièges enterrés de type « Barber » et 5 pièges à vitres ont été mis en place. Ces deux dispositifs ont été activés 1 fois au printemps, 2 fois en été et 1 fois à l'automne. Concernant l'avifaune, les 10 points d'écoute de Cheylan (2007) ont été conservés et répétés à 2 reprises au cours du mois de mai et les 4 colonies connues de puffin yelkouan et de puffin cendré ont été prospectées activement durant 2 jours au mois de mai. Pour les reptiles, ont été mis en place 3 itinéraires-échantillons, 2 quadrats, 5 sites témoins spécifiques au recensement du phyllodactyle d'Europe et 23 abris artificiels qui ont été visités entre 5 et 7 fois entre les mois d'avril et d'octobre (Passeti, 2010).

Les moyens mis en place pour le suivi peuvent paraître importants mais il est nécessaire de prévoir dès le départ un état initial le plus complet possible afin de ne pas avoir une déficience de données sur certains taxons qui pourrait être préjudiciable pour l'interprétation des résultats. Néanmoins, il sera possible dans l'avenir de réduire si nécessaire l'effort d'échantillonnage ou d'adapter la périodicité des suivis aux moyens financiers et humains disponibles. L'idéal serait évidemment un suivi annuel au cours des sept années restantes du programme. Le suivi pourrait cependant être plus espacé, néanmoins, il serait judicieux de maintenir un suivi annuel les 3 premières années après l'éradication car des modifications importantes du biotope sont attendues. En effet, l'éradication des griffes de sorcière va laisser un sol partiellement voire totalement dénudé, particulièrement sensible aux facteurs climatiques (et surtout aux fortes précipitations, fréquentes en région méditerranéennes). En outre, au cours des deux premières années suivant l'éradication, la recolonisation végétale aura tendance à impliquer surtout des thérophytes et des géophytes comme cela a été observé par Manca et Brundu (2004) et Andreu et al. (2010).

Les trois premières années de collecte de données sont donc généralement nécessaires pour percevoir la dynamique des premières successions végétales (notamment l'installation des espèces pérennes). Les communautés entomologiques sont quant à elles fortement liées à la nature et à la structure des formations végétales, des changements importants pourraient donc intervenir également les 3 premières années après l'éradication en relation avec les changements de la végétation. En outre, l'élimination du rat noir, prédateur important de la faune d'arthropodes terrestres, pourrait avoir des répercussions importantes et rapides sur cette communauté. De plus, la création de 20 km de layons va certainement avoir un impact sur l'abondance et la diversité de différents taxons animaux et végétaux de l'île, en raison de l'apparition de ces milieux ouverts linéaires et de lisières. Ces layons devant être maintenus durant deux ans pour assurer la biosécurité (contrôle régulier de la présence éventuelle de rats après la fin de la campagne d'éradication), il est intéressant de maintenir un suivi sur les 3 premières années de manière à évaluer l'effet de ces layons sur l'écosystème. Les conséquences de la dératisation seront de ce fait difficilement dissociable de « l'effet layon » pendant les premières années, il serait donc nécessaire de réaliser ultérieurement un suivi intermédiaire et un suivi en fin de programme, après fermeture des layons.

L'ÉRADICATION DE *CARPOBROTUS*

Des expériences d'éradication de *Carpobrotus* sur des placettes d'1m² (Chenot, 2010 ; Dubois & Malecki, 2011) ont été réalisées à partir de 2010. Celles-ci ont eu pour objectif de déterminer le(s) mode(s) de traitement(s) les plus adaptés à l'éradication de ce taxon. La position des taches de *Carpobrotus*, souvent en situation de forte pente voire sur des falaises, notamment, soulève de nombreuses interrogations et inquiétudes quant à la résilience de ces milieux. En effet, la pratique de l'arrachage des pieds de griffes de sorcières risque de provoquer une érosion mécanique importante du sol superficiel, entraînant la disparition de la banque de graines qu'il contient. Ce phénomène pourrait avoir des conséquences sur la trajectoire ou la dynamique de restauration des communautés végétales indigènes.

L'étude conduite a donc eu de multiples objectifs, tel que : (1) l'évaluation de l'effet de différents traitements sur les paramètres physicochimiques du sol, la banque de graines, la diversité floristique, la diversité entomologique (microfaune de la litière) et la diversité microbienne, (2) l'évaluation de l'effet des différents traitements sur les processus érosifs et la recolonisation des espèces végétales dans différentes situations d'invasion, (3) La quantification de l'érosion en fonction des différentes situations topographiques et ses effets sur la recolonisation végétale, (4) l'estimation des effets de la pratique de revégétalisation sur la cicatrisation du milieu comparée à la réponse spontanée de recolonisation des communautés végétales. Trois modalités de traitement ont été principalement testées sur des placettes d'1m² : (i) l'arrachage complet de *Carpobrotus* (rameaux lignifiés et litière), (ii) l'arrachage de *Carpobrotus* sans retrait de la litière et (iii) le semis d'espèces indigènes après arrachage complet de *Carpobrotus*.

Une part des résultats obtenus en 2010 dans le cadre des expérimentations d'éradication de *Carpobrotus* spp. a mis en évidence une dominance importante des graines de ce taxon (78%) au sein de la litière en comparaison des graines d'espèces indigènes (22%) (*Frankenia* sp., *Atriplex prostrata*, *Sonchus asper*, *Lotus cytisoides*). Cette proportion s'inverse pour les graines contenues dans le sol où l'on constate une augmentation des graines d'espèces indigènes (59%) en comparaison de celles de *Carpobrotus* (41%) (Chenot, 2010). Ces résultats incitent à privilégier un traitement complet des *Carpobrotus* sur l'île de Bagaud c'est à dire l'arrachage des rameaux lignifiés et de la litière pour éviter des germinations massives post éradication de ce taxon et pour favoriser l'établissement d'espèces indigènes. En outre, lorsque la litière est conservée, un très faible taux de germination est observé, que ce soit pour les espèces indigènes ou pour le taxon invasif (Dubois & Malecki, 2011). A l'inverse, l'arrachage intégral avec ou sans semis augmente le taux de germinations et particulièrement celui de *Carpobrotus*. Les semis ne semblent donc pas limiter la recolonisation de ce taxon sur l'île de Bagaud. L'étude de l'érosion des sols, à, quant à elle montré que les opérations d'éradication engendraient une érosion importante particulièrement pendant les 5 premiers mois. Celle-ci est sensiblement plus importante après élimination de la litière avec ou sans le semis d'espèces indigènes (Dubois & Malecki, 2011). Les résultats montrent également une très nette diminution de la quantité de sols érodée lorsqu'une bande de 50 cm de large de

Carpobrotus spp. est maintenue en contrebas de chaque placette expérimentale. Il peut donc être envisagé de conserver durant quelques mois après l'éradication, une bande de *Carpobrotus* sous les parcelles présentant une forte pente puis de l'éliminer, suite à l'installation du cortège d'espèces végétales stabilisatrices (Dubois & Malecki, 2011). La pose d'un géotextile pourrait également contribuer à limiter l'érosion. Un autre résultat important est la mise en évidence d'une quantité substantielle de graines de *Carpobrotus* dans la végétation autochtone en périphérie des taches. Ceci suggère que la végétation autochtone actuelle présente une compétitivité permettant de contrecarrer l'expansion des *Carpobrotus* spp. sur l'île de Bagaud, mais cette hypothèse reste valable tant que n'interviennent pas de perturbations qui pourraient favoriser la recolonisation de l'espèce invasive *Carpobrotus* spp. (Ex. incendie, régression des formations végétales autochtones, aléas climatiques, etc.) (Chenot, 2010). Ce résultat suggère que le contrôle de ré-invasion devra être minutieux et ne pas se limiter strictement à la zone éradiquée.

L'étude de faisabilité (Passetti, 2009) et les expérimentations d'éradications (Chenot 2010, Dubois & Malecki, 2011) ont permis de définir le protocole d'éradication le plus apte à faciliter la restauration écologique du milieu. Ainsi, la suppression d'une espèce exotique végétale doit être effectuée en dehors de sa période de floraison afin d'éviter la formation d'une banque de graines supplémentaire (Panetta & Timmins, 2004). Elle doit également intervenir en dehors de la période d'activité biologique des espèces indigènes et notamment des espèces végétales patrimoniales. La période optimum d'éradication de la griffe de sorcière sur l'île de Bagaud se situe entre octobre et février. L'opération d'éradication est prévue en deux phases réparties sur deux années consécutives : la phase n°1 concerne l'éradication de la griffe de sorcière en situation accessible (2011) couvrant une superficie estimée de 11000 m², la phase n°2 concerne l'éradication de la griffe de sorcière en situation de falaise (2012) couvrant une superficie estimée de 5600 m² (fig.2) (Passetti, 2009). Ces deux opérations nécessitent l'intervention d'entreprises spécialisées. La méthode choisie pour l'éradication du taxon *Carpobrotus* sur l'île de Bagaud est l'arrachage manuel. Le type de traitement à appliquer est intégral c'est-à-dire qu'il implique d'extraire les rameaux lignifiés et la litière afin de faciliter la recolonisation des communautés végétale indigènes. L'étude des phénomènes d'érosion (Dubois & Malecki, 2011) a montré qu'il est nécessaire de prévoir la pose d'un géotextile biodégradable pour les situations de fortes pentes. L'importante biomasse extraite de Bagaud devra être conditionnée sur place en raison de son volume probable (estimé à près de 40 tonnes), de la difficulté d'accès du site et pour éviter un piétinement trop important. La confection d'andains à partir des *Carpobrotus* arrachés pourrait créer un rempart contre l'érosion dans les zones de faible pente. Sur le plan stratégique, les opérations d'arrachage débiteront sur la côte est de l'île car celle-ci présente une forte proportion de taches satellites (taches isolées ≤ 20 m²). Cette priorisation permettra d'éviter une dissémination supplémentaire de *Carpobrotus* à partir de ces taches (Passetti, 2009).

L'ÉRADICATION DU RAT NOIR

Une opération d'éradication doit être considérée autant comme une opération de recherche que comme une opération de gestion. Elle doit par conséquent bénéficier d'un cadrage scientifique important et d'une implication forte et pérenne du gestionnaire. Le projet d'éradication du rat noir sur l'île de Bagaud a été encadré par l'IMEP (Aurélie Passetti, Eric Vidal) et par l'équipe « Biologie des invasions » de l'INRA (Michel Pascal, Olivier Lorvelec, Patricia Lequilliec) ainsi que par le Parc national de Port-Cros.

Le choix de la période de mise en œuvre d'une éradication est crucial pour assurer sa réussite. Il est nécessaire d'agir lorsque la disponibilité des ressources alimentaires est fortement diminuée, rendant la population plus vulnérable face à une opération d'éradication. Dans le domaine méditerranéen, la période retenue pour l'éradication du rat noir se situe donc généralement en fin de période estivale. Il est également important d'intervenir pendant la période de moindre dérangement de la faune et de la flore indigènes, de ce point de vue les mois d'août à septembre sont également les plus favorables en région méditerranéenne (Pascal, 2006). La méthode d'éradication à employer dépend des caractéristiques biologiques et physiques du site : ainsi, le piégeage pratiqué seul est efficace seulement lorsqu'il s'agit de populations d'espèces de petite ou de moyenne taille, localisées dans des espaces finis, accessibles et de superficie réduite. En outre, le piégeage peut créer une sélection par classe d'âge ou par sexe dans les populations de certaines espèces, en rapport à des différences comportementales. Au-delà d'une certaine superficie, il est difficile de mener à bien à un coût raisonnable une opération d'éradication par la technique du piégeage pratiquée seule (Musard & Pascal, 1991), il est donc très souhaitable de l'associer avec une deuxième méthode (Pascal, 2006).

L'île de Bagaud présentant un maquis arbustif et arborescent très dense ainsi qu'une superficie relativement importante (58 ha), la méthode d'éradication qui a été retenue est la lutte intégrée. Cette méthode repose sur l'emploi successif du piégeage non vulnérant et de la lutte chimique (Pascal et al., 1996 ; Pascal et Chapuis, 2000). Elle a été appliquée avec succès sur 22 îles dans le domaine tempéré, méditerranéen et tropical, sur des populations de rat surmulot (*Rattus norvegicus*) et de rat noir (*Rattus rattus*) (Lorvelec et Pascal, 2005). Les dommages collatéraux de cette méthode (capture ou empoisonnement d'individus d'espèces non cibles) sont rares et leurs conséquences n'ont pas été perceptibles sur la dynamique des populations touchées au cours de l'année post-éradication, car très largement compensées par les effets positifs de la suppression du rongeur (Pascal, 2006). L'opération d'éradication par la lutte intégrée se déroule en général sur un mois complet (Lorvelec & Pascal, 2005) et consiste dans un premier temps à quadriller l'île de postes de piégeage-appâtage selon un maillage régulier de 30m*30m, soit un minimum de deux postes par domaine vital théorique du rat noir (Pascal et al., 1996).

La lutte mécanique, première phase de la lutte intégrée, permet théoriquement la capture de 85 à 100% de la population de rongeurs, 95 à 98% des captures étant réalisées généralement au cours des 12 premiers jours (Pascal & Chapuis 2000). Elle s'effectue à l'aide de ratières

Manufrance appâtées avec un mélange de beurre de cacahuète, de flocons d'avoine et d'huile de sardine. Elle nécessite un contrôle quotidien des postes de piégeage par équipe de deux personnes. Concrètement, un binôme réalise un contrôle journalier d'environ 100 à 120 pièges en une matinée (4 heures de contrôle). Le contrôle consiste à vérifier chaque piège, et à établir quels événements éventuels sont survenus sur celui-ci (capture d'un rat, capture d'une espèce non cible, piège renversé, piège ferme, etc.). Une fiche de relevé prévue à cet effet permet de consigner ces informations. Si un rat est capturé, il est sacrifié puis conditionné dans un sac plastique individuel annoté (identifiant du piège, date de capture). Le piège est ensuite réactivé avec un nouvel appât. À cette phase de piégeage succède la phase de lutte chimique. Elle s'étend approximativement sur dix à vingt et un jours et nécessite un contrôle des postes d'appâtage quotidien pendant les quatre premiers jours, puis tous les trois jours. Les appâts sont constitués de Bromadiolone à la concentration de 50 ppm, additionnés de céréales et conditionnés sous forme de pavés enrobés de paraffine. Ceux-ci sont fixés à l'intérieur de tubes en PVC de 10 cm de diamètre et 30 cm de longueur, de manière à les protéger d'agents de dégradation (UV, précipitations) et de limiter l'accessibilité du piège à la seule espèce cible, dans la mesure du possible. Le contrôle du tube consiste à évaluer la proportion d'appât consommé, selon une échelle prédéfinie, et d'établir l'origine probable de cette consommation. L'appât est remplacé lorsque la moitié de celui-ci a disparue. La lutte chimique prend fin lorsque plus aucune trace de consommation par les rats n'est constatée sur l'ensemble des postes d'appâtage.

L'application de la lutte intégrée sur l'île de Bagaud a nécessité l'ouverture de layons dans la végétation pour la mise en place du dispositif de lutte. Le maillage retenu est de 20*25m, il est donc plus fin que le maillage théorique (30*30m). En effet, l'île étant couverte en grande partie d'un maquis arbustif haut et d'un maquis arborescent, elle offre ainsi un nombre plus important d'habitats pour le rat noir, espèce préférentiellement arboricole mais s'adaptant très bien à un mode de vie terrestre (c.-à-d. nichée au sein de buissons bas et dans des terriers) (Musser & Carleton, 2005).

La configuration retenue lors de l'étude de faisabilité (Pascal, 2006) est un réseau de layons disposés en lignes concentriques autour de la ligne de crête. Cette configuration est celle nécessitant la plus faible quantité de végétation à élaguer (20 km linéaire) en comparaison à la configuration en lignes perpendiculaires à la ligne de crête (23,5 km linéaire). De plus, elle permet des déplacements plus aisés. La création des layons a été effectuée par une entreprise spécialisée, et ils ont tous été cartographiés à l'aide d'un GPS de précision centimétrique. Les données ont été intégrées dans un SIG (système d'information géographique) pour effectuer le découpage des layons en secteurs d'intervention. Ce travail consiste à créer des zones relativement homogènes en terme de travail pour chaque équipe de dératisation, c'est-à-dire des zones de contrôle du dispositif de lutte présentant un linéaire à parcourir à peu près identique (nombre de ratières équivalent), en prenant en compte la pénibilité du parcours. En effet, certains secteurs nécessitent des aller-retours entre le chemin principal et la côte (secteur 1), ou bien une marche d'approche pour atteindre le parcours (secteur 6). Au total, le traitement géographique du réseau de layons a permis de créer 9 secteurs d'intervention, le secteur 1 ayant été découpé en deux sous secteurs : secteur 1 est et secteur 1 ouest (fig. 3).

L'installation du dispositif de lutte a pu alors débuter. Il a été assuré par du personnel du Parc national de Port-Cros et de l'IMEP. Il s'agissait dans un premier temps de baliser chaque secteur d'intervention à l'aide de morceaux de rubans colorés fixés sur la végétation tous les 25 m, destinés à matérialiser l'emplacement du futur poste de piégeage-appâtage. Chaque point a été géolocalisé à l'aide d'un GPS. La cartographie des secteurs d'intervention mentionnant les postes de piégeage-appâtage numérotés associés a été établie à partir de ces données géographiques. Ce document a servi dans un second temps à la mise en place des postes de piégeage-appâtage. Chaque poste (ratière + tube PVC) matérialisé par le ruban coloré a été repéré à l'aide d'un numéro d'identification consigné sur un papier placé dans une pochette étanche. Pour réaliser ce travail avec rigueur, chaque intervenant était muni : (1) d'une cartographie générale des secteurs d'intervention, (2) d'un agrandissement cartographique du secteur d'intervention avec les postes numérotés à équiper et (3) d'un GPS. Cette opération a permis d'installer au total 886 postes de piégeage-appâtage sur l'ensemble des secteurs d'intervention et 28 postes d'appâtage sur les falaises. La mise en place du dispositif a nécessité 13 journées de travail avec en moyenne 6 intervenants. Neuf binômes ont été nécessaires pour couvrir les neuf secteurs d'intervention. Douze personnes ont été recrutées par l'IMEP durant 5 semaines, et un agent de la brigade mobile de l'ONCFS a été engagé par le Parc. Du personnel permanent et contractuel de l'IMEP et des bénévoles issus de l'initiative PIM "Petites Ile de Méditerranée" (délégation internationale du "Conservatoire de Littoral"), ont également aidé à constituer les 9 équipes nécessaires.

Sur le plan scientifique, la lutte mécanique présente l'avantage de procurer des échantillons biologiques pour toute une population, données particulièrement utiles en recherche fondamentale (génétique des populations, parasitologie, structure familiale...). C'est pour cette raison que le Parc et l'IMEP ont sollicité la présence de l'équipe scientifique de l'INRA « Biologie des invasions », spécialisée sur les invasions biologiques mammaliennes. Une valorisation scientifique des données récoltées au cours de l'opération de dératisation sur l'île de Bagaud est donc assurée.

LA BIOSECURITE

Une éradication est une opération de longue haleine nécessitant la suppression totale de la population du taxon invasif et la mise en place durant quelques années après celle-ci, d'un dispositif spécifique destiné à diagnostiquer rapidement une éventuelle recolonisation.

Prévention de la ré-invasion du rat noir (*Rattus rattus*)

L'analyse de prélèvements de tissus de 30 à 60 spécimens de rats capturés permet d'établir la structuration génétique de la population insulaire à partir de l'ADN microsatellitaire. Il sera ainsi possible de déterminer la cause d'une éventuelle présence du rongeur sur l'île après la tentative d'éradication: échec de l'éradication ou nouvelle invasion (Abdelkrim *et al.*, 2005). Ainsi, le premier travail de biosécurité effectué dans le cadre de l'éradication du rat noir sur l'île de Bagaud a été l'établissement d'une collection de référence de tissus provenant de populations des îles de Bagaud, de Port-Cros, de la Gabinière et du Rascas.

L'éradication est considérée comme un succès si l'absence des rats est constatée deux ans après l'opération. Cependant cette vérification peut être effectuée plus tôt afin de remédier à un éventuel échec de l'opération ou à une recolonisation du site par les rongeurs (Faulquier et al., 2009). Pour opérer ce contrôle, deux dispositifs sont prévus sur l'île de Bagaud. Le premier consiste à installer directement à la fin de l'opération des stations permanentes d'empoisonnement au sein des sites potentiels de ré-invasion de l'île (zones de mouillage de navires, de débarquement, de dépôt de laisses de mers, etc). Il s'agit de boîtes fermées munies d'un orifice limitant l'accès des appâts chimiques aux rats uniquement. Celles-ci doivent être vérifiées mensuellement (contrôle du résultat et changement des appâts). Le second dispositif consiste à mettre en place une session de piégeage à grande échelle sur l'île un an, puis deux ans après la tentative d'éradication. Environ 400 pièges doivent être répartis de façon homogène sur la surface de l'île et activés pendant 4 nuits si aucune présence n'est constatée avant. Ces dispositifs de biosécurité nécessitent la conservation de l'ensemble du réseau de layons sur deux années consécutives.

Prévention de la ré-invasion de la griffe de sorcière (*Carpobrotus* spp)

Le dispositif de biosécurité à mettre en place pour une espèce végétale exotique est dépendant du type biologique de l'espèce considérée, de sa dynamique au sein de l'écosystème envahi et de la persistance de sa banque de graines. Sur les îles de l'archipel d'Hyères, les graines non germées de la griffe de sorcière peuvent rester viables dans le sol pendant au moins deux ans (D'Antonio, 1990), mais les expérimentations *in situ* montrent que la banque de graines persiste au moins pendant 5 ans (Médail et al., 2005). Ainsi, le suivi et le contrôle des zones éradiquées imposent de conserver le layon littoral durant au moins les sept années suivantes. Le contrôle consistera à supprimer toutes les plantules ou repousses détectées, et à relever les informations suivantes : estimation du nombre de plantes contrôlées ou de la surface couverte, stade de développement des individus (mature ou juvénile) et phénologie, identité taxinomique et localisation géographique de la zone envahie. Le contrôle sera annuel au cours des trois années succédant à l'opération car l'expérience d'éradication sur l'îlot du Petit Langoustier conduite en 1995 par le Conservatoire Botanique National Méditerranéen a montré que des germinations massives se produisent trois ans après l'opération (1996 : 200 plantules/m² ; 1997 : 500 plantules/m² ; 1998 : 17 plantules/m²) (CBNM Porquerolles, 2000). Le contrôle pourra par la suite s'espacer tous les deux car des suivis expérimentaux sur Porquerolles ont montré qu'après deux ans les plantules sont encore au stade juvénile (Médail et al., 2005).

CONCLUSION

Le programme de restauration écologique de l'île de Bagaud bénéficie d'un cadrage scientifique important tant sur le plan des protocoles de suivi des taxons indigènes que sur les méthodologies des actions de restauration. Les protocoles choisis sont largement utilisés par la communauté scientifique, légers et facilement reproductibles pour les gestionnaires d'espaces naturels. Quant aux éradications, elles ont fait l'objet d'études de faisabilité, d'expérimentations préalables de restauration *in situ* et de l'expertise de chercheurs

spécialisés. Le Parc national de Port-Cros, l'IMEP et les partenaires financiers du programme ont ainsi développé une collaboration et une implication fortes pour assurer la restauration écologique de l'île Bagaud et permettre à ce site d'exercer pleinement son rôle de sanctuaire biologique. Le cadrage substantiel accordé au programme permettra également de rédiger un guide méthodologique de mise œuvre d'une restauration écologique au sein des écosystèmes méditerranéens à l'intention des gestionnaires d'espaces naturels. Sur le plan scientifique, le suivi pluridisciplinaire décennal du programme est une action pionnière et originale, destinée à mieux comprendre les conséquences de ces opérations d'éradication sur les écosystèmes insulaires méditerranéens et à mieux appréhender le fonctionnement de ces territoires. Le choix de Bagaud comme "île sentinelle" de l'Initiative PIM permettra de pérenniser à long terme le suivi et de faire de ce site, outre son rôle de sanctuaire biologique, un observatoire de l'évolution de la dynamique de la biodiversité méditerranéenne.

BIBLIOGRAPHIE

ABDELKRIM, J., PASCAL, M., & SAMADI, S. (2005). Island colonization and founder effects : the invasion of the Guadeloupe island by ship rats (*Rattus rattus*). *Molecular Ecology*, 14, pp. 2923-2931.

ANDREU, J., MANZANO-PIEDRAS, E., BARTOMEUS, I., DANA, E., & VILÀ, M. (2010). Vegetation response after removal of the invasive *Carpobrotus* hybrid complex in Andalucia, Spain. *Ecological Restoration*, 28, pp. 440-448.

BERGER, G., BONNAUD, E., LEGRAND, J., & DUHEM, C. (2010). *Surveillance et gestion des populations de goélands leucophées des îles d'Hyères. Recensement 2010*. Rapport de l'association DREAM, 20 p+annexes.

BIGEARD, N., LEGRAND, J., BERGER, G., & VIDAL, E. (2006). *Atlas et fiches synthèse sur les populations de puffins des îles d'Hyères*. Rapport rédigé dans le cadre du programme LIFE 2003 NAT/F/000105 "Conservation des puffins sur les îles d'Hyères" Action E5 :Edition d'un document technique sur la gestion des sites de reproduction, 7 p + annexes.

CARTA, L., MANCA, M., & BRUNDU, G. (2004). Removal of *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus from environmental sensitive areas in Sardinia, Italy. *Proceeding 10th MEDECOS Conference, April 25-May 1, 2004, Rhodes, Greece, Arianoutsou & Papanastasis (eds)*. 2004 Millpress, Rotterdam, pp. 1-4.

CBNM PORQUEROLLES (2000). *Récapitulatifs des travaux d'arrachage de Carobrotus sur Porquerolles*, Juin 2000, 3 p.

CHENOT, J. (2010). *Restauration écologique de la réserve intégrale de l'île de Bagaud, étude de gestion préalable à l'éradication des griffes de sorcière (Carpobrotus spp.)*. Rapport de DUT génie biologique option agronomie, Université d'Avignon, Avignon, 30 p + annexes.

CHEYLAN, G. (2007). *Evolution diachronique du peuplement d'oiseaux terrestres nicheurs des îles de Port-Cros et Bagaud*. Rapport du Conservatoire-Etudes des Ecosystèmes de Provence (CEEP), Aix en Provence, 22 p + annexes.

D'ANTONIO, C. M. (1990). Seed production and dispersal in the non native invasive succulent *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae) in coastal strand communities of central California. *Journal of applied Ecology*, 27, pp. 693-702.

- DUBOIS, L., & MALECKI, S. (2011). *Effets de différents protocoles d'éradication de *Carpobrotus* spp. sur la végétation, l'érosion, les propriétés physico-chimiques et microbiologiques du sol*. Rapport de Master 1 BIOECO, Université d'Aix-Marseille III, faculté de St Jérôme, Marseille, 20 p+annexes .
- FAULQUIER, L., PASCAL, M., CHAPUIS, J.L., PISANU, B., BONNAUD, E., DEMAY, J., PERRIN, E., ET ALBAR, G. (2009). Eradication des rats sur l'îlot Teuaua (Ua Huka, Marquises). In : *Te Manu, Bulletin de la société d'ornithologie de Polynésie*, n°67 septembre 2009, pp 6-8.
- GAUTHIER, J. (2010). *Point zéro des Lacertidés et des Colubridés concernant la restauration écologique de l'îlot de Bagaud*. Rapport de l'Association Reptil'Var et du Parc national de Port-Cros, 42 p+annexes.
- HULME, P. (2004). Island, invasions and impacts: a mediterranean perspective. *Island ecology* , pp. 359-384. Asociacion Española de Ecología Terrestre Excmo, Calbildo Insular de la Palma, Tenerife.
- LORVELEC, O., & PASCAL, M. (2005). French attempts to eradicate non-indigenous mammals and their consequences for native biota. *Biological Invasions* , 7, pp. 135-140.
- MARTIN, J.-L., THIBAUT, J.-C., & BRETAGNOLLE, V. (2000). Black rats, island characteristics and colonial nesting birds in the Mediterranean : current consequences of an ancient introduction. *Conservation biology* , 14, pp. 1452-1466.
- MEDAIL, F., SUEHS, C., GONCALVES, V., & AFFRE, L. (2005). *Suivi de l'éradication d'une espèce envahissante terrestre du littoral méditerranéen: la griffe de sorcière (*Carpobrotus* spp.) sur l'île de Porquerolles*. Rapport de l'Institut Méditerranéen d'écologie et de paléoécologie, 21 p.
- MUSARD, P., & PASCAL, M. (1991). Bilan actuel de l'intérêt et des limites d'utilisation des différentes méthodes de luttés pratiquées contre les mammifères ravageurs des cultures. *Bulletin technique d'information (B.T.I) des Ministères de l'Agriculture et de la forêt* . Dans : *Les vertébrés ravageurs des végétaux I-Aspects généraux 2 (Nouvelle Séries)* , pp. 57-60.
- MUSSER, G., & CARLETON, M. (2005). Family Muridae. In : *Wilson, D.E & Reeder D.M. (Eds). Mammal Species of the World : a Taxonomic and Geographic Reference. The John Hopkins University Press, Baltimore, pp 894-1531*
- 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). *Scientific Report of Port-Cros national Park*, 22, pp. 233-257.
- PALMER, M., & PONS, G. (2001). Predicting rat presence on small island. *Ecography* , 24, pp. 121-126.
- PALMER, M., & PONS, G. X. (1996). Diversity in western Mediterranean islets : effects of rat presence on a beetle guild. *Acta Oecologica* , 17, pp. 297-305.
- PANETTA, F. D., & TIMMINS, S. M. (2004). Evaluating the feasibility of eradication for terrestrial weed incursions. *Plant Protection Quarterly*, 19, pp. 435-442.
- PASCAL, M. (2006). *Réhabilitation écologique de l'île de Bagaud par éradication d'un rongeur allochtone (*Rattus*, *Rattus*): étude de faisabilité préalable, modalités d'exécution et de contrôle*. Rapport de stage de Master 2 BIOSE EEGB, Université Aix Marseille III, Marseille, 41 p + annexes.
- PASCAL, M., & CHAPUIS, J. (2000). Eradications des mammifères introduits en milieux insulaires: questions préalables et mise en application. *Revue d'Ecologie (Terre et vie), Suppl.* 7, pp. 85-104.
- PASCAL, M., SIORAT, F., COSSON, J.-F., & BURIN DES ROZIERES, H. (1996). Eradications de populations insulaires de Surmulot (Archipel des Sept-îles, Archipel de Cancale : Bretagne, France). *Vie et milieu* , 46 (3/4), pp. 267-283.

- PASSETTI, A. (2010). *Programme de restauration écologique de la Réserve Intégrale de l'île de Bagaud (phase 1 : 2010-2011): bilan annuel d'activités 2010*. Rapport de l'IMEP et du Parc national de Port-Cros, 55 p + annexes.
- PASSETTI, A. (2009). *Restauration écologique de l'île de Bagaud : étude de faisabilité préalable à l'éradication des griffes de sorcière (Carpobrotus spp.)*. Rapport de Master 2 EEGB, Université Aix Marseille III, Marseille, 33 p + annexes.
- PENLOUP, A., MARTIN, J.-L., GORY, G., BRUNSTEIN, D., & BRETAGNOLLE, V. (1997). Nest site quality and nest predation as factors explaining the distribution of Pallid swifts (*Apus pallidus*) on mediterranean island. *Oikos*, 80, pp. 78-88.
- RABOUAM, C. (1999). *Le puffin cendré Calonectris diomedea et le puffin de Méditerranée Puffinus yelkouan dans l'archipel des îles d'Hyères*. Rapport d'étude pour le Parc national de Port-Cros, 12 p + annexes.
- SPENCE, J. R., & NIEMELÄ, J. (1994). Sampling carabid assemblages with pitfall traps: the madness and the method. *Canadian Entomologist*, 126, pp. 881-94.
- SUEHS, C. M., MÉDAIL, F., & AFFRE, L. (2001). Ecological and genetic features of the invasion by the alien *Carpobrotus* Plants in Mediterranean island habitats. *Plant Invasions*, pp. 145-158.
- 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 : L. E. Child, J. H. Brock, G. Brundu, K. Prach, P. Pysek, P. M. Wade, et al., *Plant Invasions: ecological threats and management solutions*. (pp. 247-263). Backhuys Publisher, Leiden.
- VILA, M., TESSIER, M., SUEHS, C. M., BRUNDU, G., CARTA, L., GALANIDIS, A., LAMBDON, P., MANCA, M., MEDAIL, F., MORAGUE, E., TRAVESET, A., TROUMBIS, Y., HULME., P., (2006). Local and regional assessments of the impacts of plant invaders on the vegetation structure and soil properties of the Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*, 33, pp. 853-851.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisable grâce à l'attribution d'un financement par le Parc national de Port-Cros (Contrat 11 - 83400 PC). Le Parc a également fourni un soutien logistique et des moyens humains sur le terrain, nous exprimons donc notre sincère reconnaissance à son personnel et particulièrement à Nathalie Bigeard, référent au secteur de Port-Cros sur le programme de restauration. Nous remercions également vivement tous les participants qui ont contribué activement à l'opération d'éradication du rat noir. Merci au personnel du Parc et de l'IMEP qui ont permis l'installation du dispositif de lutte sur le site : Alain Barcelo, Annie Aboucaya, Jean Yves Meunier, Daniel Biemann, Diane Zarzoso-Lacoste, Jean-Yves Clou, Pascal Gillet, Christine Graillet, Nathalie Bigeard, Benoît Caraty, Bruno Escoffier, Christelle Gerardin, David Poncin, Franck Alary, Johann Cerisier, Julien Assante, Katia Audemard, Ludovic Boitel, Marie Jarin, Nicolas Gerardin et Rose-abèle Viviani. Un grand merci aux personnes qui ont permis d'assurer la mise en œuvre de l'éradication du rat noir et la collecte des données scientifiques effectuée avec une grande rigueur : Adrien Martineau, Agathe Gerard, Alwin Bleomelen, Arnaud Le Craz, Awatef Abiadh, Céline Chartier, Coralie Santelli, Duperron Benoît, Fiona Bastelica, Hélène De Meringo, Ivan Budinsky, Jacques Nisser, Laurence Berville, Lionel Dubief, Luc Baudot, Marion Seguy, Michel Pascal, Olivier Lorvelec, Philippe Ponel, Patricia Lequilliec, Pierre Caraglio, Rhida Ouni, Stela Ruci. Un

grand merci également à tous les membres de l'association DREAM et de l'association Reptil'Var qui ont contribué à la mise en œuvre du suivi de l'avifaune et des reptiles.

NATURE DES ACTIONS AU SEIN DE LA RI DE BAGAUD	PERIODE D'ACTION																																							
	2010			2011			2012			2013			2014			2015			2016			2017			2018			2019												
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4				
Suivi scientifique (flore, arthropodes épigés, insectes volants, reptiles, avifaune nicheuse)	■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■	
Etude de pré-restauration : expériences d'éradication de <i>Carpobrotus spp.</i>	■	■	■		■	■	■																																	
Ouverture des layons pour la dératissage				■																																				
Dératissage par la lutte intégrée				■																																				
Elimination des griffes de sorcière en situation accessible					■	■																																		
Elimination des griffes de sorcière en situation accidentée								■	■																															
Contrôle de ré-invasion des rats								■		■					■																									
Contrôle de ré-invasion des griffes de sorcière								■	■		■				■				■				■				■				■									
Création d'une banque d'images et de sons				■	■			■																																

Figure 1 : Calendrier décennal du programme de restauration écologique de l'île de Bagaud

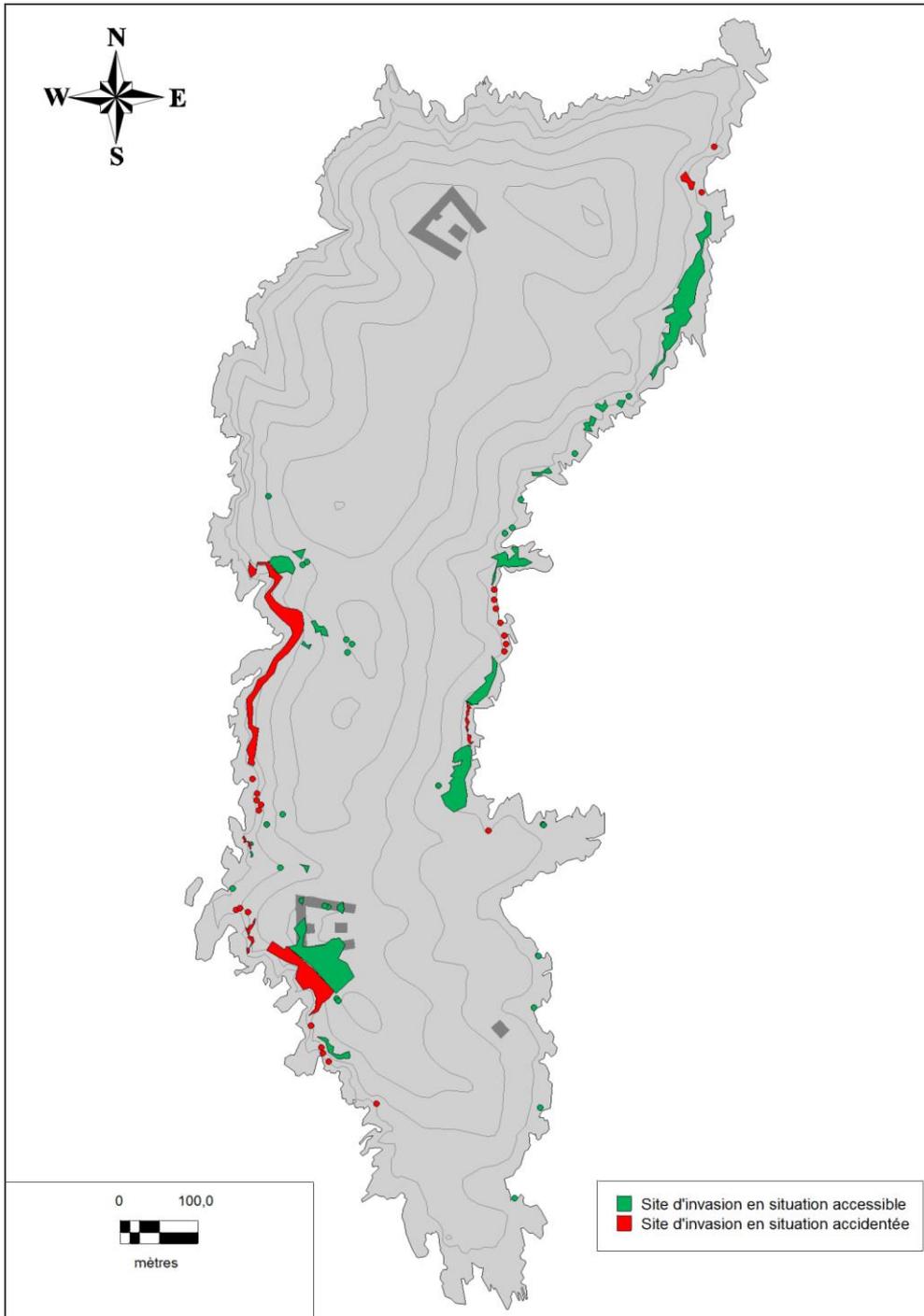


Figure 2 : Zones d'invasion de *Carpobrotus* spp. sur l'île de Bagaud

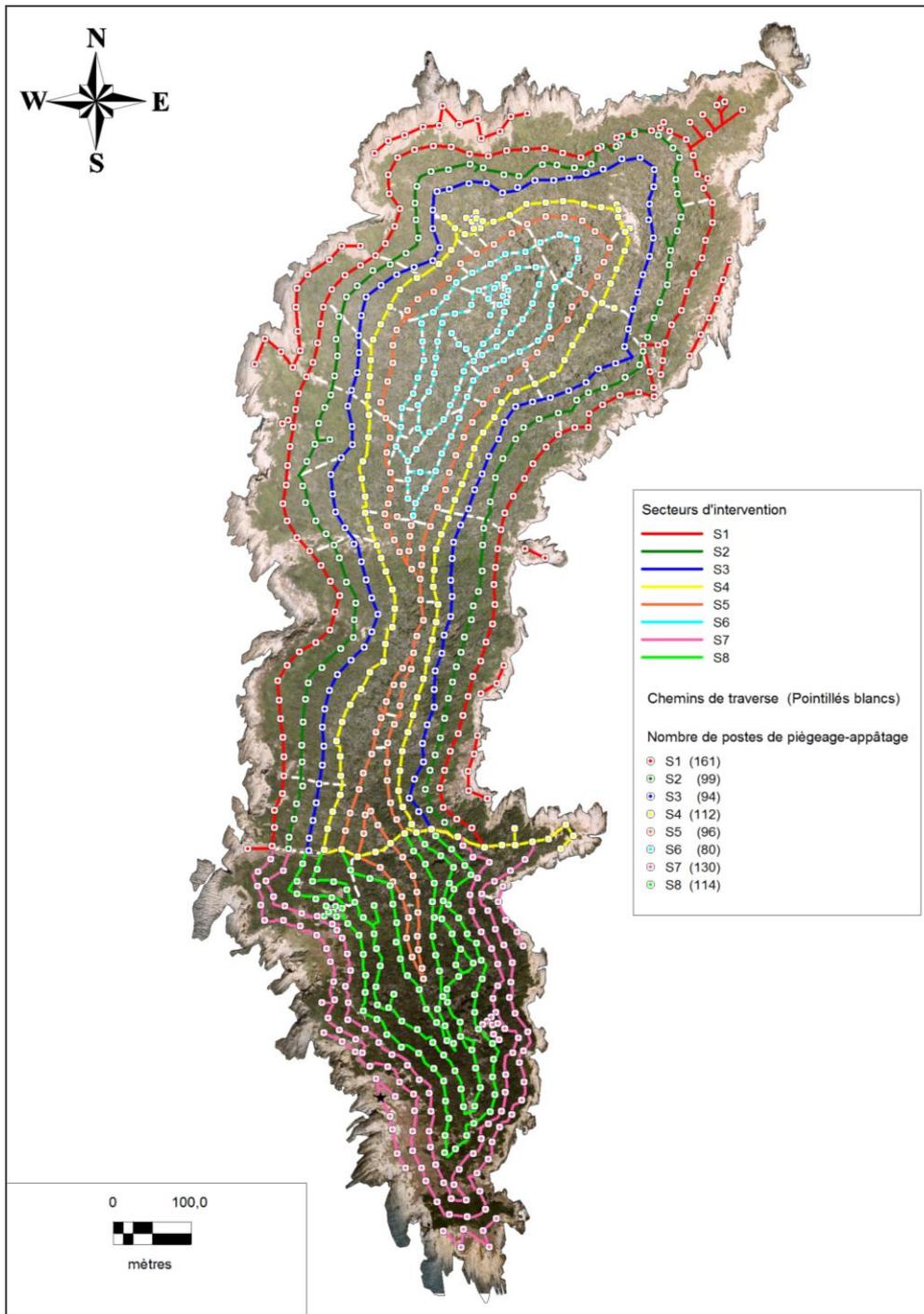


Figure 3 : Secteurs d'intervention et postes de piégeage-appâtage sur l'île de Bagaud