

Les invasions biologiques de vertébrés et l'île de Béniguet : quinze années d'études pluridisciplinaires au service de la Biologie de la Conservation

Michel PASCAL¹

RÉSUMÉ : Une réflexion et des expériences préliminaires conduites sur l'île de Béniguet ont induit une stratégie destinée à identifier et quantifier des conséquences d'invasions biologiques sur divers écosystèmes insulaires. Une méthode d'éradication de populations allochtones de mammifères (*Rattus norvegicus*, *Rattus rattus*, *Mus musculus*, *Herpestes javanicus*, *Mustela putorius*) a été appliquée avec succès dans 21 îles localisées dans dix archipels appartenant à trois domaines géographiques (océanique tempéré, méditerranéen, tropical). Ces éradications ont eu pour conséquence une rapide augmentation de l'indice d'abondance ou du succès de reproduction de mammifères, d'oiseaux marins ou terrestres, de tortues marines et de crabes terrestres autochtones. Nombre de ces populations appartiennent à des espèces bénéficiant de statuts de protection. Ces expériences ont par ailleurs induit des travaux d'écologie parasitaire et bactérienne, de génétique de populations et d'archéozoologie qui ont enrichi la perception que l'on peut avoir des conséquences des invasions biologiques. Ces travaux ont enfin permis la mise au point d'outils de gestion.

ABSTRACT : Thanks to brain storming and preliminary experiments that took place at Beniguet Island nature reserve (Brittany, France), a strategy was set up to identify and assess consequences of biological invasions on the functioning of insular ecosystems. This strategy, founded on the eradication of alien populations of five mammalian species (*Rattus norvegicus*, *R. rattus*, *Mus musculus*, *Herpestes javanicus*, *Mustela putorius*), was carried out successfully on 21 islands within ten archipelagoes located in three geographical areas (temperate oceanic, Mediterranean, tropical). The eradications have induced rapid increases in the abundance index or breeding success of native populations of micro-mammals, marine and terrestrial birds, turtles and terrestrial crabs, most of the concerned species being under conservation status. These experiments have also induced researches dealing with parasite and bacteria ecology, molecular population genetics, and archaeozoology. The latter researches have increased our understanding of biological invasion consequences. All these experiments have induced the building up of management tools.

MOT-CLÉS : Mammifères allochtones, Écosystèmes insulaires, Gestion, Éradication, Épidémiologie, Génétique des populations.

KEY WORDS : Alien mammals, Insular ecosystems, Management, Eradication, Epidemiology, Population genetics.

INTRODUCTION

L'équipe « Gestion des Populations Invasives » du centre INRA de Rennes s'est investie depuis 15 ans dans l'étude des invasions de vertébrés : fréquence, modalités et conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes qui les accueillent. Les travaux relatifs aux fréquences et modalités ont été, pour l'essentiel, conduits hors du contexte de l'île de Béniguet (Pascal & Lorvelec, 2005 ; Pascal *et al.*, 2006). Mais tous ceux relatifs à la mise en évidence expérimentale des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes d'accueil sont étroitement liés à des opérations développées sur cette île et à la collaboration étroite qui s'est instaurée pendant 15 ans avec ses gestionnaires et avec le personnel des Brigades mobiles d'intervention (BMI) de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).

Deux sortes d'expérimentations, non totalement équivalentes, pouvaient être développées pour identifier et quantifier les conséquences d'une invasion biologique : l'introduction délibérée de l'allochtone, ou son éradication. La première a été écartée pour des raisons d'éthique. Restait à mettre au point une stratégie d'éradication alternative au « tout chimique » développée avec succès par les équipes néo-zélandaises (Simberloff, 2002 ; Towns & Broom, 2003 ; Howald *et al.*, 2007), mais difficilement applicable sur le territoire français. En effet, si la faune de Nouvelle-Zélande est totalement dépourvue de mammifères terrestres autochtones, exception faite de chiroptères, ce qui autorise l'emploi exclusif d'anticoagulants relativement spécifiques sans risque de porter préjudice à des espèces autochtones, il n'en est pas de même pour la France métropolitaine.

¹. Institut National de la Recherche Agronomique, Station commune de recherches en ichtyophysiole, biodiversité et environnement (SCRIBE), Centre de Recherches de Rennes, Campus de Beaulieu - F 35042 RENNES Cedex. E-mail : pascal@rennes.inra.fr

S'est posée également la question du choix des écosystèmes soumis à l'expérimentation. Ce choix s'est porté sur les écosystèmes insulaires pour plusieurs raisons. D'abord parce que c'est sur les îles que les invasions biologiques ont généré la plus grande perte de diversité spécifique (Veitch & Clout, 2002), mais également parce que les îles constituent des entités « closes » sur lesquelles il est possible de procéder à des expériences d'éradication avec une plus grande chance de succès qu'en milieu continental (Chapuis *et al.*, 1995). Il est également possible d'y identifier et quantifier plus rapidement qu'en milieu continental les conséquences de l'élimination d'une espèce allochtone (Pascal & Chapuis, 2000 ; Simberloff, 2003 ; Lorvelec & Pascal, 2005).

L'objet de cet article est de synthétiser les résultats de l'ensemble d'opérations conduites à ce jour sur ou à partir de l'île de Béniguet. Il intègre également les opérations induites par les premières, ou menées en association étroite avec le réseau informel d'acteurs constitué dès 1994 et qui a inclus, dès sa fondation, l'ensemble du personnel de l'ONCFS impliqué dans la gestion de la Réserve de chasse et de faune sauvage de l'île de Béniguet. Les thèmes suivants seront successivement abordés : inventaires préalables, opérations d'éradications, conséquences de ces éradications sur les faunes locales, résultats induits (parasitologie, bactériologie, épidémiologie, biologie moléculaire, génétique des populations, aide à la gestion).

INVENTAIRES

Toute opération d'éradication doit se voir précédée d'un inventaire faunistique portant sur un choix limité et argumenté de taxons. Cet inventaire a entre autres pour objectif d'identifier l'ensemble des espèces potentiellement sensibles aux techniques d'éradication ; d'identifier la présence de la (ou des) espèce(s) cible(s) ; d'identifier, dans toute la mesure du possible, l'ensemble des autres espèces allochtones présentes sur le site. L'analyse des informations disponibles relatives à l'histoire naturelle et aux interactions interspécifiques permet alors d'aménager les techniques d'éradication, afin d'en limiter les effets collatéraux et de fonder le choix des taxons qui feront l'objet de suivis destinés à apprécier les effets de la disparition des espèces allochtones que l'on entend éradiquer. Par ailleurs, la connaissance du cortège d'espèces allochtones permet d'anticiper d'éventuels « effets cascades » que pourrait générer l'élimination d'une seule espèce ou d'une partie d'entre elles (Courchamps *et al.*, 2003).

C'est dans cet esprit que l'inventaire de la faune mammalienne de Béniguet (Pascal *et al.*, 1994) a été étendu progressivement à l'ensemble des îles du complexe insulaire Ouessant – archipel de Molène (Pascal *et al.*, 2002) et a permis d'asseoir l'opération d'éradication des populations du Rat surmulot *Rattus norvegicus* de l'île de Trielen et de l'île aux Chrétiens (archipel de Molène) en 1996 (Kerbiriou *et al.*, 2004).

La connaissance issue de ces inventaires a également participé à l'initiation des travaux d'archéozoologie sur les îles de la mer d'Iroise. La découverte de restes d'un arvicoliné sur un site archéologique de l'Âge du Fer à Ouessant, sous-famille qui ne compte aucun représentant actuel sur les îles d'Ouessant et de l'archipel de Molène (Pascal *et al.*, 2002), a induit l'hypothèse que la faune mammalienne de ces îles a connu des extinctions holocènes qui, associées à des introductions, sont susceptibles d'avoir provoqué un renouvellement large, voire total, de faune, comme cela a été montré pour la Corse (Vigne, 1999).

LES OPÉRATIONS D'ÉRADICATION

La méthode d'éradication, testée pour la première fois et avec succès sur les populations de rats surmulots de l'archipel des Sept-Îles en 1994 (Pascal *et al.*, 1996), puis en mer d'Iroise comme cela a été évoqué plus haut, a été étendue aux populations de quatre autres espèces : le Rat noir *Rattus rattus*, la Souris grise *Mus musculus*, le Furet (forme maronne du Putois européen *Mustela putorius*) et la Mangouste de Java *Herpestes javanicus*. Elle a en outre été étendue d'îles de la province océanique tempérée à des îles des provinces méditerranéenne et tropicale (Lorvelec & Pascal, 2005). Les compétences nautiques et le savoir faire acquis dans la maîtrise de cette méthode par les BMI de l'ONCFS ont été mis à contribution pour les phases d'éradication et/ou de contrôle de la totalité des opérations consignées au tableau 1.

		Archipel	Île	Surface (ha)	Espèce cible	Date éradication	Succès	Opérateurs
Province géographique	Océanique tempérée	Sept Îles	Bono	22	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA/LPO
			Île aux Moines	9	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA/LPO
			Île Plate	5	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA/LPO
			Île aux Rats	0,2	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA/LPO
		Rimains	Rimains	1,5	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA
			Chatellier	1	<i>R. norvegicus</i>	1994	oui	INRA
		Molène	Trielen	17	<i>R. norvegicus</i>	1996	oui	INRA/ONCFS/SEPNB
			Îlot Chrétien	1,3	<i>R. norvegicus</i>	1996	oui	INRA/ONCFS/SEPNB
			Kemenez	29,3	<i>M. putorius</i>	2003	oui	ONCFS/INRA/CEL
			Led. Kemenez	4	<i>M. putorius</i>	2003	oui	ONCFS/INRA/CEL
	St. Riom	St. Riom	14,5	<i>R. norvegicus</i>	2000	non	CEL/LPO/INRA	
		6 îlots	1,7	<i>R. norvegicus</i>	2000	non	CEL/LPO/INRA	
	Houat	Île aux Chevaux	2,5	<i>R. norvegicus</i>	2002	oui	INRA/CEL/SEPNB	
		Tomé	± 30	<i>R. norvegicus</i>	2002	oui	CEL/ONCFS/INRA	
	Glénan	Le Loc'h		<i>R. norvegicus</i>	2003	non	CEL/ONCFS/INRA	
		Dumet	8,5	<i>V. vulpes</i>	2003	oui	ONCFS	
	Méditerranéenne	Lavezzi	Lavezzu	73	<i>R. rattus</i>	2000	oui	INRA/PARC MARIN/ONCFS
			18 islets	17	<i>R. rattus</i>	2000	oui	INRA/PARC MARIN/ONCFS
	Tropicale	Martinique	Burgaux	0,5	<i>R. rattus</i>	1999/2001-2002	oui	INRA/PNRM/ONCFS/LPO
			Percé	0,5	<i>R. rattus</i>	1999	oui	INRA/PNRM/ONCFS/LPO
			Hardy	2,6	<i>R. rattus</i>	1999/2001/2002	oui	INRA/PNRM/ONCFS/LPO
			Poirier	2,1	<i>R. rattus</i>	1999/2002	oui	INRA/PNRM/ONCFS/LPO
	Guadeloupe	Fajou	120	<i>R. rattus</i>	2001/2002	no	INRA/PNG/ONCFS/LPO	
		Fajou	120	<i>M. musculus</i>	2001	oui ?	INRA/PNG/ONCFS/LPO	
		Fajou	120	<i>H. javanicus</i>	2001	oui	INRA/PNG/ONCFS/LPO	

Tableau 1 – Ensemble des opérations d'éradication de populations mammaliennes allochtones insulaires conduites entre 1994 et 2003 selon la méthode INRA. Opérateurs : INRA (Institut national de recherche agronomique), LPO (Ligue pour la protection des oiseaux – BirdLife France), ONCFS, (Office national de la chasse et de la faune sauvage), SEPNB (Bretagne Vivante – Société pour l'étude et la protection de la nature en Bretagne), CEL (Conservatoire de l'espace littoral et lacustre), Parc Marin (Parc international des Bouches de Bonifaccio), PNRM (Parc naturel régional de Martinique), PNG (Parc national de Guadeloupe).

CONSÉQUENCES DES ÉRADICATIONS SUR LES FAUNES LOCALES

L'éradication du Rat surmulot des îles de l'archipel des Sept-îles, de Trielen, de l'île aux Chrétiens et de Tomé a eu une conséquence, dont on n'avait pas imaginé l'ampleur, sur l'abondance de deux espèces de musaraignes, la Musaraigne des jardins *Crocidura suaveolens* et la Musaraigne musette *Crocidura russula*. L'indice d'abondance de la première a été multiplié par un facteur 7 à 25 selon l'île et l'année de contrôle post-éradication, alors que celui de la seconde, présente uniquement sur l'île Tomé, a été multiplié par 9 l'année qui a suivi l'éradication et par 17 l'année suivante. Par ailleurs, l'amplitude entre les valeurs la plus forte et la plus basse de l'indice d'abondance relevé annuellement sur un quadrat d'échantillonnage installé sur l'île de Béniguet, île de référence car dépourvue de Rat surmulot, a été de 2,5 sur une période de dix ans. Ces résultats ont induit la conclusion qu'une forte interaction existait entre le rongeur et les deux espèces de musaraignes, interaction dont on ignore la nature au demeurant (Pascal *et al.*, 2005b).

Si le nombre de couples nicheurs de 13 espèces d'oiseaux terrestres n'a pas été modifié quatre ans après l'éradication du Rat surmulot de l'île de Trielen, ce nombre a été multiplié par 5 à 7 pour le Pipit maritime *Anthus petrosus*, par 3 pour le Troglodyte mignon *Troglodytes troglodytes* et par 2 pour l'Accenteur mouchet *Prunella modularis* (Kerbiriou *et al.*, 2004).

L'éradication du Rat noir a eu pour conséquence de faire passer de 47 à 87 % la proportion de nids donnant un poussin à l'envol dans la population du Puffin cendré *Calonectris diomedea* de l'île Lavezzi en Corse, de 0 à 85-90 % et de 5 à 70-90 % ceux, respectivement, du Puffin d'Audubon *Puffinus lherminieri* et du Noddi brun *Anous stolidus* de l'îlet Hardy en Martinique (Pascal *et al.*, 2004a ; Lorvelec & Pascal, 2005). L'éradication du Rat noir de l'îlet Hardy a également eu pour conséquence de doubler l'indice d'abondance du Crabe zombi *Gecarcinus ruricola* des îlets de Sainte-Anne.

L'éradication de la Mangouste de Java de l'îlet Fajou, en Guadeloupe, a eu pour conséquences de multiplier par 10 l'indice d'abondance du Râle gris endémique des Petites Antilles *Rallus longirostris caribaeus*, et de réduire à néant la destruction des nids de la Tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata* (Lorvelec *et al.*, 2004).

Ces expériences ont démontré la faisabilité, sur le territoire français, de l'éradication de populations allochtones insulaires de mammifères sans impact pervers notable sur la faune autochtone. Elles ont permis d'évaluer quantitativement l'incidence de populations allochtones sur des populations autochtones d'un spectre varié d'espèces. Elles ont enfin mis en évidence que, si ces éradications ont eu des effets positifs attendus sur des espèces menacées ou à forte valeur patrimoniale (avifaune, herpétofaune), elles ont également eu des effets positifs inattendus (faune mammalienne, carcinofaune).

PARASITOLOGIE, BACTÉRIOLOGIE ET ÉPIDÉMIOLOGIE

Le matériel biologique collecté à l'occasion des éradications a permis le développement de travaux de parasitologie, bactériologie et épidémiologie.

L'analyse endoparasitaire des Rats surmulots collectés sur Trielen et l'île aux Chrétiens a produit 11 espèces monoxènes, aucune n'étant réputée infester ce rongeur. Parmi celles-ci, cinq étaient représentées par des individus adultes et quatre par des individus fertiles (Pisanu, 1999). Ce résultat démontre que l'introduction récente d'une espèce (au moment de l'éradication, la présence du Rat surmulot sur ces îles remontait à moins d'un siècle), outre qu'elle est susceptible de s'accompagner d'une faune parasitaire associée, peut induire la constitution de nouveaux couples hôte – parasite pérennes par capture de parasites autochtones, et donc après franchissement de la barrière d'espèce.

Le portage de siphonaptères (puces) par le cortège des rongeurs commensaux allochtones est réputé systématique. Pourtant, l'examen de 4215 rongeurs capturés au cours des 12 mois de l'année dans des agro-écosystèmes et écosystèmes naturels de la Martinique et de la Guadeloupe n'a produit aucune puce, alors que deux des quatre rongeurs capturés en milieu urbain étaient porteurs de *Xenopsylla cheopis*. Deux explications non exclusives à ce résultat contre-intuitif sont proposées. La première est que l'affirmation de l'omniprésence de puces chez ces rongeurs est erronée et a pour origine un biais d'échantillonnage par les parasitologues, qui focalisent leurs captures dans l'environnement urbain. La seconde est que ces puces ne peuvent boucler leur cycle de reproduction dans les écosystèmes ruraux et naturels de ces îles, où elles ne rencontrent de situation favorable qu'en milieu urbain, à moins qu'elles ne doivent leur pérennité dans ces milieux au seul flux permanent d'individus provenant de réservoirs extérieurs à l'île (Pascal *et al.*, 2004b).

La bactérie *Leptospira interrogans* a été recherchée par sérodiagnostic sanguin et/ou par culture à partir de prélèvements d'urine sur les trois muridés commensaux (Rat surmulot, Rat noir et Souris grise) de deux îles de la mer d'Iroise et de deux agro-écosystèmes et deux écosystèmes non perturbés de Guadeloupe. Elle s'est révélée totalement absente des îles dépourvues de collection d'eau douce, et systématiquement présente sur les îles ou écosystèmes qui en étaient pourvus (Michel, 2001). Par ailleurs, en Guadeloupe, la Souris grise, espèce rarement

prise en compte dans les travaux d'épidémiologie de la leptospirose, s'est révélée plus fréquemment séropositive et excrétrice que les deux autres espèces de rongeurs. Ce résultat et le fait qu'en pays tropical la Souris soit tolérée dans les habitations, ce qui n'est pas le cas des rats, expliqueraient la forte prévalence de cette maladie chez l'Homme dans ces contrées (Pascal *et al.*, 2004c).

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE, GÉNÉTIQUE DES POPULATIONS ET AIDE À LA GESTION

Disposer d'échantillons de tissus collectés en un laps de temps très court (10 à 15 jours) au regard du cycle biologique des espèces, sur la quasi-totalité des individus d'une population close dont on connaît souvent l'histoire de la fondation, constitue une rare aubaine pour les généticiens des populations. En effet, leur exploitation offre la possibilité de tester des modèles théoriques relatifs, entre autres, à l'effet fondateur et à la détection de goulets d'étranglement (*bottle-neck*), à la part respective que jouent la mutation et la dérive génétique dans la structuration génétique des populations, à la reconstitution d'histoire démographique. Elle offre également la possibilité de valider, relativiser, voire invalider, l'histoire d'invasions biologiques fondées sur la seule analyse des textes et l'archéologie. Enfin, certaines extensions de ces analyses offrent aux généticiens des populations des occasions concrètes de démontrer aux gestionnaires l'intérêt que présente la génétique moléculaire pour répondre à certaines de leurs questions.

Une première étude, fondée sur l'analyse des microsatellites, a mis en évidence un effet fondateur systématique et très fort au sein des populations de Rat surmulot de quatre îles du complexe insulaire Ouessant – archipel de Molène, et l'absence de flux génique entre ces îles. Elle démontre également l'absence de flux génique entre ces îles et le proche continent en dépit d'un trafic maritime notable (Calmet, 1999 ; Calmet *et al.*, 2001). L'élargissement de l'analyse aux populations de rats surmulots de 18 îles de 5 archipels de Bretagne confirme les résultats du premier travail et démontre que la génétique moléculaire apporte une réponse sans équivoque à la question suivante : la présence de rongeurs à l'issue d'une tentative d'éradication menée sur une île résulte-t-elle de son échec ou d'une ré-infestation (Abdelkrim *et al.*, 2005a ; Abdelkrim *et al.*, 2007) ? La réponse à cette question a des conséquences évidentes quant au choix des stratégies que doivent développer les gestionnaires.

Le transfert des outils et méthodes à l'étude de neuf populations insulaires (îles et îlots périphériques de la Martinique et de la Guadeloupe) d'une seconde espèce de *Rattus*, le Rat noir, a conduit à des résultats comparables quant au fort effet fondateur et à la quasi-absence de flux génétique avec l'île principale considérée comme source essentielle de colonisateurs. Elle a confirmé pour cette espèce la capacité de réponse à la question des gestionnaires évoquée plus haut. Elle a enfin permis de tester le domaine d'application de modèles d'assignation et de trois modèles de détection de *bottle-neck*, et de confronter les résultats de ces derniers aux dates d'apparition du Rat noir mentionnées dans les textes (Abdelkrim *et al.*, 2005b).

Si l'analyse génétique des 1342 prélèvements réalisés à l'occasion de l'opération d'éradication du Rat noir de l'île Lavezzi et de ses 17 îlots périphériques a conduit à des résultats similaires à ceux obtenus pour la Martinique et la Guadeloupe, elle a en outre généré une nouvelle question. Cette analyse met en effet en évidence une structuration génétique au sein de l'île principale, structuration qui sépare les individus capturés dans sa péninsule Nord des autres (Abdelkrim, 2005). Lors de l'éradication, les pièges non vulnérants ont capturé 82 passereaux dont 18 dans la péninsule. Si 64 d'entre eux ont été libérés en bon état, les 18 restants, tous capturés dans la péninsule, ont été retrouvés morts dans les pièges et partiellement consommés par le rongeur. Sous réserve que le complément d'analyse en cours confirme un haut niveau de structuration génétique, ce résultat suggère une corrélation entre un trait comportemental et une signature génétique. Si c'est le cas, peut-on envisager que l'île Lavezzi ait été le siège d'un début d'isolement génétique fondé sur ou en rapport avec l'émergence d'un comportement particulier ?

Une extension de la méthode d'inférence bayésienne (Beaumont, 1999) a été appliquée aux données de génétique obtenues sur des populations de *R. norvegicus* de la mer d'Iroise et sur celle du chat haret des îles Kerguelen dans le but de reconstituer l'histoire démographique de populations insulaires introduites (Calmet, 2002).

L'absence actuelle de données archéologiques ne permet pas de savoir si les populations insulaires bretonnes de la Musaraigne des jardins sont des reliques, l'espèce étant actuellement absente du proche continent, ou sont le produit d'introductions anciennes, postérieures au phénomène d'insularisation (Cosson *et al.*, 1996). Par ailleurs, l'important impact de la présence du Rat surmulot, espèce récemment introduite en France (1750), sur l'effectif des populations insulaires de cette espèce a déjà été évoqué. Cet effet peut être assimilé à un *bottle-neck*. L'étude portant sur les populations de sept îles appartenant à deux archipels, trois d'entre elles réputées dépourvues de rats de tout temps sur la base des informations historiques, et cinq en ayant été débarrassées entre 1951 et 1996, montre, sur la base de l'analyse du Cyt_b de l'ADN_m, que toutes ces populations appartiennent à la lignée occidentale de l'espèce définie par Taberlet *et al.* (1998) et confirmée par Dubey *et al.* (2006), et constituent un groupe monophylétique. Par ailleurs, la population de chacune de ces îles est caractérisée par un unique haplotype suggérant l'absence de flux génique entre elles. L'analyse microsatellitaire (Calmet *et al.*, 2004) confirme ces résultats et permet la détection du *bottle-neck* engendré par la présence du Rat surmulot, sauf pour l'île la plus anciennement (1951) débarrassée du rongeur (Thierry, 2005). Si ce travail n'apporte pas de résultat concluant quant à l'autochtonie ou l'introduction ancienne de l'espèce sur les îles bretonnes, il met en évidence l'impact de l'introduction d'une espèce sur la diversité génétique d'une autre installée de longue date. Certaines facettes de la biologie de cette musaraigne ont fait l'objet de travaux particuliers sur l'île de Béniguet (Pascal, 2002 ; Pascal *et al.* en préparation) et le contrôle annuel du quadrat permanent d'échantillonnage est inscrit au plan de gestion de cette réserve.

L'analyse microsatellitaire de 453 échantillons de tissus de la Mangouste de Java collectés dans 13 aires géographiques (dont les 73 collectés sur l'îlet Fajou en Guadeloupe) montre, entre autres, la faible variabilité génétique des populations introduites au regard de celle des populations sources (Thulin *et al.*, 2006).

CONCLUSION

Ces résultats laissent entrevoir le rôle majeur des dimensions temporelle et spatiale, souvent mal perçues et donc mal définies, voire occultées, dans beaucoup d'études de processus écologiques. Ils montrent également tout l'intérêt de placer les travaux d'écologie relatifs aux invasions biologiques dans une perspective de biologie évolutive. Cette voie impose la pluridisciplinarité, orientation mal perçue par la science académique française qui, actuellement, ne conçoit « l'excellence » que dans la discipline.

Ces résultats sont l'aboutissement de projets menés en multipartenariat. Le succès de ces projets tient à l'obligation que se sont imposés chacun des partenaires de bien saisir les objectifs et potentialités des autres, et de respecter leurs missions et obligations respectives. Par ailleurs, la crédibilité de la partie recherche de ces projets repose sur le respect des engagements des chercheurs à l'égard des partenaires, à savoir le transfert des connaissances et l'aide effective à l'élaboration de stratégies de gestion. La capitalisation de cette crédibilité s'est révélée et se révèle toujours déterminante.

BIBLIOGRAPHIE

ABDELKRIM J. 2005. *Étude de la structuration génétique de populations allochtones de R. norvegicus et de R. rattus en milieu insulaire. Intérêt en biologie de la conservation*. Thèse de l'Université Paris VI (Biologie des Populations) : 1-179.

ABDELKRIM J., PASCAL M., CALMET C. & SAMADI S. 2005a. The importance of assessing population genetic structure prior to eradication of invasive species : Examples from insular *Rattus norvegicus* populations. *Conservation Biology*, 19 : 1509-1518.

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

- ABDELKRIM J., PASCAL M. & SAMADI S. 2007. Establishing causes of eradication failure based on genetics : Case Study of ship rat eradication in Ste. Anne archipelago. *Conservation Biology* : in press.
- BEAUMONT M.A., 1999. Detecting populations expansion and decline using microsatellites. *Genetics*, 153 : 2013-2029.
- CALMET C. 1999. *Histoire et fonctionnement des populations d'une espèce invasive en milieu insulaire : le cas du surmulot Rattus norvegicus en Mer d'Iroise (Bretagne, France)*. DEA Biodiversité : génétique, histoire, mécanisme de l'évolution. Universités Paris VI-VII-XI / INA-PG / MNHN : 1-32.
- CALMET C. 2002. *Inférence sur l'histoire des populations à partir de leur diversité génétique : étude de séquences démographiques de type fondation-explosion*. Thèse de l'Université Paris VI (Biologie des Populations) : 1-167 + annexes.
- CALMET C., PASCAL M., & SAMADI S. 2001. Is it worth eradicating the invasive pest *Rattus norvegicus* from Molène archipelago ? Genetic structure measures as a decision-making tool. *Biodiversity and Conservation* 10 : 911-928.
- CALMET C., LAMBOURDIERE J., ABDELKRIM J., PASCAL M., & SAMADI S. 2004. Characterization of eight polymorphic microsatellites in the shrew *Crocidura suaveolens* and its application to the study of insular populations of the French Atlantic coast. *Molecular Ecology Notes*, 4 : 426-428.
- CHAPUIS J.-L., BARNAUD G., BIORET F. LEBOUVIER M. & PASCAL M. 1995. L'éradication des espèces introduites, un préalable à la restauration des milieux insulaires. Cas des îles françaises. *Nature Sciences et Sociétés*, hors série 3 : 51-65.
- COSSON J.-F., PASCAL M., BIORET F. 1996. Origine et répartition des musaraignes du genre *Crocidura* dans les îles bretonnes. *Vie et Milieu - Life & Environment*, 46 : 233-244.
- COURCHAMP F., CHAPUIS J.-L. & PASCAL M. 2003. Mammal invaders on islands: impact, control and control impact. *Biological Reviews*, 78 : 347-383.
- DUBÉY S., ZAITSEV M., COSSON J.-F., ABDUKADIER A. & VOGEL P. 2006. Pliocene and Pleistocene diversification and multiple refugia in a Eurasian shrew (*Crocidura suaveolens* group). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 38 : 635-647.
- HOWALD G., DONLAN C. J., GALVAN J. P., RUSSELL J., PARKES J., SAMANIEGO A., WANG Y., VEITCH D., GENOVESI P., PASCAL M., SAUNDERS A. & TERSHY B. 2007. *Invasive rodent eradication on islands*. *Biological Invasions* : sous presse.
- KERBIRIOU C., PASCAL M., LE VIOLI I. & GAROCHE J. 2004. Conséquences sur l'avifaune terrestre de l'île de Trielen (Réserve Naturelle d'Iroise, Bretagne) de l'éradication du rat surmulot (*Rattus norvegicus*). *Revue d'Écologie (Terre & Vie)*, 59 : 319-329.
- LORVELEC O., DELLOUE X., PASCAL M. & MEGE S. 2004. Impacts des mammifères allochtones sur quelques espèces autochtones de l'Îlet Fajou (Réserve Naturelle du Grand Cul-de-Sac Marin, Guadeloupe), établis à l'issue d'une tentative d'éradication. *Revue d'Écologie (Terre Vie)*, 59 : 293-307.
- LORVELEC O. & PASCAL M., 2005. French alien mammal eradication attempts and their consequences on the native fauna and flora. *Biological Invasions*, 7 : 135-140.
- MICHEL V. 2001. *Épidémiologie de la leptospirose zoonose : étude comparée du rôle de différentes espèces de la faune sauvage et de leur environnement*. Thèse de l'Université Claude Bernard Lyon I (Spécialité Ecologie Microbienne) : 1-223 + annexes.
- PASCAL M., BIORET F., YESOU P. & d'ESCRIENNE L.-G. 1994. L'inventaire des Micromammifères de la Réserve de Faune de l'Île de Béniguet (Finistère). *Gibier Faune Sauvage, Game Wildl.*, 11 : 65-81.
- PASCAL M., SIORAT F., COSSON J.-F. & BURIN DES ROZIERES H. 1996. Éradication de populations insulaires de Surmulot (Archipel des Sept-Îles - Archipel de Cancale : Bretagne, France). *Vie et Milieu - Life and Environment*, 46 : 267-283.
- PASCAL M & CHAPUIS J.-L. 2000. Éradication de mammifères introduits en milieux insulaires : questions préalables et mise en application. *Revue d'Écologie (Terre Vie)*, Suppl. 7 : 85-104.
- PASCAL M.H. 2002. Structure spatiale et rythme nyctéméral d'activité d'une population insulaire de la Musaraigne des jardins *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811). Rapport de stage DEUG Science et Technologie. Université Rennes 1/ONCFS : 1-8.
- PASCAL M., SIORAT F., BRITHMER R., CULIOLI J.-M. & DELLOUE X. 2002. La biodiversité insulaire au péril des espèces introduites. *Pen ar Bed*, 184-185 : 80-86.
- PASCAL M., BRITHMER R., LORVELEC O. & VENUMIERE N. 2004a. Conséquences sur l'avifaune nicheuse de la réserve naturelle des Îlets de Sainte-Anne (Martinique) de la récente invasion du Rat noir (*Rattus rattus*), établies à l'issue d'une tentative d'éradication. *Revue d'Écologie (Terre Vie)*, 59 : 309-318.
- PASCAL M., BEAUCOURNU J.-C. & LORVELEC O. 2004b. An enigma : the lack of Siphonaptera on wild rats and mice on densely populated tropical islands *Acta Parasitologica*, 49 : 168-172.
- PASCAL M., LORVELEC O., BOREL G. & ROSINE A. 2004c. Structures spécifiques des peuplements de rongeurs d'agro-écosystèmes et d'écosystèmes « naturels » de la Guadeloupe et de la Martinique. *Revue d'Écologie (Terre Vie)*, 59 : 283-292.
- PASCAL M. & LORVELEC O. 2005. Holocene turnover of the French vertebrate fauna. *Biological Invasions*, 7 : 99-106.
- PASCAL M., SIORAT F., LORVELEC O., YESOU P. & SIMBERLOFF D. 2005b. A pleasing Norway rat eradication consequence : two shrew species recover. *Diversity and Distribution*, 11 : 193-198.

- PASCAL M., LORVELEC O. & VIGNE J.-D. 2006. *Invasions Biologiques et Extinctions : 11 000 ans d'histoire des Vertébrés en France*. Belin et Quæ, Paris : 1-350.
- PISANU B. 1999. *Diversité, variabilité morphologique et rôle des Helminthes chez des Mammifères introduits en milieu insulaire*. Thèse de l'Université Rennes 1 (Biologie) : 1-89.
- SIMBERLOFF D. 2002. « Today Tiritiri Matangi, tomorrow the World ! Are we aiming too low in invasives control ? ». In Veitch C.R. & Clout M.N. (eds.), *Turning the tide: the eradication of invasive species*. IUCN, Invasive Species Specialists Group, Gland, Switzerland : 4-12.
- SIMBERLOFF D. 2003. « How much information on population biology is needed to manage introduced species », *Conservation Biology*, 17 : 83-92.
- TABERLET P., FUMAGALLI L., WUST-SAUCY A.G & COSSON J.-F. 1998. Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology*, 7 : 453-464.
- THIERRY M. 2005. *Histoire et fonctionnement actuel des populations de musaraignes, Crocidura suaveolens, dans les îles bretonnes*. Master « Biologie, Santé et Agrosociétés », mention « Biologie des Populations », spécialité « Biologie, Evolution et Contrôle des populations ». Université François Rabelais, Tours : 1-26.
- THULIN C.-G., SIMBERLOFF D., BARUN A., McCracken G., PASCAL M., ISLAM A. 2006. Genetic divergence in the small Indian mongoose (*Herpestes auropunctatus*), a widely distributed invasive species. *Molecular Ecology*, 15 : 3947-3956.
- TOWNS D.R. & BROOME K.G. 2003. From small Maria to massive Campbell: forty years of rat eradications from New Zealand islands. *New Zealand Journal of Zoology*, 30 : 377-398.
- VEITCH C.R. & CLOUT M.N. (eds) 2002. *Turning the Tide : The Eradication of Invasive Species*. IUCN Invasive Species Specialists Group, Gland, Switzerland.
- VIGNE J.-D., 1999. The large " true " Mediterranean islands as a model for the Holocene human impact on the European vertebrate fauna ? Recent data and new reflections. In Benecke N. (éd.), *The Holocene History of European Vertebrate Fauna. Modern Aspects and Research*. Deutsches Archäologisches Institut Eurasien-Abteilung. Verlag Marie Leidorf GmbH Rahden/Westf. : 295-322.