



**HAL**  
open science

# Ecologie évolutive, gestion et conservation des petits et méso-mammifères carnivores.

Sébastien Devillard

► **To cite this version:**

Sébastien Devillard. Ecologie évolutive, gestion et conservation des petits et méso-mammifères carnivores.. Sciences du Vivant [q-bio]. Université Claude Beranrd Lyon 1, 2019. tel-04766858

**HAL Id: tel-04766858**

**<https://hal.science/tel-04766858v1>**

Submitted on 5 Nov 2024

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

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

# Ecologie évolutive, gestion et conservation des petits et méso-mammifères carnivores.

Sébastien Devillard

Mémoire présenté devant l'Université Claude Bernard - Lyon 1 pour l'obtention  
de l'Habilitation à Diriger les Recherches le 15/11/2019

## Jury

Madame Marie-Lazarine POULLE  
Madame Géraldine VERON  
Madame Aurélie COHAS  
Monsieur Aurélien BESNARD  
Monsieur Olivier GIMENEZ  
Monsieur Ludovic SAY  
Monsieur Johan MICHAUX (invité)  
Madame Sandrine RUETTE (invitée)

<b>PROSFATIO</b>	<b>1</b>
<b><u>1 CURRICULUM VITAE</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>1.1 IDENTITE ET AFFILIATION</b>	<b>3</b>
<b>1.2 GRADES ET TITRES UNIVERSITAIRES</b>	<b>3</b>
<b>1.3 FONCTIONS PROFESSIONNELLES</b>	<b>4</b>
<b>1.4 PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS</b>	<b>4</b>
1.4.1 PUBLICATIONS DANS LES REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE (SOULIGNE : ETUDIANTS ENCADRES)	4
1.4.2 ARTICLES DANS REVUES NATIONALES A COMITE DE LECTURE	10
1.4.3 CHAPITRES D'OUVRAGES	11
1.4.4 ARTICLES SOUMIS OU EN PREPARATION AVANCEE (SOUMISSION DANS LES 6 MOIS)	11
1.4.5 LISTE DES COMMUNICATIONS ORALES ET POSTERS (SOULIGNE : ORATEUR, GRAS : PRESENCE AU COLLOQUE)	13
<b>1.5 ENCADREMENT DOCTORAL ET SCIENTIFIQUE</b>	<b>16</b>
1.5.1 ENCADREMENT DE STAGIAIRES DE DUT	16
1.5.2 ENCADREMENT DE STAGIAIRES DE L3 ET DE M1	16
1.5.3 ENCADREMENT DE STAGIAIRES DE M2	17
1.5.4 ENCADREMENT DOCTORAL	19
<b>1.6 DIFFUSION ET RAYONNEMENT</b>	<b>19</b>
1.6.1 EXPERTISE (ORGANISMES NATIONAUX OU INTERNATIONAUX)	19
1.6.2 ACTIVITES D'ARBITRE POUR LES REVUES INTERNATIONALES A COMITE DE LECTURE	20
1.6.3 PARTICIPATION JURYS DE THESE ET DE HDR	20
1.6.4 MANDATS ET RESPONSABILITES	20
1.6.5 ORGANISATION DE COLLOQUES ET DE REUNIONS SCIENTIFIQUES	21
1.6.6 CONTRATS DE RECHERCHE	22
<b>1.7 RESPONSABILITES ET ACTIVITES PEDAGOGIQUES</b>	<b>24</b>
1.7.1 RESPONSABILITES PEDAGOGIQUES	24
1.7.2 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DE MES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT ET DE FORMATION	25
1.7.3 DESCRIPTION DETAILLEE DE MES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT	28
1.7.4 CONCILIATION RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT	29
<b><u>2 ET MAINTENANT UN PEU DE SCIENCES</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b>2.1 INTRODUCTION ET SYNTHESE NON EXHAUSTIVE DES ACTIVITES DE RECHERCHE</b>	<b>31</b>
2.1.1 UNE COURTE INTRODUCTION	31
2.1.2 UNE COURTE SYNTHESE DE 12 ANS DE RECHERCHE	35
<b>2.2 AMELIORATION DES CONNAISSANCES SUR LES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE D'ESPECES MECONNUES</b>	<b>38</b>
2.2.1 PARAMETRES MORPHOLOGIQUES, DE REPRODUCTION ET DE SURVIE ET CHEZ LA MARTRE ET LA FOUINE	38
2.2.2 SENESCENCE REPRODUCTIVE CHEZ LE RENARD	42
<b>2.3 DISTRIBUTION, ABONDANCE ET DENSITE</b>	<b>43</b>
2.3.1 DISTRIBUTION ET EXPANSION DU CHAT FORESTIER EN FRANCE	44
2.3.2 VARIATION SPATIALE D'ABONDANCE ET DE DENSITE CHEZ LE BLAIREAU	46
2.3.3 VARIATION TEMPORELLE DE LA DENSITE DE LOUTRE APRES UNE PERTURBATION	49
<b>2.4 IMPACT DES PRELEVEMENTS SUR LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS</b>	<b>50</b>
2.4.1 EFFETS DU PIEGEAGE SUR LES PARAMETRES DE SURVIE CHEZ LA MARTRE ET LA FOUINE	51
2.4.2 EFFICIENCE DES PRELEVEMENTS POUR CONTROLER LES POPULATIONS DE RENARDS	52
2.4.3 UNE PARENTHESE AUX CARNIVORES : IMPACT DE LA CHASSE SUR LA PATERNITE MULTIPLE CHEZ LE SANGLIER	53
<b>2.5 UTILISATION ET SELECTION DE L'HABITAT COMPARATIVE POUR MIEUX COMPRENDRE LA COEXISTENCE D'ESPECES SYNTOPIQUES</b>	<b>55</b>
2.5.1 UTILISATION D'HABITAT COMPAREE CHEZ LA MARTRE ET LA FOUINE	55
2.5.2 SELECTION D'HABITAT COMPAREE CHEZ LA MARTRE ET LA FOUINE	57

<b>2.6 GENETIQUE DES POPULATIONS, GENETIQUE DU PAYSAGE ET GENETIQUE DE LA CONSERVATION</b>	<b>59</b>
2.6.1 STRUCTURATION GENETIQUE CONTEMPORAINE CHEZ DIFFERENTES ESPECES DE MESO-CARNIVORES : L'EXEMPLE DU BLAIREAU ET DU RATON LAVEUR	60
2.6.2 GENETIQUE DU PAYSAGE CHEZ LA MARTRE, LA FOUINE ET LE CHAT SAUVAGE EUROPEEN ... ET UNE PARENTHESE CHEZ LE MOUFLON.	64
2.6.3 GENETIQUE DE LA CONSERVATION : TAILLE EFFICACE $N_E$ ET RAPPORT $N_E/N$	67
<b>2.7 PROJETS A COURT TERME</b>	<b>69</b>
2.7.1 VERS UNE MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE POPULATIONS DE LA MARTRE ET DE LA FOUINE EN ENVIRONNEMENT SPATIALEMENT VARIABLE	69
2.7.2 VERS UNE MODELISATION DE L'EXPANSION PASSEE ET FUTURE DES ESPECES INVASIVES	70
2.7.3 TESTER DES LOIS ECOLOGIQUES SUR LES FELIDES EN UTILISANT LES DONNEES DE PIEGEAGE PHOTOGRAPHIQUE	71
<b>2.8 PROJETS A PLUS LONG TERME</b>	<b>73</b>
<b>3 CONCLUSION</b>	<b>75</b>

---

Ce n'est pas le chemin qui est difficile mais le difficile qui est le chemin

Sören Kierkegaard (1813-1855)

## Profatio

Seize heure quarante-cinq le vendredi 30 Janvier 2004. Amphithéâtre du CNRS. Fin de soutenance de thèse. Tout le monde a l'air content, le jury, les collègues, les amis, la famille. Ils le seront encore un peu plus pendant le pot. Remerciements, félicitations, je suis le roi du monde cette après-midi-là, exquise sensation que cet oubli éphémère des doutes, porté par une douce euphorie. Si cela n'arrive pas un tel jour, il ne faut plus l'attendre. La dernière fois, c'était le lendemain de l'obtention de la bourse de thèse, que cela avait été dur de revenir après l'armée, 10 mois suffisent pour tout oublier, pour perdre le goût du travail et des efforts. Malgré tout, malgré moi, je suis allé au bout, le monde est à moi. J'arrive. Tout est écrit, déjà, dans ma thèse « *Et maintenant, que vais-je faire, de tout ce temps? Que sera ma vie ?* ».

Jeudi 1er Décembre 2005, vers 8 heures. Retour au laboratoire. Seize mois sans y avoir mis la tête, ni dans celui-là, ni dans un autre. Lucidité est de constater que tout ne s'est pas déroulé comme prévu. Force est de constater que je ne sais plus rien faire. Merci Dominique d'être venu me chercher là. Là où j'étais après des déconvenues. Post-doc chez Tim Clutton-Brock, pas le dossier. Post-doc chez Leah Gerber, pas le feeling, no hablo español, poor English. Post-doc au Max Planck à Rostock, pas mal mais il y a eu meilleur. Enfin, un post-Doc chez Bettine Jansen van Vuuren, l'Afrique du Sud, et puis finalement non, l'argent n'est pas attribué. Février 2005, plus de projet, en congé parental puis au chômage. Que faire ? Mon doux rêve d'auberge pourrait prendre forme ... une auberge bio, scientifique, manger en s'instruisant. Mon concept. Personne ne me prête, pas d'expérience dans la restauration qu'ils disent. Ce qu'il reste, ma fille, c'est beau un enfant qui grandit, avec un peu d'argent, c'est encore mieux. Seulement alimentaire mon retour au labo, pour six mois, je ne suis plus naïf, je n'en attends rien. Lucidité est de constater que tout ne s'est pas déroulé comme prévu.

Et puis, tout ne se passe pas comme prévu, encore. Je reprends goût. Goût à chercher, à essayer, essai-erreur, hypothèse-déduction. C'est beau un cerveau qui fonctionne, un peu moins la nuit c'est encore mieux. On me dit que c'est intéressant, on me dit que j'ai de la valeur, que cela aurait été dommage d'arrêter. Je finis par le croire. Alors de R en publications, un post-doc ... Jean-Michel, Jean-Dominique, merci. Pour attendre. Attendre quoi. Un concours de maître de conférence, à l'IUT de Génie Biologique. Concours veut dire

compétition, tant d'années après je ne pense pas qu'il y ait eu une quelconque compétition. Candidat local. Pistonné et lobbyistes. Une formalité. Premier Septembre 2007, prise de poste. Associate professor, poste en or. Jamais assumé le recrutement, l'aies-je volé ?

Douze années ont passé. 2019, HDR. Habilitation à diriger les recherches, pourquoi ? Trois inscriptions déjà, deux dérogations d'encadrement de thèse sans HDR. Alors si j'écoute bien, HDR signifie, dans l'ordre, possibilité à encadrer officiellement un étudiant en doctorat (cela se défend mais j'ai fait sans jusqu'à maintenant), plus d'argent pour l'équipe de recherche (cela se défend aussi), possibilité d'accéder au statut de professeur d'université (pour le salaire c'est bien mais autour de moi, la course à l'étiquette), plus de bourses doctorales à l'école doctorale d'appartenance (peut être un jour) et parfois, le moment pour faire un point sur ses recherches et ses projets (c'est intéressant). Et puis cela arrive, une chance d'avoir un poste de professeur ... une récompense pour mon travail, mon investissement dans l'enseignement, la recherche. Est-ce que je me trahi à envisager l'idée d'y aller ? C'est mon débat interne. Alors je ne suis pas sûr de savoir pourquoi mais la voilà.

# 1 *Curriculum vitae*

## 1.1 Identité et Affiliation

**Sébastien DEVILLARD**, né le 1er Septembre 1974

**Maitre de conférences hors classe depuis le 1<sup>er</sup> Septembre 2019**

Université Claude Bernard Lyon 1 - Institut Universitaire de Technologie de Lyon

UMR CNRS 5558 Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive (Directeur: Manolo GOUY puis Fabrice VAVRE (2020))

Département d'Ecologie Evolutive (Responsable: Dominique ALLAINE puis Stéphane DRAY (2020))

Equipe Ecologie et Evolution des Populations (Responsable: Pascale CHEVRET)

## 1.2 Grades et titres universitaires

- Thèse de doctorat "Importance des échelles spatio-temporelles dans la variabilité et l'évolution de la dispersion chez les mammifères. Les multiples visages du chat domestique (*Felis catus* L.)" soutenue publiquement le 30 Janvier 2004, Université Claude Bernard Lyon 1. Jury: M. RAYMOND (rap.), J. CLOBERT (rap.), N. PERRIN (exam.), R. PRADEL (exam.), J.M. LEGAY (invité), D. PONTIER (dir.), D. ALLAINE (dir.). Mention très honorable avec les félicitations du jury.
- DEA "Analyse et modélisation des systèmes biologiques" 1999-2000 (mention B)
- Maîtrise de Biologie des populations et des écosystèmes" 1997-1998 (mention AB)
- Licence de Biologie des populations 1996-1997 (mention B)
- DEUG de sciences de la vie et de la terre 1994-1996 (mention B)

### 1.3 Fonctions professionnelles

- Maître de conférences classe normale depuis le 1er Septembre 2008 au département de Génie Biologie de l'Institut Universitaire de Technologie de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1
- Stagiaire Maître de conférences du 1er Septembre 2007 au 31 Août 2008
- ATER (demi-poste) à l'Université Claude Bernard Lyon1 (UMR CNRS 5558) du 1er Octobre 2003 au 31 août 2004
- Allocataire-Moniteur à l'Université Claude Bernard Lyon1 (UMR CNRS 5558) du 1er Octobre 2000 au 30 Septembre 2003

### 1.4 Publications et communications

#### 1.4.1 Publications dans les revues internationales avec comité de lecture (souligné : étudiants encadrés)

- 56- Millon A, Lambin X, **Devillard S**, Schaub M Quantifying the contribution of immigration to population dynamics: a review of methods, evidences and perspectives in birds and mammals. *Biological Review*, Sous Presse. **IF: 10.288**
- 55- Anile S, **Devillard S**, Ragni B, Rovero F, Mattucci F, Lo Valvo M (2019) Habitat fragmentation and anthropogenic factors affect wildcat (*Felis silvestris silvestris*) occupancy and detectability on Mt. Etna, *Wildlife Biology*, Sous Presse. **IF :2.081**
- 54- Conde DA, Staerk J, Colchero F, Da Silva R, Schöley J, Baden HM, Jouvét L, Fa JE, Syed H, Jongejans E, Meiri S, Gaillard JM, Chamberlain S, Wilcken J, Jones OR, Dahlgren JP, Steiner UK, Bland M, Gomez-Mestre I, Lebreton JD, Gonzalez Vargas J, Flesness N, Canudos-Romo V, Salguero-Gomez R, Byers O, Bjorneboe Berg T, Scheuerlein A, **Devillard S**, Schigel DS, Ryder OA, Possingham HP, Baudisch A, Vaupel JW (2019) Data gaps and opportunities for comparative and conservation biology, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 116 pp. 9658-9664. **IF: 9.504**

- 53- Portanier E, Garel M, **Devillard S**, Maillard D, Poissant J, Galan M, Benabed S, Poirel M-T, Duhayer J, Itty C, Bourgoïn G (2019) Both candidate gene and neutral genetic diversity correlate with parasite resistance in female Mediterranean mouflon, BMC Ecology, vol. 19 pp. 12. **IF 2.315**
- 52- Pomares C, **Devillard S**, Holmes TH, Olariu TR, Press CJ, Ramirez R, Talucod J, Estran R, Su C, Dubey JP, Ajzenberg D, Montoya JG (2018) Genetic characterization of *Toxoplasma gondii* DNA samples isolated from humans living in North America: an unexpected high prevalence of atypical genotypes, The Journal of Infectious Disease, vol. 218 pp. 1783–1791. **IF 5.186**
- 51- Larroque J, Ruelle S, Vandel JM, **Devillard S** (2018) Home-range size and fidelity of two sympatric *Martes* species, Canadian journal of Zoology, vol. 96 pp. 1272-1277. **IF 1.184**
- 50- Anile S, Bizzarri L, Lacrimini M, Sforzi A, Ragni B, **Devillard S** (2018) Home-range size of the European wildcat (*Felis silvestris silvestris*): a report from two areas in Central Italy, Mammalia, vol. 82 pp.1-11. **IF 0.714**
- 49- Anile S, **Devillard S** (2018) Camera-trapping provides insights into adult sex ratio variability in felids, Mammal Review, vol. 48 pp.168-179. **IF 4.25**
- 48- Beugin MP, Gayet T, Pontier D, **Devillard S**, Jombart T (2018) A fast likelihood solution to the genetic clustering problem, Methods in Ecology and Evolution, vol. 9 pp.1006-1016. **IF 6.36**
- 47- Gamelon M, Gayet T, Baubet E, **Devillard S**, Say L, Brandt S, Pélabon C, Sæther BE (2018) Does multiple paternity explain phenotypic variation among offspring in wild boar?, Behavioral Ecology, vol. 29 pp.904-909. **IF 3.347**
- 46- Portanier E, Larroque J, Garel M, Marchand P, Maillard D, Bourgoïn G, **Devillard S** (2018) Landscape genetics matches with behavioral ecology and brings new insight on the functional connectivity in Mediterranean mouflon, Landscape Ecology, vol. 33 pp.1069-1085. **IF 3.833**
- 45- Bertranpetit E, Jombart T, Paradis E, Pena H, Dubey J, Su C, Mercier A, **Devillard S\***, Ajzenberg D (2017) Phylogeography of *Toxoplasma gondii* points to a South American origin, Infection genetics and evolution, vol. 48 pp.150-155. **\*Co-dernier auteur. IF 2.545**

- 44- Larroque J, Ruelle S, Vandel JM, **Devillard S** (2017) Level- and scale-dependent habitat selection for resting sites by two syntopic *Martes* species, *Journal of Mammalogy*, vol. 98 pp.1709-1720. **IF 2.139**
- 43- Lieury N, **Devillard S**, Besnard A, Gimenez O, Hameau O, Ponchon C, Millon A (2017) Designing cost-effective capture-recapture surveys for improving the monitoring of survival in bird populations, *Biological Conservation*, vol. 214 pp.233-241. **IF 4.660**
- 42- Lieury N, Drouet-Hoguet N, Ruelle S, **Devillard S**, Albaret M, Millon A (2017) Rural populations of the red fox *Vulpes vulpes* show little evidence of reproductive senescence, *Mammalian Biology*, vol. 87 pp.146-151. **IF 1.443**
- 41- Portanier E, Garel M, **Devillard S\***, Marchand P, Andru J, Maillard D, Bourgoïn G (2017) Introduction history overrides social factors in explaining genetic structure of females in Mediterranean mouflon, *Ecology and Evolution*, vol. 7 pp.9580-9591. **\*Co-second auteur. IF 2.3**
- 40- Anile S, **Devillard S** (2016) Study design and body mass influence RAIs from camera trap studies: evidence from the *Felidae*, *Animal Conservation*, vol. 19 pp.35-45. **IF 2.889**
- 39- Gayet T, **Devillard S**, Gamelon M, Brandt S, Say L, Baubet E (2016) On the evolutionary consequences of increasing litter size with multiple paternity in wild boar (*Sus scrofa scrofa*), *Evolution*, vol. 70 pp.1386-97. **IF 3.818**
- 38- Larroque J, Ruelle S, Vandel JM, Queney G, **Devillard S** (2016) Age and sex-dependent effects of landscape cover and trapping on the spatial genetic structure of the stone marten (*Martes foina*), *Conservation Genetics*, vol. 17 pp.1293-1306. **IF 2.025**
- 37- Rutledge LY, **Devillard S**, Hohenlohe PA, White BN (2016) Considering all the evidence: a reply to Sefc and Koblmüller (2016), *Biology Letters*, vol. 12, pp.20151009. **IF 3.345**
- 36- Larroque J, Ruelle S, Vandel JM, **Devillard S** (2016) Divergent landscape effects on genetic differentiation in two populations of the European pine marten (*Martes martes*), *Landscape Ecology*, vol. 31 pp.517-531. **IF 3.833**
- 35- Bouchiat C, Moreau K, **Devillard S**, Rasigade J P, Mosnier A, Geissmann T, Bes M, Tristan A, Lina G, Laurent F, Piroth L, Aissa N, Duval X, Le Moing V, Vandenesch F (2015) *Staphylococcus aureus* infective endocarditis versus bacteremia strains: Subtle

- genetic differences at stake, *Infection genetics and evolution*, vol. 36 pp.524-30. **IF 2.545**
- 34- Ajzenberg D, Collinet F, Aubert D, Villena I, Darde ML, **Devillard S** (2015) The rural-urban effect on spatial genetic structure of type II *Toxoplasma gondii* strains involved in human congenital toxoplasmosis France 2002-2009, *Infection genetics and evolution*, vol. 36 pp.511-516. **IF 2.545**
- 33- Larroque J, Ruette S, Vandel JM, **Devillard S** (2015) “False heat ” big testes and the onset of natal dispersal in European pine Martens (*Martes martes*), *European Journal of Wildlife Research*, vol. 61 pp.333-337. **IF 1.453**
- 32- Larroque J, Ruette S, Vandel JM, **Devillard S** (2015) Where to sleep in a rural landscape? A comparative study of resting sites pattern in two syntopic *Martes* species, *Ecography*, vol. 38 pp.1129-1140. **IF 4.52**
- 31- Lieury N, Ruette S, **Devillard S\***, Albaret M, Drouyer F, Baudoux B, Millon A (2015) Compensatory immigration challenges predator control: An experimental evidence-based approach improves management, *Journal of Wildlife Management*, vol. 79 pp.425-434. **\*Co-second auteur. IF 2.055**
- 30- Ruette S, Larroque J, Albaret M, Vandel JM, **Devillard S** (2015) Quantifying the age- and sex-dependent morphological variation in two syntopic mustelids: *Martes martes* and *Martes foina*, *Mammalian Biology*, vol. 80 pp.414-423. **IF 1.443**
- 29- Ruette S, Vandel J M, Albaret M, **Devillard S** (2015) Comparative survival pattern of the syntopic pine and stone martens in a trapped rural area in France, *Journal of Zoology*, vol. 295 pp.214-222. **IF 1.955**
- 28- Rutledge LY, **Devillard S**, Boone JQ, Hohenlohe PA, White BN (2015) RAD sequencing and genomic simulations resolve hybrid origins within North American *Canis*, *Biology Letters*, vol. 11 pp.20150303. **IF 3.345**
- 27- **Devillard S**, Jombart T, Léger F, Pontier D, Say L, Ruette S (2014) How reliable are morphological and anatomical characters to distinguish European wildcats domestic cats and their hybrids in France?, *Journal of zoological systematics and evolutionary research*, vol. 52 pp.154-162. **IF 3.286**
- 26- Afonso E, Germain E, Poulle ML, Ruette S, **Devillard S**, Say L, Villena I, Aubert D, Gilot-Fromont E (2013) Environmental determinants of spatial and temporal variations

- in the transmission of *Toxoplasma gondii* in its definitive hosts, International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife, vol. 2 pp.278-285. **IF 2.777**
- 25- Gamelon M, Gaillard JM, Baubet E, **Devillard S**, Say L, Brandt S, Gimenez O (2013) The relationship between phenotypic variation among offspring and mother body mass in wild boar: evidence of coin-flipping?, Journal of Animal Ecology, vol. 82 pp.937-945. **IF 4.46**
- 24- Lebreton J D, **Devillard S**, Popy S, Desprez M, Besnard A, Gaillard JM (2012) Towards a vertebrate demographic data bank, Journal of Ornithology, vol. 152 pp.S617-S624. **IF 1.954**
- 23- Mergey M, Larroque J, Ruelle S, Vandell JM, Helder R, Queney G, **Devillard S** (2012) Linking habitat characteristics with genetic diversity of the European pine marten (*Martes martes*) in France, European Journal of Wildlife Research, vol. 58 pp.909-922. **IF 1.453**
- 22- Say L, **Devillard S**, Léger F, Pontier D, Ruelle S (2012) Distribution and spatial genetic structure of European wildcat in France, Animal Conservation, vol. 15 pp.18-27. **IF 2.889**
- 21- **Devillard S**, Santin-Janin H, Say L, Pontier D (2011) Linking genetic diversity and temporal fluctuations in population abundance of the introduced feral cat (*Felis silvestris catus*) on the Kerguelen archipelago, Molecular Ecology, vol. 20 pp.5141-5153. **IF 6.131**
- 20- Mercier A, Ajzenberg D, **Devillard S\***, Demar MP, de Thoisy B, Bonnabau H, Collinet F, Boukhari R, Blanchet D, Simon S, Carne B, Dardé ML (2011) Human impact on genetic diversity of *Toxoplasma gondii* Example of the anthropized environment from French Guiana, Infection Genetics and Evolution, vol. 11 pp.1378-1387. **\*Co-second auteur. IF 2.545**
- 19- Blanchard P, **Devillard S** (2010) On the evolutionary consequences of a Trivers-Willard effect in humans: Further analysis of Dr S. Kanazawa's paper on 'beautiful parents', Journal of Theoretical Biology, vol. 264 pp.1296-1298. **IF 1.833**
- 18- Jombart T, **Devillard S**, Balloux F (2010) Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations, BMC Genetics, vol. 11(94) pp.1-15. **IF 2.469**

- 17- Jombart T, Pavoine S, **Devillard S**, Pontier D (2010) Putting phylogeny into the analysis of biological traits: A methodological approach, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 264 pp.693-701. **IF 1.833**
- 16- Mercier A, **Devillard S**, Ngoubangoye B, Bonnabau H, Banuls AL, Durand P, Salle B, Ajzenberg D, Dardé ML (2010) Additional haplogroups of *Toxoplasma gondii* out of Africa: Population structure and Mouse-Virulence of strains from Gabon, *PLoS neglected tropical diseases*, vol. 4(11) pp.e876-e876. **IF 4.367**
- 15- **Devillard S**, Bray Y (2009) Assessing the effect on survival of natal dispersal using multistate capture-recapture models, *Ecology*, vol. 90(10) pp.2902-2912. **IF 4.617**
- 14- **Devillard S**, Jombart T, Pontier D (2009) Revealing cryptic genetic structuring in an urban population of stray cats (*Felis silvestris catus*), *Mammalian Biology*, vol. 74 pp.59-71. **IF 1.443**
- 13- Kaeuffer R, Bonenfant C, Chapuis J-L, **Devillard S** (2009) Dynamics of an introduced population of mouflon *Ovis aries* on the sub-Antarctic archipelago of Kerguelen, *Ecography*, vol. 33 pp.435-442. **IF 4.52**
- 12- O'Brien J, **Devillard S**, Say L, Vanthomme H, Léger F, Ruelle S, Pontier D (2009) Preserving genetic integrity in a hybridising world: are European Wildcats (*Felis silvestris silvestris*) in eastern France distinct from sympatric feral domestic cats?, *Biodiversity and Conservation*, vol. 18 pp.2351-2360. **IF 2.828**
- 11- **Devillard S**, Aubineau J, Berger F, Léonard Y, Roobrouck A, Marchandeu S (2008) Home range of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in three contrasting French populations, *Mammalian Biology*, vol. 73 pp.128-137. **IF 1.443**
- 10- Guitton J-S, **Devillard S**, Guénézan M, Fouchet D, Pontier D, Marchandeu S (2008) Vaccination of free-living juvenile wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) against myxomatosis improved their survival, *Preventive veterinary medicine*, vol. 84 pp.1-10. **IF 1.924**
- 9- Jombart T, **Devillard S**, Dufour A-B, Pontier D (2008) Revealing cryptic spatial patterns in genetic variability by a new multivariate method, *Heredity*, vol. 101 pp.92-103. **IF 3.872**
- 8- Bray Y, **Devillard S**, Marboutin E, Mauvy B, Péroux R (2007) Natal dispersal of European hare in France, *Journal of Zoology*, vol. 273 pp.426-434. **IF 1.955**

- 7- Gaillard J-M, Yoccoz NG, Lebreton J-D, Bonenfant C, **Devillard S**, Loison A, Pontier D, Allainé D (2005) Generation time: a reliable metric to measure life-history variation among mammalian populations, *The American Naturalist*, vol. 166 pp.119-123. **IF 4.265**
- 6- Pontier D, Say L, **Devillard S**, Bonhomme F (2005) Genetic structure of the feral cat (*Felis catus L.*) introduced 50 years ago to a sub-Antarctic island, *Polar Biology*, vol. 28 pp.268-275. **IF 1.954**
- 5- **Devillard S**, Allainé D, Gaillard J-M, Pontier D (2004) Does social complexity lead to sex-biased dispersal in polygynous mammals ? A test on ground-dwelling sciurids., *Behavioral Ecology*, vol. 15 pp.83-87. **IF 3.347**
- 4- **Devillard S**, Say L, Pontier D (2004) Molecular and behavioural analyses reveal male-biased dispersal between social groups of domestic cats, *Ecoscience*, vol. 11 pp.175-180. **IF 0.696**
- 3- Kaeuffer R, Pontier D, **Devillard S**, Perrin N (2004) Effective size of two feral domestic cat populations (*Felis catus L.*): effect of the mating system, *Molecular Ecology*, vol. 13 pp.483-490. **IF 6.131**
- 2- **Devillard S**, Say L, Pontier D (2003) Dispersal pattern of domestic cats (*Felis catus*) in a promiscuous urban population: do females disperse or die?, *Journal of Animal Ecology*, vol. 72 pp.203-211. **IF 4.46**
- 1- Say L, **Devillard S**, Natoli E, Pontier D (2002) The mating system of feral cats (*Felis catus L.*) in a sub-Antarctic environment, *Polar Biology*, vol. 25 pp.838-842. **IF 1.954**

#### 1.4.2 Articles dans revues nationales à comité de lecture

- 4- Lieury N, 1, Ruelle S, Albaret M, Drouyer F, Baudous B, Letty J, Urbaniac C, **Devillard S\***, Million A (2016) Les prélèvements de renards limitent-ils leur densité? La compensation par immigration, un concept-clé pour comprendre l'impact des prélèvements sur les populations de renards, *Faune Sauvage*, vol. 310 pp. 10-16 . **\*co-dernier auteur**

- 3- Ruelle S, Lieury N, Albaret M, Arnauduc J-P, **Devillard S** (2015) Evolution des populations de renards en France. Analyse des suivis réalisés par comptages nocturnes (2004-2013), Faune Sauvage, vol. 305 pp. 37-42.
- 2- Vandel JM, Hemery A, Larroque J, Ruelle S, Monceret B, **Devillard S** (2015) Quelle est l'influence du bocage sur les méso-carnivores en région d'élevage avicole de plein air ? Faune Sauvage, vol. 308 pp. 31-34.
- 1- Ruelle S, Germain E, Leger F, Say L, **Devillard S** (2011) Identification du chat Forestier en France : apport de la génétique pour détecter les "hybrides ". Faune Sauvage, 292, 10-16.

### 1.4.3 Chapitres d'ouvrages

- 1- Gaillard JM, Lemaître JF, Berger V, Bonenfant C, **Devillard S**, Douhard M, Gamelon M, Plard F, Lebreton JD (2016) Life Histories, Axes of Variation in. Dans: The Encyclopedia of Evolutionary Biology, , pp.312-323.

### 1.4.4 Articles soumis ou en préparation avancée (soumission dans les 6 mois)

- Jacquier M, Simon L, Ruelle S, Vandel JM, Hémery A, **Devillard S** Isotopic evidence of individual specialisation toward free-ranging chickens in a rural population of red foxes. En révision majeure à European Journal of Wildlife Research.
- Jacquier M, Calenge C, Say L, **Devillard S\***, Ruelle S Altitude shapes the environmental drivers of large-scale variation in abundance of a widespread mammal species. En revision mineure à Ecology and Evolution. **\*Co-dernier auteur.**
- Jacquier M, Vandel JM, Albaret M, Léger F, Duhayer J, Pardonnet S, Queney G, Say L, Ruelle S, **Devillard S** Population genetic structures at multiple spatial scales: importance of social groups in European badgers. Soumis à Journal of Mammalogy.
- Gayet T, Say L, Baubet E, **Devillard S** SNPs or Microsatellites? Assessing the reliability of different molecular markers to the study of hybridization between domestig pig and wild boar (*Sus Scrofa*). Soumis à Mammalian Biology.

- Portanier E, Garel M, **Devillard S**, Maillard D, Henry H, Régis C, Duhayer J, Itty C, Bourgoïn G Does host socio-spatial behavior lead to fine-scale spatial genetic structure of the gastro-intestinal nematode *Haemonchus contortus*? Soumis à Parasites.
- **Devillard S**, Joly C, Belot JA, Privat G, Guibbert P, Lapeyre G, Augé P, Queney G, Ruelle S, Steinmetz J The ratio  $Ne/N$  shows that a European otter (*Lutra lutra*) population is not affected by recent lock buildings along a 50-km long stretch. A soumettre à Mammalian Biology.
- Ruelle S, Albaret M, **Devillard S** New ecological insights on the reproduction of two syntopic species in a rural region of France: the stone marten (*Martes foina*) and the pine marten (*Martes martes*). A soumettre à Mammalian Biology.
- Jacquier M, Vandiel JM, Albaret M, Léger F, Duhayer J, Pardonnet S, Say L, **Devillard S\***, Ruelle S Investigating the spatial variation of density in a set of contrasted populations of European badger (*Meles meles*): the relative role of sett density and social group size. En préparation. **\*Co-dernier auteur.**
- **Devillard S**, Anile S Threatened Felid species have lower relative density than unthreatened ones. En préparation.
- Anile S, **Devillard S** Bigger is less variable: support for the variance-mass allometry from camera-trapping based estimates of population density in felids. En preparation.
- Ajzenberg D, **Devillard S** Effect of prenatal treatment and *T. gondi* genotypes on congenital toxoplasmosis severity. En préparation.
- Gayet T, **Devillard S**, Say L, Baubet E Characterization of mating system in five wild boar populations subject to varying hunting pressure. En préparation.
- Gayet T, **Devillard S**, Say L, Baubet E High hunting pressure promotes multiple paternity in wildboar (*Sus scrofa*) population. En preparation.
- Portanier E, Ruelle S, Léger F, **Devillard S** The landscape genetics of wildcat (*Felis silvestris silvestris*) in France. En préparation.
- Portanier E, Gélïn P, Chevret P, Bourgoïn G, Maillard D, Sanchis F, Benedetti P, Barnabera P, **Devillard S\***, Garel M Revealing the origin of Corsican mouflon (*Ovis gmelini musimon var. corsicana*) populations using a mitochondrial DNA based phylogeographic approach. En préparation. **\*Co-dernier auteur.**

#### 1.4.5 Liste des communications orales et posters (souligné : orateur, gras : présence au colloque)

- 23- Jacquier M, **Devillard S**, Calenge C, Vandiel JM, Albaret M, Léger F, Say L, Ruelle S (2017) Evaluating spatial variations in abundance and social organisation of badger populations in France – Preliminary results. 32th European Mustelids Colloquium, Lyon, France, Novembre 2017.
- 22- Portanier E, Larroque J, Garel M, Marchand P, Maillard D, Bourgoïn G, Devillard S. Sex-specific impacts of landscape on gene flow in Mediterranean mouflon (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.). Août 2017, 33rd IUGB Congress – 14th Perdix Congress, Montpellier, France.
- 21- Larroque J, Ruelle S, Vandiel JM, Devillard S (2017) Scale-dependent habitat selection for resting sites by two syntopic *Martes* species. US-IALE Annual Meeting, Avril 2018, Chicago (USA).
- 20- Larroque J, Ruelle S, Vandiel JM, Devillard S Divergent landscape effects on genetic differentiation in two populations of the European pine marten (*Martes martes*). QCBS Symposium, Décembre 2017, Montreal (Canada).
- 19- Portanier E, Garel M, Devillard S, Marchand P, Andru J, Maillard D, Bourgoïn G Is genetic structure under the influence of social structure or past introduction in a Mediterranean mouflon population? Août 2016, 6th World congress on mountain ungulates – 5th International symposium on mouflon, Nicosia, Republic of Cyprus.
- 18- Gayet T, Devillard S, Say L, Baubet E. Investigating factors affecting multiple paternity rates in wild boar: an inter-population approach. 11<sup>th</sup> International Symposium on wild boar and other suids. Mersch, Luxembourg, 5-7 Septembre 2016.
- 17- Gayet T, Devillard S, Gamelon M, Brandt S, Say L & Baubet E. – On the evolutionary consequences of increasing litter size with multiple paternity in wild boar – *Séminaire de laboratoire du Centre for Biodiversity Dynamics* – NTNU, Trondheim, Norway – 23 August 2016
- 16- Larroque J, Ruelle S, Vandiel JM, Devillard S Divergent landscape effects on genetic

- differentiation in two populations of the European pine marten (*Martes martes*). Ecology and Behaviour, Juin 2016, Lyon (France).
- 15- Gayet T, Devillard S, Gamelon M, Brandt S, Say L, Baubet E. Relation entre taille de portée et multipaternité : comment étudier la relation en écologie moléculaire ? 1<sup>ères</sup> journées du GDR Ecologie Statistique, Lyon, France, Mars 2015
  - 14- Larroque J, Ruelle S, Vandel JM, Devillard S Comparative studies of landscape effects on genetic differentiation in two sympatric species: the European pine marten (*Martes martes*) and the stone marten (*Martes foina*). Ecology and Behaviour, Mai 2015, Toulouse (France).
  - 13- Larroque J, Ruelle S, Vandel J-M, **Devillard S** (2014) Where to sleep in a rural landscape ? A comparative study of resting sites pattern in two syntopic *Martes* species. Poster, 6ème Symposium International sur le genre *Martes*, Cracovie, Pologne, 21-24 Juillet 2014.
  - 12- **Devillard S**, Albaret M, Vandel J-M, Larroque J, Ruelle S (2014) Comparative morphological, survival and reproductive patterns of two sympatric species : the European pine marten (*Martes martes*) and the stone marten (*Martes foina*). Communication Orale, 6ème Symposium International sur le genre *Martes*, Cracovie, Pologne, 21-24 Juillet 2014.
  - 11- Ruelle S, **Devillard S**, Albaret M, Dolhem J, Payne A (2013) Estimating population density of badgers (*Meles meles*) at a large scale : a pilot study in three areas in France. Poster, 31ème colloque Européen sur les Mustélidés, Szczecin, Pologne, 25-26 Octobre 2013.
  - 10- Hemery A, Trescol M, Vandel JM, **Devillard S**, Ruelle S (2013) Comparison between hair, camera, footprint traps and faeces survey to detect mustelids species in a French rural habitat : some preliminary results. Poster, 31ème colloque Européen sur les Mustélidés, Szczecin, Pologne, 25-26 Octobre 2013.
  - 9- Lieury N, Ruelle S, **Devillard S**, Millon A (2013) How to measure and predict the culling impact on red fox population dynamics? Communication orale : 31ème congrès de l'IUGB, Bruxelles, Belgique, 27-29 août 2013.
  - 8- **Devillard S**, Larroque J, Queney G, Vandel J-M, Basto MP, Ruelle S (2012) On the French-Portuguese quest of variable, regional and specific microsatellite markers for the

- Stone marten. Poster, 30ème colloque Européen sur les Mustélinés, Dublin, Irlande, 1-2 Novembre 2012.
- 7- Ruette S, Vandel JM, Albaret M, **Devillard S** (2012 ) Age determination of the pine marten (*Martes martes*) and the stone marten (*Martes foina*) : a non-invasive method. Poster, 30ème colloque européen sur les Mustélinés, Dublin, Irlande, 1-2 Novembre 2012.
- 6- Larroque J, Ruette S, Vandel JM, **Devillard S** (2012) Pine marten and stone marten personality: spatial behavior and home range in a fragmented rural landscape. Communication orale, 30ème colloque Européen sur les Mustélinés, Dublin, Irlande, 1-2 Novembre 2012.
- 5- Guillon JS, Avril A, Letty J, Santin-Janin H, Bray Y, **Devillard S** (2011) Natal dispersal in European hare (*Lepus europaeus*). Communication orale, 6ème congrès Européen de Mammalogie, Paris, France, 19-23 Juillet 2011.
- 4- Letty J, Avril A, Bray Y, **Devillard S**, Pontier D (2011) Natal dispersal behaviour in European hare (*Lepus europaeus*). Communication orale : 30ème congrès de l'IUGB XIII, Barcelone, Espagne, 5-9 Septembre 2011.
- 3- **Devillard S**, Mergey M, Larroque J, Vandel JM, Helder R, Queney G, Ruette S (2011) Linking habitat characteristics with genetic diversity of the European pine marten (*Martes martes*) in France. Poster, 29ème colloque Européen sur les Mustélinés, Southampton, RU, 3-4 Décembre 2011.
- 2- Larroque J, Ruette S, Vandel JM, **Devillard S** (2011) No impact of fragmentation on genetic structure of European pine martens (*Martes martes*) in a rural landscape : a hidden connectivity? Communication orale, 29ème colloque Européen sur les Mustélinés, Southampton, RU, 3-4 Décembre 2011.
- 1- Ruette S, Vandel JM, Albaret M, **Devillard S** (2011) Survival of stone martens (*Martes foina*) and pine martens (*Martes martes*) in a trapped population in the same rural area, the Bresse region, France. Communication orale, 29ème colloque Européen sur les Mustélinés, Southampton, RU, 3-4 Décembre 2011.

## 1.5 Encadrement doctoral et scientifique

### 1.5.1 Encadrement de stagiaires de DUT

Au cours de mes activités d'enseignement, je suis amené à encadrer chaque année des binômes ou des trinômes d'étudiants sur leur projet tutoré d'élevage. Brièvement cela consiste pour eux à élever des animaux en conditions contrôlés, les faire se reproduire et planifier une expérimentation. Les espèces élevées par les étudiants que je suivais ont été par exemple les souris, les rats, les gammars, les limnées, les vers de terre ou encore des insectes ravageurs ou auxiliaires des cultures. Les problématiques de leur expérimentation sont la plupart d'ordre agronomique mais certains étudiants penchent vers des thématiques plus écologiques (écotoxicologie, biologie du comportement ...etc). Mon travail consiste à m'approprier la problématique de mes étudiants et à les aider à concevoir et mettre en place leur expérimentation, et bien sûr, à analyser leurs données. J'encadre méthodologiquement également l'ensemble des étudiants de 2<sup>ème</sup> année agronomie durant leur stage de fin d'étude afin de leur permettre de mieux concevoir, planifier et analyser leur problématique de stage. Ces échanges très riches scientifiquement m'ont permis de considérablement enrichir ma culture agronomique au fil des années, moi qui ne venais pas d'un parcours agronomique.

### 1.5.2 Encadrement de stagiaires de L3 et de M1

- **G. Testud**, Variabilité spatiale du taux d'hybridation entre le chat domestique errant *Felis silvestris catus* et le chat sauvage Européen *Felis silvestris silvestris*, M1 Écosciences, Microbiologie, Université Claude Bernard Lyon1, 2012/2013.
- **S. Marechal**, Paternité multiple et variabilité de la pression de chasse chez le sanglier *Sus scrofa*: une approche comparative sur quatre populations naturelles, M1 Écosciences, Microbiologie, Université Claude Bernard Lyon1, 2012-2013. Co- direction avec le Pr L. Say.
- **B. Schemla**, Sexage moléculaire et déterminisme de la sex-ratio chez le sanglier *Sus scrofa*, M1 Écosciences, Microbiologie, Université Claude Bernard Lyon1, 2012/2013. Co-direction avec le Pr L. Say.

- **J. Seigle-Ferrand**, Dynamique des populations de la martre *Martes martes* et de la fouine *Martes foina*, L3 Biologie des organismes et des populations, Université Claude Bernard Lyon1, 2014/2015.
- **J-A Belot**, Estimation de la taille de population d'une population de loutre *Lutra lutra* par des méthodes non-invasives, M1 Biodiversité Ecologie Evolution, Université Claude Bernard Lyon1, 2016/2017.
- **M. Namèche**, Utilisation de *snapclust*, une nouvelle méthode de détection des hybrides, et comparaison avec les méthodes existantes : une application sur le complexe chat forestier-chat domestique, M1 Biodiversité Ecologie Evolution, Université Claude Bernard Lyon1, 2017/2018.
- **C. Joly**, Estimation de la taille efficace  $N_e$  dans les populations de méso-carnivores en France : comparaison de méthode, M1 Biodiversité Ecologie Evolution, Université Claude Bernard Lyon1, 2018/2019.

Dans le même temps, j'ai été tuteur pédagogique de différents étudiants pour leur stage de M1 Biodiversité Ecologie Evolution. A titre d'exemple je peux citer A. Dréan sur l'estimation de la densité dans les populations de martres réintroduites au Pays de Galle (2017-2018) et L. Laudic sur la co-occurrence d'espèce de méso-carnivores par piégeage photographique en Suède (2018-2019).

### 1.5.3 Encadrement de stagiaires de M2

- **J. Larroque**, mémoire bibliographique "Génétique du paysage : principales méthodes et résultats chez les mammifères" et mémoire technique "Génétique du paysage chez les mustélidés : le cas de la martre Européenne et de la fouine dans les Dombes Bressannes", M2R "Ecosciences-Microbiologie", EEB, Université Claude Bernard Lyon1, 2009/2010.
- **D. Gonzalez**, mémoire bibliographique "Rôle des tactiques de reproduction des mâles dans la variabilité intra-spécifique des systèmes d'appariement chez les mammifères, causes et conséquences" et mémoire technique "Système d'appariement et paternité : conséquences d'une absence de gros mâles reproducteurs sur la dynamique de population : cas d'une population fortement chassée de sangliers *Sus scrofa* ", M2R Ecosciences-Microbiologie, EEB, Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec le Pr L. Say, 2010/2011.

- **B-A Bourrié**, mémoire bibliographique "Menaces anthropiques pesant sur les mammifères semi-aquatiques d'eau douce et les outils de conservation et de gestion utilisés pour préserver ces populations" et mémoire technique "Remise en navigabilité d'une partie du Lot et impact sur les populations de loutres d'Europe (*Lutra lutra*) : étude pilote d'utilisation des méthodes génétiques non-invasives", M2R Ecosciences-Microbiologie, EEB, Université Claude Bernard Lyon1, 2011/2012
- **T. Gayet**, mémoire bibliographique "Hybridation chez les mammifères : causes et conséquences" et mémoire technique "Hybridation entre le sanglier et le cochon : une comparaison de méthodes et de marqueurs moléculaires pour la détection des hybrides", M2R Ecosciences-Microbiologie, EEB, Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec le Pr L. Say, 2013/2014.
- **A. Allibert**, mémoire bibliographique "Conséquences morphologiques de l'hybridation : les hybrides sont-ils la moyenne des populations parentales" et mémoire technique "Hybridation entre le chat forestier et le chat domestique : apport de la morphométrie 2D appliquée au crâne pour la caractérisation et la reconnaissance des hybrides", M2R Ecosciences-Microbiologie, EEB, Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec S. Renaud, 2013/2014.
- **F. Dens**, "Echantillonnage non invasif (pièges à poils/pièges photos) et outil de détection (et de définition) des espèces : application aux chats forestiers en Corse", M2Pro "Bioévaluation des écosystèmes et expertise de la biodiversité", Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec S. Ruelle (ONCFS), 2013/2014
- **M. Jacquier**, mémoire bibliographique "Apports de l'analyse des isotopes stables à l'étude de l'écologie trophique des prédateurs" et mémoire technique "Analyse isotopique de la compétition intragilde chez les méso-carnivores sympatriques et de leur prédation sur le poulet AOC Volaille de Bresse ", M2R Ecosciences- Microbiologie, EEB, Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec L. Simon (LEHNA), 2014/2015.
- **J. Berger**, Diversité génétique, effets fondateurs et origine géographique des populations invasives et en expansion de raton-laveur (*Procyon lotor*) en France, M2 Biodiversité Ecologie Evolution, parcours EEG, Université Claude Bernard Lyon1, co-encadrement avec P. Chevret , 2018/2019.

## 1.5.4 Encadrement doctoral

- **J. Larroque** (2011-2015, financement ONCFS), Same looks, different ecology: ecological and genetic insights on two syntopic mustelids species, the European pine marten (*Martes martes*) and the Stone marten (*Martes foina*); co-direction avec S. Ruetter (ONCFS). Soutenue le 24 Février 2015.
- **N. Lieury** (2012-2015, financement ENS Lyon), Vers une gestion intégrative des populations animales : l'importance d'intégrer l'immigration à la compréhension de leur dynamique et à l'évaluation scientifique des actions de régulation et de conservation, co-direction avec A. Millon (IMBE, université Aix-Marseille) et E. Vidal (IMBE, université Aix-Marseille). Soutenue le 21 Juillet 2015.
- **E. Bertranpetit** (2013-2016, financement Région LIMOUSIN), Sur l'origine de *Toxoplasma Gondii* : approche phylogénétique et spatialement-explicite pour la détermination de l'origine géographique d'un parasite ubiquiste, co-direction avec D. Ajzenberg (Laboratoire de Neuro-épidémiologie tropicale, Université de Limoges). Soutenue le 19 décembre 2016.
- **T. Gayet** (2014-2018, financement ONCFS), Modification of the structure of wild boar populations by hunting and influence on reproductive processes, co-direction avec L. Say (LBBE) et E. Baubet (ONCFS). Soutenue le 13 juillet 2018.
- **E. Portanier** (2015-2018, co-financement ONCFS-VetagroSup), Parasitisme et structuration génétique et spatiale : exemple chez le mouflon méditerranéen, *Ovis gmelini musimon x Ovis sp*, co-direction avec G. Bourgoin (LBBE, VetagroSup) et M. Garel (ONCFS), soutenue le 29 novembre 2018.
- **M. Jacquier** (2016-2019, financement ONCFS), Variations spatiales de l'abondance et de l'organisation sociale des populations de blaireaux en France, co-direction avec L. Say (LBBE) et S. Ruetter (ONCFS), soutenance prévue 2<sup>ème</sup> semestre 2019.

## 1.6 Diffusion et rayonnement

### 1.6.1 Expertise (organismes nationaux ou internationaux)

- Invité à expertiser un projet soumis à l'appel d'offre ANR SYSTERRA (2010)
- Invité à expertiser trois projets (un en 2015, deux en 2016) dans le cadre de l'appel d'offre « FP7-people-COFUND programme 2013-2018 » pour l'université de Liège.

- Invité à expertiser un projet dans le cadre de l'appel à projet CHRYSALIDE de l'université de Franche-Comté.

### 1.6.2 Activités d'arbitre pour les revues internationales à comité de lecture

Depuis mon recrutement, j'ai arbitré des articles pour les revues Acta Theriologica, African Journal of Zoology, Animal Conservation, Animal Welfare, Behavioral Ecology, Biology Letters, BMC Ecology, Ecography, Ecology Letters, Emerging Infectious Diseases, European Journal of Wildlife Research, Folia Zoologica, Heredity, Journal of Animal Ecology, Journal of Applied Ecology, Mammalian Biology, Molecular Ecology, Molecular Ecology Resources, Oecologia, PlosOne, Wildlife Biology, Zoological Studies.

Selon les années, j'arbitre entre 5 et 10 articles par an.

### 1.6.3 Participation jurys de thèse et de HDR

- Thèse de Marion Cordonnier, Impacts des changements globaux sur les invasions biologiques et l'hybridation interspécifique au sein du complexe d'espèces de fourmis *Tetramorium caespitumi*, soutenue le 26 Novembre 2018, Université Claude Bernard Lyon1. **Examineur.**
- Thèse d'Aurélien Mercier, Approche écologique, épidémiologique et génétique de la biodiversité de *Toxoplasma gondii* en zone tropicale humide : exemples du Gabon et de la Guyane Française, soutenue le 23 Octobre 2010, Université de Limoges. **Examineur.**
- Thèse de Béatrice Nussberger, Assessing introgression between European wildcats (*Felis silvestris silvestris*) and domestic cats (*Felis silvestris catus*), soutenue le 16 Septembre 2013, Université de Zurich. **Rapporteur externe étranger.**
- Habilitation à diriger les Recherches de Rémi Choquet, Approches Markoviennes et Semi-Markoviennes appliquées en dynamique des populations ou comment se servir du passé pour expliquer le présent, soutenue le 6 Novembre 2014, Université de Montpellier. **Rapporteur.**

### 1.6.4 Mandats et responsabilités

- Membre du Conseil Scientifique du PNA vison d'Europe depuis 2019
- Membre du conseil scientifique de la Fondation Pierre Vérots depuis 2015: La fondation

Pierre Vérots gère un espace naturel protégé en pleine région des Dombes. Elle y mène et finance des projets de recherche sur la biodiversité Dombiste. Le conseil scientifique a pour rôle d'aiguiller la politique scientifique de la Fondation.

- Membre élu du conseil de l'IUT de Lyon (2012-2014) : évaluation de la politique générale de l'IUT
- Participation au comité de sélection pour le poste MCU obtenu par S. Ibanez en 2013 au laboratoire d'écologie Alpine, Université de Savoie (section CNU 67)
- Participation au comité de sélection pour le poste MCU obtenu par M. Boulesteix en 2009 au département de Génie Biologique de Lyon (section CNU 67)
- Participation au Jury du concours externe BAF-A "Traitement de données biologiques" (Mai 2013, présidente du Jury : A.B. Dufour, LBBE)
- Président de Jury du Baccalauréat, filière STL, 2012, Rectorat de Lyon.

### 1.6.5 Organisation de colloques et de réunions scientifiques

- 32<sup>ème</sup> colloque Européen sur les Mustélidés : j'ai organisé (Président du comité scientifique et d'organisation) le 32<sup>ème</sup> colloque Européen sur l'écologie, la gestion et la conservation des Mustélidés avec mes partenaires, l'ONCFS pour la France et le Vincent Wildlife Trust pour le Royaume-Uni (<https://32mustelidscol.sciencesconf.org>). Ce colloque d'une durée de deux jours s'est tenu du 15 au 17 Novembre 2017 sur le campus de la Doua, Université Claude Bernard Lyon1, Villeurbanne. Il a réuni environ 120 auditeurs de 13 pays Européens (incluant la Russie). Il s'est organisé autour de quatre sessions générales (Conservation des Mustélidés, Suivi des mustélidés, Mustélidés en environnement changeant, Ecologie générale des Mustélidés), d'une session particulière dédiée au Putois (*Mustela putorius*) et d'un mini-atelier de travail pour le suivi des petits mustélidés (Belette *Mustela nivalis* et Hermine *Mustela herminea*). Un total de quatre conférences plénières et de 21 conférences secondaires a été donné. Des projets collaboratifs sont nés durant ce colloque pour structurer la recherche sur les Mustélidés en Europe et nous avons convenu de l'organisation du 33<sup>ème</sup> colloque Européen sur les Mustélidés à l'université de Lisbonne en 2019, colloque pour lequel je serai membre du comité scientifique.
- Co-organisateur du "European Wildcat Symposium 2013" avec Béatrice Nussberger (Université de Zurich). Mulhouse, 29-30 Novembre 2013 : cette réunion a réuni une trentaine d'écologues du chat forestier Européen dans le but de discuter autour de la

constitution d'un réseau de travail autour des problématiques écologiques et de conservation sur cette espèce. Les prémices du réseau EUROWILDCAT ont été posés, réseau qui est officiellement né cette année 2018.

- Organisateur du séminaire de lancement du programme DIVA3 "Continuités écologiques dans les territoires ruraux et leurs interfaces", Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Bourg en Bresse, 14-16 Novembre 2012 : ce séminaire de lancement a réuni tous les acteurs des projets financés par l'appel à projet DIVA3 ainsi que les membres du comité scientifique et de pilotage du programme DIVA3. Les porteurs de projets ont présenté leur projet et les membres du comité scientifique ont mis en perspective les différents projets dans un cadre plus large des continuités écologiques.

### 1.6.6 Contrats de recherche

- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de partenariat de recherche "Le raton-laveur en France : origine de l'introduction, expansion et diversité génétique". En collaboration avec l'ONCFS unité "Prédateurs, Animaux Déprédateurs" [2018-2020, 10 000 euros]. Financement par le LBBE d'un M2 sur la problématique (J. Berger).
- Co-Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de recherche "Système d'appariement et paternité dans une population de cerfs (*Cervus elaphus*) dans le parc de Chambord". En collaboration avec l'ONCFS unité "Cervidés-Sanglier": [2018-2021, 12 000 euros].
- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de partenariat de recherche "Distribution, identification, structure génétique et variabilité spatiale du risque d'hybridation chez le chat sauvage Européen *Felis silvestris silvestris*". En collaboration avec l'ONCFS unité "Prédateurs, Animaux Déprédateurs" [2014-2021, 42 000 euros]
- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de recherche et de partenariat « Variations d'abondance dans les populations de blaireau ». En collaboration avec l'ONCFS unité « Prédateurs Animaux Déprédateurs » [2014-2019, 75 000 euros]. Cette convention a été accompagnée par un financement de thèse de l'ONCFS pour M. Jacquier.
- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de partenariat de recherche "ADNe et Metabarcoding pour l'identification des espèces de mammifères semi-aquatiques : un challenge pour la gestion et la conservation des communautés". En collaboration avec l'ONCFS unité "Prédateurs, Animaux Déprédateurs" et le laboratoire SPYGEN [2013-2015, 13.682 euros]

- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de recherche "Apport des isotopes stables dans la compréhension de la compétition intragilde chez les méso- carnivores sympatriques et de leur prédation sur le poulet AOC "Volaille de Bresse"". En collaboration avec l'ONCFS Unité "Prédateurs, Animaux Déprédateurs" et le LEHNA (UCBL) [2012-2014, 10.000 eu- ros]. Le LBBE m'a financé un étudiant en M2 (M. Jacquier sur cette problématique).
- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de partenariat de recherche " Validation génétique de la présence du chat forestier (*Felis silvestris silvestris*) et détermination de son niveau d'hybridation avec le chat domestique (*Felis catus*) dans les Pyrénées". En collaboration avec le Parc National des Pyrénées, le Groupe de Recherche et d'Etudes pour la Gestion de l'Environnement, le Laboratoire des Pyrénées, et l'ONCFS unité "Prédateurs, Ani- maux Déprédateurs". [2012-2014, 5000 euros]
- Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de partenariat de recherche "Validation génétique de la présence du chat forestier (*Felis silvestris silvestris*) et détermination de son niveau d'hybridation avec le chat domestique (*Felis catus*) dans la Vallée de la Cère". En collaboration avec le Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin, le Groupe Mammalogique d'Auvergne, et l'ONCFS unité "Prédateurs, Animaux Déprédateurs". [2012-2014, 7500 euros]
- Coordinateur/Porteur scientifique du projet "Evaluer l'influence du réseau de haies dans la facilitation de la prédation par les petits carnivores en zone avicole Bressanne" (acronyme : PoulHaieCREM). Programme DIVA3 "Continuités écologiques dans les territoires ruraux et leurs interfaces", Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, [2011-2014, 130 Keuros]. Programme de recherche en collaboration avec l'ONCFS et l'ITAVI qui a permis le recrutement d'un ingénieur d'étude (A. Hémerly) pendant 18 mois.
- Co-Coordinateur/Porteur scientifique de la convention de recherche "Système d'appariement et paternité, conséquences sur la dynamique de la population d'une absence de gros mâles reproducteurs dans une population de sangliers". En collaboration avec l'ONCFS unité "Cervidés-Sanglier": [2008-2018, 120Keuros]. Le LBBE nous a financé un étudiant en M2 (T. Gayet) sur cette problématique et l'ONCFS a poursuivi par un financement de thèse.

## 1.7 Responsabilités et activités pédagogiques

### 1.7.1 Responsabilités pédagogiques

- Co-directeur des études de l'option agronomie 2<sup>ème</sup> année : depuis la rentrée 2017, j'exerce la fonction de co-directeur (i.e. responsable) des études de l'option agronomie en 2<sup>ème</sup> année. Je suis en charge de la gestion de l'emploi du temps de la formation, du suivi administratif des vacataires externes à notre équipe pédagogique ainsi que de la gestion des notes de nos étudiants. J'exercerai seul la direction des études de l'option agronomie en 2<sup>ème</sup> année à compter de Septembre 2019.

La gestion de l'emploi du temps consiste en la planification annuelle des enseignements à l'aide de l'application ADE mis à disposition par l'université. Cet emploi du temps doit bien sûr tenir compte de la cohérence pédagogique dans la succession des enseignements mais également des disponibilités de tous les intervenants aux activités multiples (qu'ils soient enseignants titulaires ou non de l'université de Lyon ou vacataires externes et professionnels). La gestion au quotidien des changements d'emploi du temps ponctuels est aussi de mon ressort. Tous nos vacataires doivent être déclarés administrativement et même si je ne m'occupe pas à proprement parler des dossiers administratifs de ces vacataires j'ai en charge la déclaration et la validation des heures d'enseignements effectuées par nos vacataires afin de permettre leur rémunération. Concernant la gestion des notes de nos étudiants, je centralise toutes les notes attribuées par tous les intervenants dans notre formation et en assure le traitement officiel via des outils mis à disposition par l'université (SNW, Apogée, Gestion-ETU). C'est de ma responsabilité de préparer les procès-verbaux pour les commissions de pré-jury et le jury officiel de l'IUT à chaque semestre (Semestre 3 et 4 pour ce qui concerne la 2<sup>ème</sup> année). Enfin dans le cadre de cette gestion des notes, j'ai à ma charge de m'entretenir en cours de semestre avec les étudiants les plus en difficulté afin de voir avec eux comment il est possible d'améliorer leur stratégie de travail et de mieux comprendre les difficultés auxquelles ils font face dans leur vie estudiantine et personnelle. A compter de septembre 2019, viendront s'ajouter à ce travail, la gestion pédagogique de la formation depuis la présentation générale de l'année, la gestion des projets tutorés et des jurys, la gestion des stages de 2<sup>ème</sup> année, y compris à l'étranger et bien d'autres choses au quotidien qu'il serait trop long d'énumérer ici.

- Co-responsable de 1<sup>ère</sup> année en charge du recrutement (2010-2019): chaque année, entre 6000 et 8500 dossiers de lycéens nous parviennent via l'application Parcoursup (ex-Application PostBac APB). Il est de ma responsabilité d'étudier ces dossiers, de les classer et de proposer les places disponibles aux candidats en accord avec les directives du rectorat (Quotas de bacs technologiques par exemple). Comme nous disposons de 120 places en 1<sup>ère</sup> année de DUT génie Biologique, il a fallu automatiser l'analyse de ces dossiers. J'ai donc développé un programme en langage R permettant d'attribuer un score à chaque dossier en fonction des relevés de notes des candidats et des appréciations du chef d'établissement (Fiche Avenir). Ce programme a depuis été transmis à d'autres départements de l'IUT. Une fois le classement remonté dans Parcoursup, il est nécessaire d'avoir un suivi quasi quotidien des admissions afin de pouvoir réagir le plus rapidement possible à d'éventuels épuisements de listes de candidats. Des opérations mineures sur la plateforme sont effectuées pour remonter certains candidats prioritaires (Sportif de haut niveau par exemple). Ces interventions et suivis de Parcoursup durent de début Avril à mi-Septembre afin d'assurer le meilleur recrutement à notre département (NB : à partir de 2019 la procédure Parcoursup se terminera fin Juillet). Ce lourd travail de recrutement que j'exerce depuis 2010 est crucial pour le bon fonctionnement de notre département et la réussite de nos étudiants.

- Responsable de la Licence professionnelle [2008-2011, fermeture en 2012] « Production Animale: conseil et sécurité sanitaire dans les élevages », IUT de Lyon, département de Génie Biologique.

### **1.7.2 Description synthétique de mes activités d'enseignement et de formation**

J'ai été recruté en 2007 pour devenir l'enseignant responsable des enseignements de mathématiques (notion de fonctions, étude de fonctions, dérivation, calcul intégral...etc) et de statistiques (notion de variable aléatoire, Loi Normale, tests statistiques de bases...etc) du DUT ainsi que pour intervenir dans les enseignements de Biologie Animale. Dès mon recrutement, j'ai eu la charge de l'intégralité des enseignements de mathématiques et de statistiques de 1<sup>ère</sup> année de DUT (48h eq. TD par groupe, 4 groupes). En m'appuyant sur le Programme Pédagogique National du DUT (PPN) j'ai complètement refondu ces enseignements pour les rendre plus interactifs afin de mieux coller aux profils de nos étudiants, biologistes, en prenant soin de documenter les parties théoriques par des exemples

provenant des trois options du DUT (Diététique, Analyse Biochimiques et Biologiques, Agronomie) afin de développer plus de transversalité entre les enseignements méthodologiques et les enseignements biologiques. Plus particulièrement, j'ai travaillé avec mes collègues afin de faire analyser en mathématiques ou statistiques les données que les étudiants récoltaient lors de leurs travaux pratiques d'autres disciplines. Avec les recrutements de M. Boulesteix (2009) et d'E Rajon (2013), j'ai pu répartir ces enseignements de 1<sup>ère</sup> année entre nous trois, E. Rajon se chargeant plus des enseignements de mathématiques de 1<sup>ère</sup> année et M. Boulesteix, pour sa part, est devenu responsable des statistiques en 1<sup>ère</sup> année. Je maintiens toutefois un investissement en statistiques de 1<sup>ère</sup> année au travers des enseignements au groupe E de réorientation. Durant toutes ces années, j'ai, puis nous avons, été aidé par des moniteurs, des ACE et un demi-ATER. Il m'a donc fallu former au programme et à la « philosophie » de ces enseignements plusieurs jeunes enseignants en formation. Enfin, il m'a fallu développer des enseignements de statistiques en 2<sup>ème</sup> année option Analyses Biologiques et Biochimiques, année normale et année spéciale, afin de compléter le programme de 1<sup>ère</sup> année. Ces enseignements que j'ai dispensés pendant deux ans sont désormais assurés par mes collègues et des vacataires/ACE.

Dès mon recrutement également, j'ai eu un investissement important dans les enseignements de biologie animale de 1<sup>ère</sup> année (Anatomie des mammifères et des poissons, Histologie animale, taxonomie Animale). Si les enseignements de d'anatomie et d'histologie étaient déjà effectifs, il m'a fallu, avec ma collègue E. Auriol, construire l'enseignement de taxonomie animale (4h eq. TD) dès la première année de mon recrutement. A l'heure actuelle, je conserve une implication dans ces enseignements de taxonomie ainsi que dans ceux d'anatomie des mammifères. Pour finir avec la première année, j'ai également construit un enseignement autour des méthodes d'échantillonnage en biologie (2h TD, 7h TP). J'ai souhaité cet enseignement encore une fois transversal puisque celui-ci, au travers du comptage de pâquerettes dans une parcelle herbacée de l'IUT, permet aux étudiants de mener à bien la totalité d'une étude scientifique depuis la conception du plan d'échantillonnage, la récolte des données et l'analyse de ces données en salle informatique.

Très vite après mon recrutement, l'essentiel de mes enseignements se sont déroulés dans le cadre de la 2<sup>ème</sup> année option agronomie, équipe pédagogique dans laquelle j'ai été recruté. Egalement à ce niveau, j'ai eu la charge du programme conséquent d'analyses de données (statistiques) du PPN. Cet enseignement comporte une partie de cours magistraux (20h), des travaux dirigés (10h, 2 groupes) et des travaux pratiques. A mon arrivé, j'ai introduit l'utilisation d'un logiciel de statistiques (le logiciel R et son module Rcommander) afin de

rendre plus concret et interactif ces enseignements qui n'ont pas la préférence de nos étudiants. J'ai là aussi souhaité ces enseignements le plus proche des thématiques enseignées dans l'option par l'utilisation systématique d'exemples agronomiques (pour l'essentiel provenant de jeux de données récoltées par les étudiants durant leur stage de fin de formation). J'ai développé la transversalité en travaillant avec mes collègues au développement de travaux pratiques d'analyse de données que les étudiants récoltent en travaux pratiques des autres disciplines. Ainsi des travaux pratiques d'analyse de données en écotoxicologie, pédologie, croissance végétale, génétique et tératologie ont vu le jour avec rédaction systématique de compte rendu utilisant la rédaction scientifique pour rapporter les résultats. J'ai également développé de toutes pièces des travaux pratiques en toxicologie, depuis la conception du plan expérimental, la réalisation de l'expérimentation et l'analyse des résultats. Je suis ainsi devenu le référent en méthodologique et en analyse de données pour nos étudiants qui me sollicitent aussi bien pour la conduite de leur projet tutoré (conduite d'élevage, conception et réalisation d'une expérimentation sur cet élevage) que dans le courant de leur stage de fin d'études.

Enfin, j'ai aussi l'opportunité d'enseigner en dehors de l'IUT en intervenant dans le master 1 Biodiversité Ecologie Evolution (BEE) de l'université Claude Bernard Lyon1, plus particulièrement dans l'UE Conservation de la biodiversité au travers de TD (1.5h) et de TP (4h) portant sur les mécanismes de l'hybridation interspécifique chez les vertébrés supérieurs avec toujours à cœur de démontrer l'intérêt des approches biométrique dans les sciences biologiques, ici la biologie de la conservation. Je suis également intervenu depuis deux ans en Licence 3 Génétique et Biologie Cellulaire toujours sur une problématique de biométrie et d'analyse de données. J'interviens également dans le DIU « Expérimentation animale » depuis 6 ans sur la thématique de la puissance statistique des expérimentations animales.

Pour terminer mes activités de formations ne se sont pas limitées à la formation initiale puisque j'ai pu, dans le cadre de mes fonctions à l'IUT, monter des formations professionnelles d'analyse de données agronomiques à destinations des structures publiques (Chambre d'agriculture) et privées (FREDON). Par manque de temps, je ne peux plus assurer ces formations depuis 2013. J'ai également avec mes collègues A. Besnard (CEFE Montpellier) et A. Millon (IMBE Aix-Marseille) développé une formation à destination des gestionnaires d'espaces naturels et d'espèces dans le cadre du programme du programme de formation de l'ATEN (Atelier Technique des Espaces Naturels, puis désormais de l'AFB (Agence Française de Biodiversité). Cette formation de 4 modules d'une semaine propose aux participants de consolider et d'acquérir des connaissances sur les méthodes d'échantillonnage

dans les études de suivi de la biodiversité et sur les principaux outils de méthodologie statistique d'analyse des données récoltées en écologie. Je dispense annuellement une vingtaine d'heures de formation dans ce cadre.

### 1.7.3 Description détaillée de mes activités d'enseignement

A titre d'exemple, ci-dessous figure un tableau décrivant mes activités d'enseignement et de formation pour les années universitaires 2017-2018 et 2018-2019 qui seront sensiblement similaires.

*Tableau 1 Disciplines et volumes horaires des enseignements dispensés. Tous mes enseignements ou formations se font en présentiel.*

<b>Enseignement/Formation</b>	<b>Type</b>	<b>Niveau</b>	<b>Nature</b>	<b>Effectif</b>	<b>Volume</b>
Anatomie animale	Initiale	DUT 1 <sup>ère</sup> année	TP	14	24h
Taxonomie animale	Initiale	DUT 1 <sup>ère</sup> année	TD	28	8h
Echantillonnage	Initiale	DUT 1 <sup>ère</sup> année	TP/TD	14/28	25h
Statistiques	Initiale	DUT 1 <sup>ère</sup> année	TP/TD	14/28	50h
Statistiques	Initiale	DUT 2 <sup>ème</sup> année	CM	50	20h
Statistiques	Initiale	DUT 2 <sup>ème</sup> année	TP/TD	16/24	80h
Génétique	Initiale	DUT 2 <sup>ème</sup> année	TD	24	20h
Projet tutoré	Initiale	DUT 2 <sup>ème</sup> année	Encadrement	2/3	25.5h
Statistiques	Initiale	L3	TP	16	9h
Conservation et Biométrie	Initiale	M1	TP/TD	14/28	10h
Statistiques	Continue	DIU	TD	25	4h
Echantillonnage/statistiques	Professionnelle	Tous niveaux	TP/TD	14	20h

Pour donner une vision plus globale de mes activités d'enseignement depuis mon recrutement, le tableau 2 ci-après reprend l'ensemble du volume horaire dispensé à l'IUT et à l'université dans le cadre de mes obligations de service de 192h.

Tableau 2 Volume horaire, obligation de service, Prime de Responsabilités Pédagogique (PRP) depuis mon recrutement en 2007 (146.28% des obligations de service depuis le recrutement)

Année universitaire	Volume horaire effectué	Dont PRP	Obligation de service
2007-2008	152	0	152 (décharge de 40h)
2008-2009	279	0	192
2009-2010	334.49	18	192
2010-2011	381.32	15	192
2011-2012	194.48	0	192
2012-2013	228.88	0	192
2103-2014	259.55	20	192
2014-2015	284.48	41	192
2015-2016	258.76	34	192
2016-2017	285.53	36.75	192
2017-2018	333.94	52.25	192
2018-2019	319.3	71.5	192

#### 1.7.4 Conciliation recherche et enseignement

Entretenir une activité d'enseignement investie et une activité de recherche soutenue est souvent vu comme le challenge majeur inhérent au métier d'enseignant-chercheur. Il n'est pas ici question d'opposer simplement la réalisation d'un service statutaire d'enseignement à celle des objectifs quantitatifs de publication scientifique faisant de l'enseignant-chercheur un actif publiant car je suis convaincu que ceci est parfaitement conciliable et n'a jamais été pour ma part un motif d'inquiétude. Non, la question s'est plus posée sur la satisfaction personnelle de la motivation d'enseigner et de celle de faire de la recherche. Sans vouloir faire de choix, j'ai tenté de démarrer à fond sur les deux tableaux dès mon recrutement (heures supplémentaires, responsabilité de licence professionnelle ...etc). J'ai tenu trois années, et sans succès, car par la force des choses de la vie et le manque de temps, faire à moitié mes deux métiers est vite devenu peu satisfaisant, peu confortable, et probablement contre-productif de par la frustration engendrée. Alors il a fallu que je fasse des concessions, mais bien sûr en ce qui me concerne, également réparties entre mes deux activités car il était, est et sera toujours hors de question que j'en délaisse l'une pour l'autre. J'ai, depuis le début de mes études universitaires, toujours souhaité être enseignant-chercheur. 50% enseignement et 50% chercheur, cela me convenait et me convient toujours. Aussi obtenir une ou plusieurs délégations CNRS ou CRCT n'a jamais été d'actualité. J'aime enseigner, former et transmettre, et, je ne peux pas m'en passer. Aussi faire des concessions sur l'enseignement a nécessité de bien identifier, outre les obligations de service et d'encadrement bien évidemment, d'un côté ce que j'aime le plus dans ce métier d'enseignant, et par là même là où je peux être le plus utile aux étudiants dans leur formation et leur parcours personnel et professionnel. J'ai très vite été en

responsabilité d'un diplôme (Licence professionnelle) mais ceci rognait sur mes activités de recherche. Je me suis concentré alors sur la formation. Côté recherche aussi il a fallu faire des concessions et j'ai délaissé les responsabilités au laboratoire sans m'investir autant que cela le mériterait. Aujourd'hui, avec l'âge et l'avancée de carrière, mon activité de recherche a changé, comme pour beaucoup, et mon rôle est plus d'encadrer que de chercher réellement par moi-même. Cela m'a libéré un peu de temps pour m'investir un peu plus à l'IUT dans ce que j'avais délaissé au début (Responsable de formation par exemple). Je ne sais pas si ce nouvel équilibre va me convenir plus que celui de mes premières années, mais admettre le changement de mon activité de recherche est, je pense, un pas important pour une meilleure satisfaction de mon métier d'enseignant-chercheur.

## 2 Et maintenant un peu de sciences

### 2.1 Introduction et synthèse non exhaustive des activités de recherche

#### 2.1.1 Une courte introduction

Ce mémoire est volontairement axé sur l'écologie évolutive, la gestion et la conservation des mammifères carnivores de petite et moyenne taille le plus souvent, et parfois des plus gros (études de synthèse sur les Félidés). Ce groupe a effectivement été au cœur de mes activités de recherche depuis ma thèse et plus particulièrement depuis mon recrutement en 2007, et en a constitué une grande partie. En effet lorsque j'ai été recruté, je l'ai été sur un projet de recherche en écologie évolutive (dynamique des populations, génétique des populations, écologie comportementale et spatiale) des mammifères carnivores mustélidés. J'ai essayé de m'y tenir durant toutes ces années. Je tairais donc, dans les grandes largeurs, mes activités de recherche n'ayant pas concerné ce groupe taxonomique (Sanglier *Sus scrofa*, toxoplasme *Toxoplasma gondi*, Lièvre *Lepus europaeus* ou encore le mouflon *Ovis gmelini musimon* × *Ovis sp.*) ou ayant eu trait à des développements méthodologiques (Génétique des populations) mais qui restent néanmoins illustrées par la liste des publications et les projets de recherche auxquels je participe (voir *Curriculum vitae*). Toutefois par moment j'y ferai quand même référence ponctuellement.

Cette entrée volontairement taxonomique plus que conceptuelle est le résultat de mon histoire de vie de recherche (découlant d'une thèse déjà généraliste mixant des approches de dynamique de population, de génétique de populations et d'analyse comparative interspécifique), multidisciplinaire, appliquée et fondamentale, faite de rencontres diverses et variées mais également de ma passion pour ce groupe d'espèces, si bien, qu'à l'heure de rédiger cette habilitation à diriger les recherches, il m'est difficile de me prononcer quant à la question: suis-je spécialiste de quelque chose? (Certains diraient, suis-je reconnu pour quelque chose ?). La réponse est plutôt non tant mes activités de recherches abordent des thématiques variées. Aussi à l'heure d'écrire ce document la question de choisir entre un document de synthèse sur une thématique particulière laissant de côté une part importante de mes activités (et par la même plusieurs des étudiants que j'ai encadrés) et une revue de mes activités démontrant la diversité de mes travaux s'est posée. Alors j'ai réfléchi à ce que

« Habilitation à Diriger les Recherches » signifiait pour moi. Littéralement, elle me donnerait droit à encadrer des étudiants en doctorat en mon nom propre, chose d'ailleurs que j'ai déjà faite en obtenant une dérogation. Aussi j'ai opté pour une écriture qui démontrerait ma capacité à encadrer des étudiants, à les conduire vers la réussite de leur doctorat en termes scientifiques par l'aboutissement de leur thèse et la publication d'articles. Ce document ne sera donc pas une synthèse bibliographique sur une ou plusieurs thématiques et la place laissée aux autres auteurs de la communauté sera faible tant j'ai souhaité ce document comme un reflet de nos travaux, de notre avancée toutes ces années vers une meilleure compréhension du fonctionnement des populations de ces espèces méconnues. Ainsi, les contextes théoriques, et les principaux concepts associés, de chaque partie ou étude sont détaillées dans les publications et ne seront pas repris ici pas plus que les références bibliographiques.

Alors autant le dire, ce mémoire illustrera à partir d'article publiés, soumis ou en préparation, comment par la combinaison d'approches méthodologiques diverses et variées mais toujours rigoureuses, nous avons pu (je n'oublie pas ici l'ensemble de mes collaborateurs et étudiants passés ou actuels à qui réfèrera le 'nous') travailler sur les patrons et processus de l'écologie évolutive des mammifères carnivores terrestres en lien, selon les espèces, à des problématiques fondamentales, de gestion et de conservation. Aussi, certains de nos travaux ont pu s'inscrire dans le cadre de l'"evidence-based management" ou "evidence-based conservation", en sommes, l'application d'une démarche scientifique rigoureuse pour répondre à des problématiques de gestion et de conservation.

La communauté des petits et méso-mammifères carnivores sauvages en France compte 14 espèces : il s'agit principalement de Mustélidés (9 espèces, Tableau 3), de canidés (2 espèces), de Félidés, d'un Viverridé et d'un Procyonidé (1 espèce). Cette communauté comprend en fait un mélange d'espèces autochtones et introduites (Tableau 3), certaines en danger ou menacées d'après la liste rouge IUCN, d'autres susceptibles d'être classées nuisibles ou protégées et enfin certaines endémiques ou invasives (espèces exotiques envahissantes EEE est la dénomination exacte).

Tableau 3 Communauté des petits et méso mammifères carnivores en France. Statut juridique (SCEN : susceptible d'être classée nuisible, EEE : espèce exotique envahissante) et statut de conservation (LC : Least Concern, NT : Near Threatened, E : Endangered d'après la liste rouge UICN France)

Famille	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Masse corporelle adulte (g)	Statut IUCN	EEE	Statut juridique
Mustélidés	Belette	<i>Mustela nivalis</i>	78	LC	non	Gibier et SECN
Mustélidés	Hermine	<i>Mustela erminea</i>	285	LC	non	Gibier
Mustélidés	Vison Européen	<i>Mustela lutreola</i>	566	E	non	Espèce protégée
Mustélidés	Putois	<i>Mustela putorius</i>	975	LC	non	Gibier et SECN
Mustélidés	Vison Américain	<i>Neovison vison</i>	1100	LC	oui	SECN
Mustélidés	Martre	<i>Martes martes</i>	1300	LC	non	Gibier et SECN
Mustélidés	Fouine	<i>Martes foina</i>	1675	LC	non	Gibier et SECN
Viverridés	Genette	<i>Genetta genetta</i>	1756	LC	oui	Espèce protégée
Canidés	Chien viverrin	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	4215	LC	oui	SECN
Félidés	Chat Sauvage Européen	<i>Felis silvestris silvestris</i>	4570	LC	non	Espèce protégée
Canidés	Renard	<i>Vulpes vulpes</i>	4820	LC	non	Gibier et SECN
Procyonidés	Raton-laveur	<i>Procyon lotor</i>	6373	LC	oui	Gibier et SECN
Mustélidés	Loutre	<i>Lutra lutra</i>	8869	NT	non	Espèce protégée
Mustélidés	Blaireau	<i>Meles meles</i>	11884	LC	Non	Gibier

Toutes ces espèces ne sont pas uniformément réparties sur le territoire Français et la communauté n'est pas complète en tout point. Si certaines d'entre elles sont présentes sur tout le territoire d'autres sont localisées uniquement dans certaines régions. De plus, les abondances relatives ont très récemment été montrées comme très variables spatialement chez les mustélidés (Figure 1). Enfin le niveau de connaissance sur l'écologie de ces espèces est également très variable, en France, mais aussi de par le monde. Cette diversité d'espèces, de statuts et de distribution offre aux écologues et gestionnaires un très large panel de questions dans lesquelles s'est ancré notre travail.

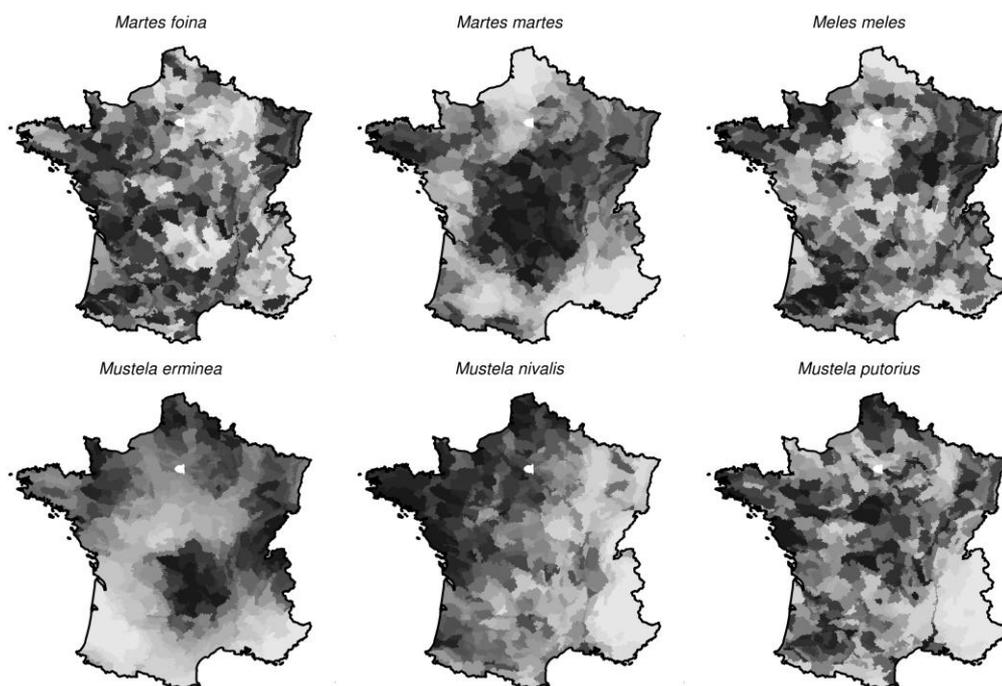


Figure 1 Carte des abondances relatives de Six espèces de mustélidés en France (Calenge et al. 2015<sup>1</sup>)

Ces questions sont inhérentes à cinq grands champs disciplinaires.

- Amélioration des connaissances sur les traits d’histoire de vie de ces espèces : taux de survie, patron de reproduction, morphologie âge- et sexe-dépendants.
- Distribution et abondance. Depuis la simple description des cartes de répartition nationale jusqu’aux déterminismes socio-écologiques (prélèvements, habitat) affectant les variations d’abondance à l’échelle locale ou du territoire Français, il s’agit de mettre en place et valider des outils de détection et d’estimation de taille de population et de densité, et de relier ces patrons à des facteurs structurants.
- Utilisation et sélection de l’habitat au niveau populationnel. Quels sont les éléments du paysage utilisés et sélectionnés par les animaux pour leurs gites/terriers et pour leurs déplacements. Que nous apprennent ces patrons sur la coexistence des espèces syntopiques?
- Effet des prélèvements sur la démo-génétique des populations exploitées. En particulier, quel est l’impact de ces prélèvements sur la dynamique des

<sup>1</sup> Calenge C, Chadoeuf J, Giraud C, Huet S, Julliard R, Monestiez P, et al. (2015) The Spatial Distribution of Mustelidae in France. PLoS ONE 10(3): e0121689. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121689>

populations (taux d'accroissement, taux de survie) et l'évolution temporelle des densités ? En quoi les prélèvements sélectifs influencent le système d'appariement ?

- Génétique des populations, génétique de la conservation et génétique du paysage. Quelles sont les diversités génétiques, les structures génétiques et les influences des différents éléments du paysage sur les flux génétiques dans les populations.

Ce mémoire ne dressera pas un catalogue de toutes mes activités de recherche, des différents modèles d'études et des diverses questions plus spécifiquement abordées, tout cela peut être retrouvé dans les publications. Il abordera les cinq grandes questions précédentes aux travers d'exemples. Il se conclura par quelques perspectives et description des travaux plus récemment initiés. Mais avant, comme mes activités de recherche vont au-delà de ce qui sera détaillé dans ce mémoire, une présentation synthétique de mes travaux est présentée ci-dessous qui fera office de résumé.

### 2.1.2 Une courte synthèse de 12 ans de recherche

Lorsque j'ai été recruté en 2007, je l'ai été sur un projet de recherche portant sur l'écologie évolutive, la gestion et la conservation des mammifères carnivores Mustéolidés. J'ai très rapidement élargi la portée taxonomique de mes recherches à l'ensemble des petits et méso-mammifères carnivores, en y englobant des espèces comme le chat forestier (*Felis silvestris silvestris*) ou encore le raton-laveur (*Procyon lotor*) et le renard (*Vulpes vulpes*). Ce cortège d'espèces offre la particularité de présenter des espèces à statut de conservation très différents depuis des espèces susceptibles d'être classées nuisibles, et donc soumises à prélèvement par la chasse et le piégeage comme la martre (*Martes martes*) ou la fouine (*Martes foina*), jusqu'à des espèces très fortement menacées comme le vison Européen (*Mustela lutreola*) en passant par des espèces protégées mais dont les populations se portent bien comme la loutre (*Lutra lutra*). De par la diversité de ces statuts, les problématiques et enjeux scientifiques portant sur ces espèces sont assez divers. Je me suis donc intéressé à la description de la variabilité phénotypique (morphologie) et des traits d'histoire de vie (reproduction) chez des espèces méconnues (Martre et Fouine, Ruetter et al. 2015, Ruetter et al. Soumis, Renard *Vulpes vulpes* Lieury et al. 2017) mais également aux variations âge- et sexe-dépendante de la survie chez

ces deux premières espèces (Ruetten et al. 2015). L'impact de la pression de piégeage et l'influence des prélèvements sur la démographie des espèces est également au centre de mes activités de recherche. Si des résultats novateurs portant sur les effets des prélèvements sur le taux de croissance des populations de renard ont déjà été publiés (Lieury et al. 2015 dans lequel nous suggérons de décaler la période de prélèvement pour mieux prévenir l'immigration), j'ai comme projet la modélisation individu-centrée en environnement spatialement variable du point de vue de la pression de piégeage de la démographie de la martre et de la fouine. Cette modélisation mobilise l'ensemble des connaissances que nous avons acquises lors du projet martre-fouine. Non seulement les paramètres démographiques (survie et fécondité) mais également l'ensemble des informations sur l'occupation et la sélection d'habitat de ces espèces (Larroque et al. 2015, 2017, 2018) obtenues à partir de suivi télémétrique mais également les informations sur la connectivité fonctionnelle dans les populations que nous avons pu acquérir au travers de nos approches de génétique du paysage (Larroque et al. 2015, 2016). Cette approche intégrative de modélisation démographique mobilisant tout un cortège de connaissances provenant d'étude d'écologie générale, de dynamique de populations, de génétique de population et d'écologie comportementale est assez novatrice et devrait aboutir à une meilleure compréhension de l'impact des prélèvements sur ces espèces. Ces approches de génétiques des populations nous ont aussi permis d'aborder l'écologie du chat forestier au travers de la thématique de l'hybridation avec le chat domestique errant (*Felis silvestris catus*). Nous avons pu ainsi montrer que l'hybridation et l'introgession étaient communes dans ce complexe (O'Brien et al. 2009) et mieux caractériser l'aire de distribution du chat Forestier (Say et al. 2012) ainsi que les caractéristiques morpho-anatomiques des chats forestiers et de leur hybrides (Devillard et al. 2014). Cette thématique de l'hybridation m'intéresse plus particulièrement et c'est pourquoi nous avons pu l'étudier dans un 2<sup>ème</sup> complexe d'hybridation chez les ongulés entre le sanglier et le cochon domestique (*Sus scrofa*, Gayet et al. Soumis) et j'ai également collaboré avec une équipe Canadienne dirigé par L. Rutledge sur l'hybridation chez les canidés Nord-Américains (Rutledge et al. 2015). Mieux comprendre la variabilité spatiale du risque d'hybridation dans le complexe chat domestique-chat forestier à une échelle nationale sera au cœur de mes projets de recherche à court terme tout comme mieux comprendre l'impact du paysage sur la distribution de la variabilité génétique chez le chat forestier par une approche là encore de génétique du paysage sera une de mes priorités dans l'année qui vient. Cet impact du paysage (sa disponibilité, sa fragmentation) sur la diversité génétique m'a également beaucoup occupé ces dernières années et j'ai souhaité voir ce qu'il se passait chez d'autres

espèces que les mammifères carnivores. Nous avons donc mené une étude de génétique et de génétique du paysage chez le mouflon Européen (*Ovis musimon sp.*). Nous avons ainsi pu montrer que l'écologie comportementale de cette espèce en termes de sélection et d'évitement d'élément du paysage correspondait assez bien aux éléments du paysage qui favorise les flux de gènes chez cette espèce (Portanier et al. 2018). Confronter des données génétiques à des données d'écologie comportementale ou encore des données démographiques est un point fort de mes recherches. Ainsi chez le chat domestique errant introduit dans l'archipel de Kerguelen, nous avons pu montrer que les niveaux de diversité génétique par cohorte suivaient étroitement les variations d'abondance (Devillard et al. 2011). L'estimation d'abondance de populations de petit et méso-carnivores a aussi été, et est toujours, au cœur de mes recherches. En réponse à un aménagement d'un cours d'eau nous avons cherché par exemple à estimer l'abondance et la densité dans une population de loutres afin de documenter l'impact de cet aménagement sur les populations. Les densités relevées ont été très importantes suggérant l'absence d'impact (Devillard et al. En préparation). J'ai en collaboration avec un chercheur Italien, S. Anile, travaillé à mieux comprendre les variations de densité mais également de sex-ratio chez les félinés à partir des données de pièges photographiques publiés dans la littérature (Anile et Devillard 2016, 2018). Plus récemment, nous menons une étude pour mieux caractériser les abondances de blaireaux (*Meles meles*) à l'échelle de la France Métropolitaine et les corrélats écologiques de ces variations d'abondance. Nous avons pu montrer que l'altitude (<400m, >400m) modulait les facteurs associés aux variations d'abondance, les facteurs biotiques étant prépondérants à basse altitude et les facteurs abiotiques à plus haute altitude (Jacquier et al. Soumis). Egalement sur 11 territoires de France métropolitaine nous avons conduit un protocole d'estimation de la densité des populations de blaireaux par un couplage de méthodes de transect pour estimer la densité en terriers et de piégeage photographiques et à poils pour estimer la taille de groupe (Jacquier et al. En préparation).

En résumé je mène une approche de recherche intégrative et généraliste pour mieux comprendre l'écologie générale et l'écologie évolutive d'un large cortège d'espèces afin de proposer des éléments de réflexion pour une gestion et une conservation plus efficace, et surtout, plus fondées sur des faits biologiques démontrés.

## 2.2 Amélioration des connaissances sur les traits d'histoire de vie d'espèces méconnues

Les espèces de mammifères carnivores de petite et moyenne taille sont des espèces qui restent encore aujourd'hui méconnues. Cela est inhérent à leur écologie et à la difficulté qui en résulte de suivre les populations de ces espèces élusives et cryptiques, présente à faible densité et relativement peu capturables. Une grande partie de mes recherches a donc consisté à mieux décrire ces espèces d'un point de vue de leur trait d'histoire de vie et des facteurs de variation de ces traits d'histoire de vie.

### 2.2.1 Paramètres morphologiques, de reproduction et de survie et chez la martre et la fouine

Ce projet martre-fouine initié pendant ma thèse par l'ONCFS et que j'ai rejoint à l'issue de celle-ci au travers d'un court post-doctorat (2004) s'est ensuite poursuivi sur la période 2003-2008. L'un des objectifs de ce projet était d'acquérir des informations sur les paramètres morphologiques, de survie et de reproduction de ces espèces afin ensuite de modéliser leur dynamique de population. Ces études menées en collaboration avec l'ONCFS, et plus particulièrement avec Sandrine Ruelle, se sont basées sur deux types de suivis : un suivi télémétrique d'un maximum d'individus que nous avons converti en histoire de capture multi-états (vivant, mort, disparu) et une récolte des cadavres sur toute la zone d'étude, en Bresse. Le détail des méthodologies employées est à retrouver dans Ruelle et al. (2015a), Ruelle et al. (2015b) et Ruelle et al. (en préparation). L'étude des paramètres morphologiques avait pour but de mieux décrire les espèces, et en particulier leur différence, mais également de développer un outil d'identification de l'âge des animaux afin de mieux paramétrer ensuite les variations âge-dépendantes de la survie et de la reproduction. En effet la détermination de l'âge des individus est un prérequis pour établir de justes patrons de variation âge-spécifique. Nous avons donc exploré la variation âge-spécifique de différents traits morphologiques de la martre et de la fouine en utilisant les données récoltées sur les cadavres, âgés par datation de la dentition en trois classes d'âge (juvéniles, sub-adultes et adultes). Nous avons discriminé les individus sur la base de ces mesures morphologiques afin ensuite d'attribuer un âge aux individus suivi par télémétrie (et donc vivants pour lesquels la datation dentaire n'est pas possible). Cette approche nous a permis i) d'enrichir le jeu de données avec les animaux vivants et ii) de disposer d'une estimation de l'âge pour les études de survie. A partir de ce jeu

de données final, nous avons pu établir une courbe de croissance sex-dépendante pour les deux espèces (Figure 2).

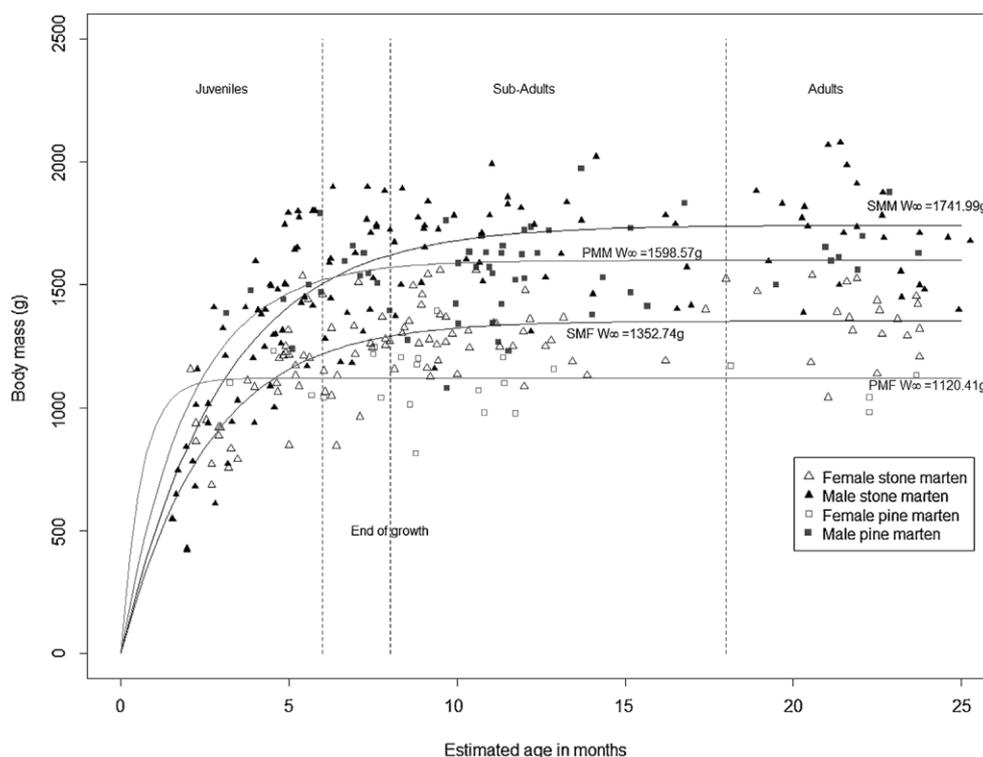


Figure 2 Courbe de croissance de Von Bertalanffy pour la martre et la fouine, sexes séparés.  $W_{\infty}$  est la masse asymptotique. SMM : mâle fouine ; PMM : mâle martre ; SMF : femelle fouine ; PMF : femelle martre

Ces résultats montrent que les sub-adultes et les adultes sont difficiles à différencier car la taille adulte est atteinte aux alentours de huit mois pour une maturité sexuelle acquise vers 18 mois, que le dimorphisme sexuel est plus important chez la martre que chez la fouine, et que la fouine est plus grande que la martre en moyenne. Ces résultats nous ont permis de mieux comprendre comment les différences morphologiques entre les deux espèces pouvaient faciliter leur coexistence (théorie du déplacement du caractère écologique, Brown et Wilson, 1956<sup>2</sup>) et de faire l'hypothèse que le niveau de polygynie et la compétition intra-sexuelle pour la reproduction était peut-être plus forte chez la fouine que la martre.

Ces cadavres nous ont également permis d'améliorer nos connaissances sur le patron de reproduction (fécondité et pourcentage de femelle reproductrice âge-dépendant) chez ces deux espèces (Ruelle et al. En préparation). Après coloration histologique des utérus, nous avons

<sup>2</sup> Brown WL Jr., Wilson EO (1956) Character Displacement, *Systematic Biology*, 5(2), 49–64, <https://doi.org/10.2307/2411924>.

pu dénombrer le nombre de cicatrices placentaires mais également le nombre d'embryons et de blastula. Ceci nous a permis de documenter la fécondité par classe d'âge et par espèce, paramètres clés dans l'optique de la modélisation de la dynamique de population de ces deux espèces. La variabilité de de la probabilité de se reproduire a ensuite été modélisée en fonction de l'âge en mois et de l'espèce. La maturité sexuelle a été atteinte plus tôt chez la fouine que la martre avec 10% des femelles sub-adultes reproductrices chez la fouine contre aucune chez la martre (Figure 3).

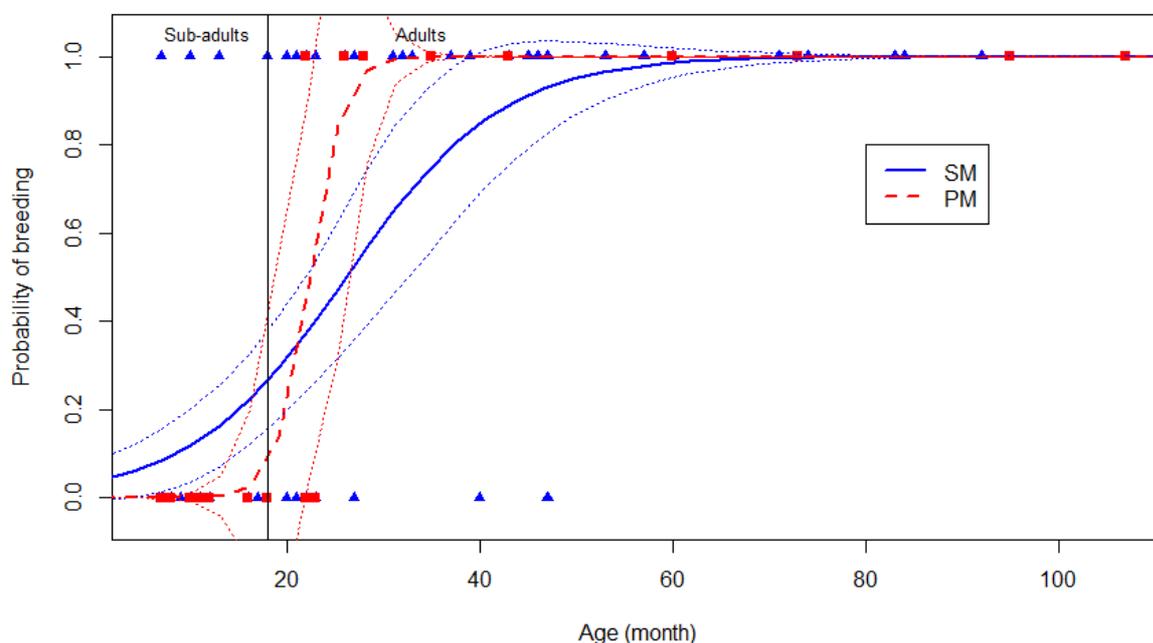


Figure 3 Evolution âge-dépendante (en mois) de la probabilité de se reproduire chez la martre (PM) et la fouine (SM)

Cette maturité sexuelle plus précoce chez la fouine peut être attribuée à une masse corporelle plus importante (voir ci-dessus). De fait le pourcentage de femelle reproductrices était plus élevée chez la fouine (77%) que chez la martre (64%) de part cet étalement plus important chez la première. Le nombre moyen de cicatrices placentaires (i.e. fécondité) était similaire chez les deux espèces ( $3.33 \pm 1.03$  chez la martre et  $2.59 \pm 0.71$  chez la fouine, Tableau 4).

Tableau 4 Fécondité âge-dépendante chez la martre et la fouine

	Martre		Fouine	
	Subadulte	Adulte	Subadulte	Adultes
Nombre de femelles	17	13	49	47
Proportion de femelles reproductives	0	0.77	0.10	0.66
Nombre de cicatrices placentaires	0	3.33 ± 1.03 (n=6)	1.33 ± 0.58 (n=3)	2.59 ± 0.71 (n= 17)

Enfin dans ce programme de récoltes de cadavres et de capture d'individus vivants afin de mieux documenter l'écologie de ces deux espèces, nous avons pu procéder à des estimations de survie âge-dépendante et tester l'influence de la pression de piégeage sur ces probabilités de survie. Les individus capturés vivants ont été équipés de collier VHF avec signal de mortalité et suivis deux fois par semaine pour les géo-localiser. Nous avons ensuite développé un modèle de capture-marquage-recapture multi-états (Figure 4) intégrant d'une part les différentes causes de mortalité (piégeage/chasse vs. collision routière et autres causes) pour les individus recapturés morts, et d'autre part, la possible défaillance du signal VHF. Ce modèle a permis bien sûr d'estimer des probabilités de survie âge-dépendantes mais également de modéliser les probabilités de survie comme une réponse linéaire à l'intensité de piégeage (section 2.4.1).

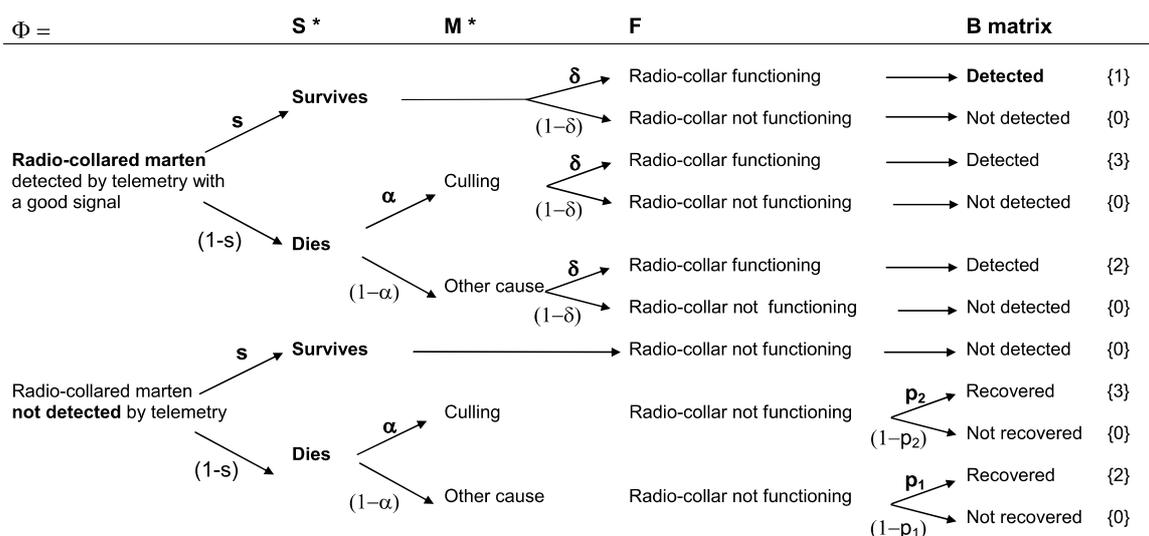


Figure 4 Diagramme d'état d'une martre ou d'une fouine entre l'occasion  $t$  et  $t+1$ .

Après sélection de modèles (sexe-dépendant chez la martre, unisexe chez la fouine) et extrapolation de la survie mensuelle à une survie annuelle, nous avons obtenu des probabilités de survie âge-dépendante pour ces deux espèces d'abord sans prendre en compte la covariable intensité de piégeage (Figure 5).

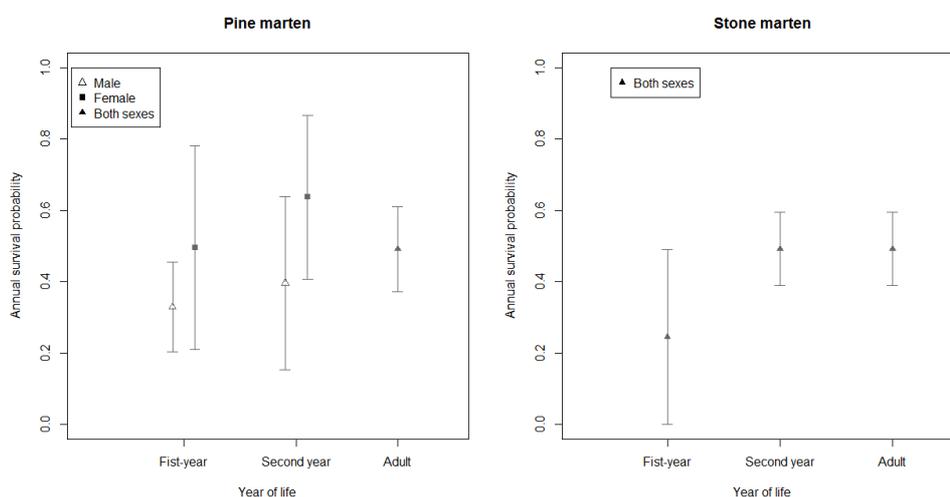


Figure 5 Probabilités de survie annuelle chez la martre et la fouine

Il en ressort que comme attendu la survie des jeunes (<1an) est plus faible que la survie adulte qui s'élève à 0.49 en moyenne chez les deux espèces.

### 2.2.2 Senescence reproductive chez le renard

Des cadavres il en a été aussi question dans l'objectif de mieux connaître le patron de reproduction du renard dans la cadre de la thèse de Nicolas Lieury, que j'ai codirigé avec Alexandre Million (IMBE) et Sandrine Ruet (ONCFS). Fort d'un nombre de cadavres bien plus important pour le renard que pour la martre et la fouine, nous avons pu établir à la fois le patron de reproduction comme chez les deux espèces précédentes en utilisant les mêmes techniques histologiques mais également de tester pour la présence de sénescence reproductive sur la taille de portée (Lieury et al. 2017). L'originalité de cette étude était que nous disposions de deux mesures de fécondité, d'une part le nombre d'embryons (pré-parturition) et le nombre de cicatrices placentaires (post-parturition). Ce décalage temporel dans les estimations de taille de portée nous a permis d'entrer dans les mécanismes sous-tendant la sénescence. Nos résultats ont d'abord montré que la sénescence reproductive chez le renard est de faible intensité, commençait tard dans la vie des renards (au-delà de quatre

ans révolus) et surtout à un âge seulement atteint par 11.7% des femelles dans ces populations intensément piégées et chassées. Dans le détail, nous avons bien observé une variation âge-dépendante de la taille de portée, à la fois sur le nombre d’embryons et sur le nombre de cicatrices placentaires (Figure 6) mais la décroissance était plus marquée pour les cicatrices placentaires soulignant que la résorption embryonnaire était peut-être le mécanisme par lequel la sénescence s’exprimait chez le renard.

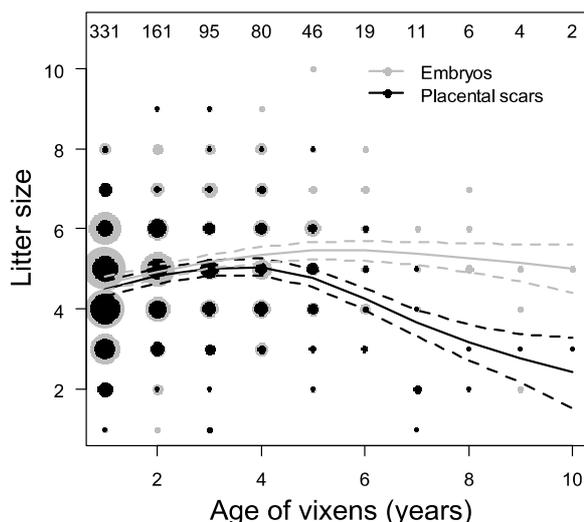


Figure 6 Variation âge-dépendante de la taille de portée chez le renard

Dans l’optique de la modélisation de l’effet des prélèvements sur les populations de renards, et dans le cadre de sa thèse, Nicolas Lieury n’a pas eu le temps d’étudier la réponse reproductrice des renards aux prélèvements, à savoir la possibilité d’une reproduction compensatrice qui pourrait passer par une taille de portée plus importante en présence de fort prélèvements. Cette étude compléterait judicieusement celle sur le lien entre prélèvements et densité de population que Nicolas Lieury a mené (section 2.4.2).

### 2.3 Distribution, Abondance et densité

Etablir la carte de distribution d’une espèce et son évolution au cours du temps est crucial pour déterminer le statut de conservation ou de gestion d’une espèce. Par exemple montrer que l’aire de distribution d’une espèce protégée s’élargit permet d’acter que les mesures de conservation qui ont été prises sont potentiellement efficaces. Cela permet alors de faire des recommandations aux instances de conservation pour éventuellement modifier le statut de cette espèce. Toutefois, l’expansion de l’aire de distribution n’est pas la seule marque de la

santé des populations. Abondance et densité sont tout autant importantes pour statuer. Aussi une partie de mes travaux de recherches a porté sur l'établissement de carte de distribution et l'estimation d'abondance et de densité à différentes échelles spatiales et dans différents contextes (espèces protégées à petite et large échelle, espèce susceptible d'être classée nuisible à large échelle et à l'échelle locale). Un prolongement évident d'une estimation d'abondance ou de densité est d'étudier les facteurs écologiques associés aux variations spatiales et temporelles de l'abondance et de la densité. Je présenterai trois exemples ci-dessous reflétant assez bien cette partie de mes travaux.

### **2.3.1 Distribution et expansion du chat Forestier en France**

Ce travail initié pendant ma thèse se poursuit encore aujourd'hui avec mes collaborateurs de l'ONCFS (Sandrine Ruet et François Léger). L'ONCFS a mis en place un réseau de collecte de cadavres de chats tigrés (i.e. dont le phénotype du pelage se rapproche du phénotype sauvage) depuis près de 20 ans maintenant s'appuyant sur tous les acteurs du territoire (personnels de l'ONCFS, associations naturalistes, association de piégeurs, fédérations de chasseurs). Les objectifs étaient doubles : étudier les phénomènes d'hybridation entre chat sauvage Européen (i.e. forestier) et chats domestiques d'une part, et d'autre part, préciser la distribution du chat sauvage Européen en France. A ces cadavres collectés se sont ajoutés des prélèvements issus de captures physiques mais également de prélèvements issus de campagne de piégeage de poils dans différents sites de France. A ce jour, près de 1000 prélèvements sont disponibles. En utilisant un jeu de marqueurs moléculaires de type microsatellites et en appliquant des méthodologies classiques d'écologie moléculaire, nous avons pu dans un premier temps identifier, probabilistiquement, les prélèvements issus de chats sauvages Européens des prélèvements issus d'hybrides et de chats domestiques. Outre mes travaux sur l'hybridation que je ne présenterai pas ici mais qu'il est possible de retrouver dans la liste de publications de la section 1, ceci nous a permis de dresser la carte de répartition contemporaine du chat sauvage Européen et de la comparer aux précédentes. La première comparaison a eu lieu en 2012 (Say et al. 2012, Figure 7). De cette étude est ressortie que la distribution du chat forestier est en expansion vers l'ouest et le sud-ouest depuis la zone endémique du grand quart Nord-Est de la France. Fort de ce premier résultat, nous avons intensifié nos efforts de récolte de prélèvements sur les parties périphériques de la distribution afin de confirmer cette expansion (période 2012-2017).

Cette toute dernière carte, en cours d'exploitation, confirme la dynamique expansionniste de l'espèce en France, vers l'ouest, le sud-ouest et même vers la partie Alpine de la région Rhône-Alpes-Auvergne. Ces résultats confirment que l'espèce se porte bien en Europe occidentale car les populations Allemandes sont elles-mêmes en plein essor. Outre la carte de distribution, ces données géolocalisées pour lesquelles nous disposons du génotype, ont ouvert la voie à deux projets. Le premier est une modélisation de la niche écologiques par des modèles d' « habitat suitability » de type SDM (« species distribution model ». Ce travail tout juste démarré se fait en collaboration avec nos collègues Anglais et Ecosais du Vincent Wildlife Trust. L'idée est d'établir la niche écologique du chat sauvage en France afin de mieux définir les contours d'une réintroduction du chat sauvage Ecosais au Pays de Galles : identifier les zones potentielles de réintroduction au Pays de Galles en calibrant le modèle anglophone par les données Françaises. Le 2<sup>ème</sup> projet est celui d'évaluer la génétique du paysage du chat sauvage Européen en France et est celui d'Elodie Portanier en post-doctorat (1/2 ATER) dans notre équipe cette année (section 2.6.4).

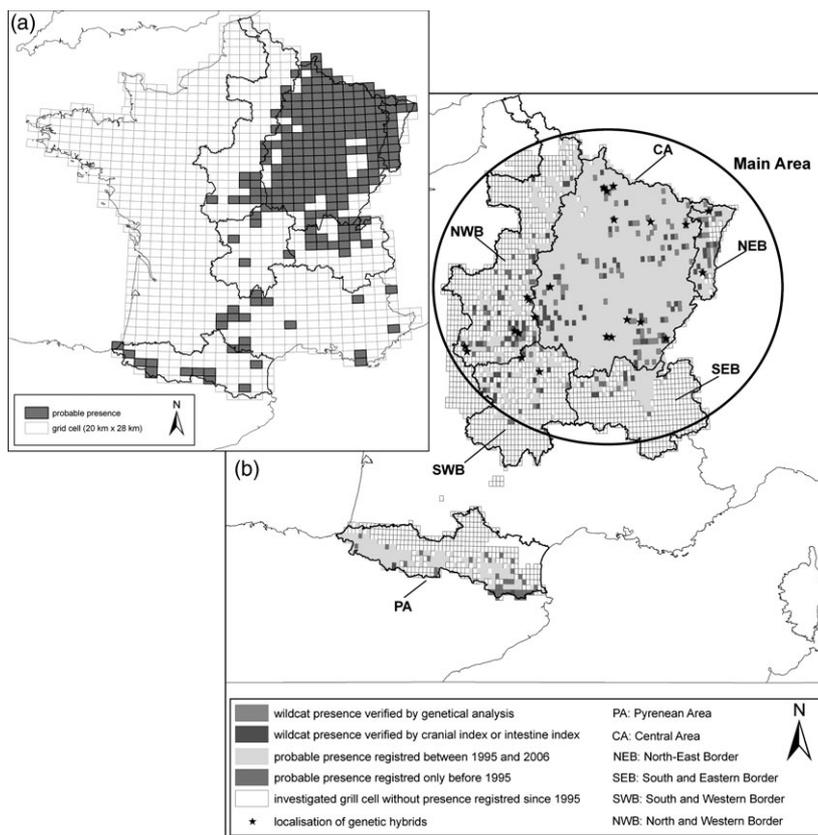


Figure 7 Distribution du chat sauvage Européen en 1984 (a) et en 2012 (b).

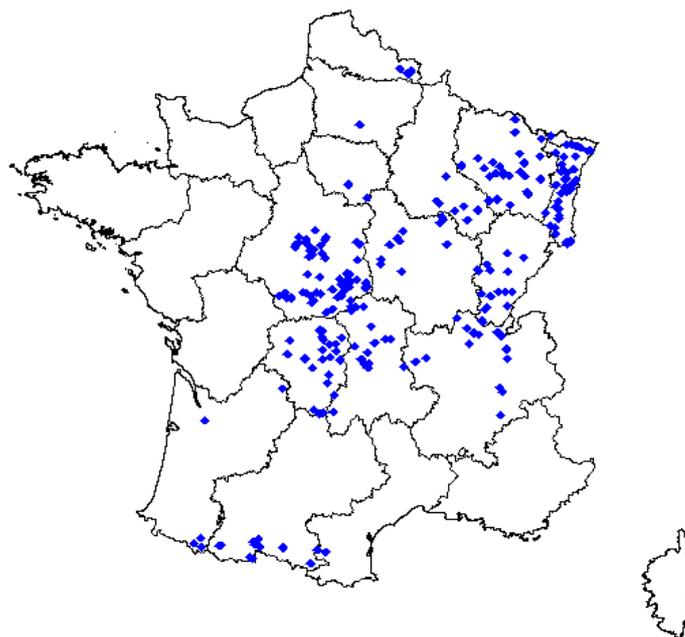


Figure 8 Distribution du chat sauvage Européen sur la période 2012-2017

### 2.3.2 Variation spatiale d'abondance et de densité chez le blaireau

Cette question a constitué le cœur du travail de thèse de Mickaël Jacquier, thèse que j'ai co-dirigée avec Ludovic Say (LBBE) et Sandrine Ruetten (ONCFS). Mieux comprendre les variations d'abondance et de densité pour une espèce abondante et distribuée de manière continue sur le territoire est important dans la gestion d'une telle espèce, d'autant plus lorsqu'elle est vectrice de maladie, à savoir la tuberculose bovine. Une étude préalable a montré des variations d'abondance relative du blaireau à l'échelle nationale (Calenge et al. 2015, Figure 1) sans toutefois relié ces variations d'abondance relative à des corrélats écologiques. Nous avons donc cherché à identifier quelles étaient les principales variables écologiques associées à ces variations d'abondance relative. Pour ce faire, nous avons repris et développé le modèle initial (Jacquier et al. Soumis) pour incorporer toute une batterie de variables écologiques connues pour influencer la présence et l'abondance du blaireau à l'échelle locale (variables de ressources alimentaires, e.g. abondance de lombrics, variables pédologiques, e.g. profondeur du sol, variables geo-climatiques, e.g. température et altitude). En effet la qualité et l'hétérogénéité de l'habitat influence directement la présence et l'abondance des organismes à différents niveaux. Cette question est souvent étudiée à une petite échelle spatiale et rares sont les études se questionnant à l'échelle de l'aire de

distribution des espèces alors même qu'il est crucial de la faire pour une espèce répandue. Nous avons donc utilisé les détections directes de blaireau (n=9439) de 2006 à 2009 pour les 703 petites régions agricoles de France métropolitaine afin d'en comprendre la variation d'abondance d'une région à l'autre. Nous avons trouvé une large variation d'abondance relative en partie expliquée par certaines variables écologiques. En plaine (<400m d'altitude), les variations d'abondances relatives ont été principalement associées positivement à des facteurs biotiques comme la disponibilité en ressources alimentaires (abondance de lombrics, surface des vergers) et négativement à la fragmentation de l'habitat forestier. Au contraire, dans les régions plus montagneuses (altitude moyenne >400m), ce sont les facteurs abiotiques comme la texture du sol qui étaient corrélés à l'abondance relative du blaireau. Nos résultats montrent donc que les facteurs dirigeant la variabilité d'abondance du blaireau à large échelle sont modulés par l'altitude et donc la complexité à comprendre ces variations d'abondance à de telles échelles spatiales.

La deuxième partie du travail de thèse de Mickaël Jacquier était d'aborder par une approche plus populationnelle que spécifique la question de la variabilité spatiale de l'abondance et de la densité de blaireau. Nous avons mené avec mes collaborateurs de l'ONCFS un lourd travail de terrain avec l'idée de répéter un protocole standardisé d'estimation de la densité de blaireau dans le plus grand nombre de territoire possibles, territoires qui devaient si possible se trouver dans des environnements contrastés. Nous avons donc conduit dans 13 sites d'environ 50km<sup>2</sup> répartis en France, entre 2014 et 2018, un protocole visant à estimer la densité de blaireau (Figure 9).

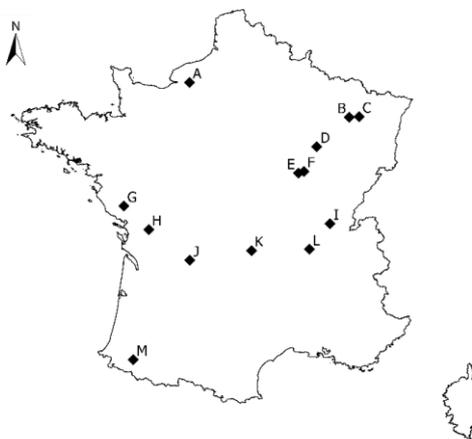


Figure 9 Distribution spatiale des 13 sites d'études en France

Pour ce faire nous avons établi un protocole standardisé comprenant une partie d'estimation de la densité en terriers par échantillonnage de la distance (i.e. « distance sampling »), une

partie d'estimation de la proportion de terriers occupés par les blaireaux, et enfin une partie d'estimation de la taille de groupe par couplage de piégeage photographique et de piégeage de poils pour détermination génétique du nombre d'individus. Les objectifs de cette étude étaient doubles. D'abord il s'agissait d'évaluer si les variables d'habitat précédemment identifiées comme déterminantes dans les variations spatiales d'abondance relative à large échelle (voir ci-dessus) étaient également explicatives des variations de densité à une échelle plus locale. Pour ce faire chacune de nos zones de 50km<sup>2</sup> ont été caractérisées par ces variables. Ensuite, nous avons cherché à comprendre quelle(s) composante(s) de l'estimation de la densité (densité en terriers, proportion de terriers occupés, taille de groupe social) étai(en)t le plus à l'origine des différences inter-sites de densité observées afin de mieux comprendre les processus à l'œuvre expliquant ces variations de densités.

La densité en terriers variait de 1.5 à 6.83 terriers par km<sup>2</sup>, le nombre d'adultes moyen par groupe social variait de 1 à 2.22 blaireaux, et, la proportion de terriers principaux occupés variait de 0.22 à 0.81. A partir de cette base-là, la densité en adulte montrait une variation s'étendant de 0.99 adultes per km<sup>2</sup> à 7.81 adultes par km<sup>2</sup>. Cette densité en adulte était principalement dépendante de la densité en terriers et très peu de la variabilité de la taille du groupe social et de la proportion de terriers occupés. Au-delà de ces facteurs endogènes de variation, la densité en adultes était inversement corrélée à l'intensité de la fragmentation forestière et positivement associée à la proportion d'habitat favorable (forêt) et à une texture fine du sol (Figure 10).

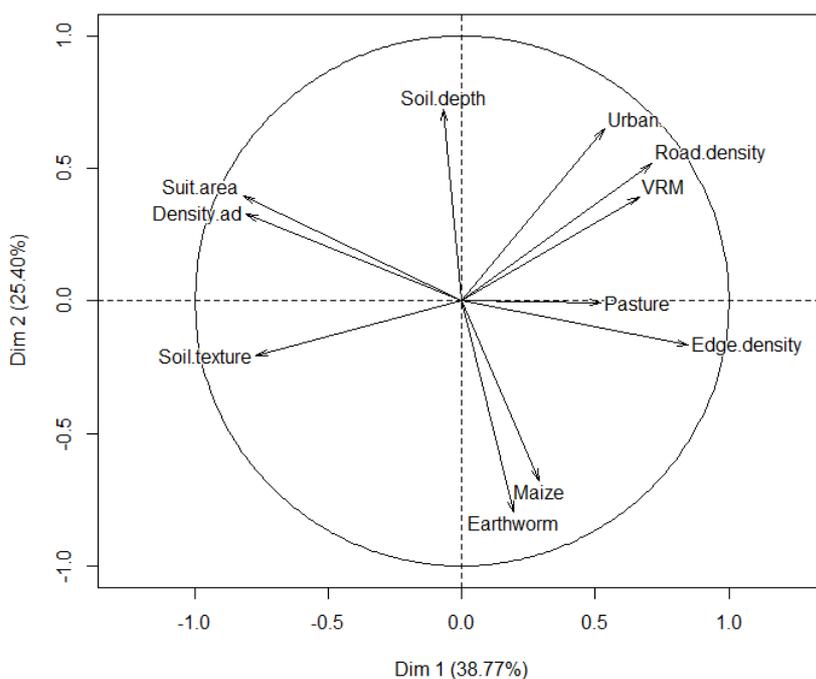


Figure 10 Analyse en Composante Principale avec les variables d'habitat et la densité en adulte (Density.ad)

Deux enseignements préliminaires sont à tirer de ces résultats. D'une part, c'est la densité en terriers qui soutient la variabilité de la densité en adultes. D'autre part, les variables responsables de la variation de l'abondance relative à large échelle ne sont pas toutes retrouvées comme étant structurantes des variations de densité à l'échelle locale. Ainsi, les variables d'habitat telles que la texture du sol, la proportion d'habitat favorable ou la fragmentation forestière jouerait sur le nombre et la densité de terriers présents sur un territoire. La taille de groupe, relativement constante d'un territoire à l'autre, n'est que peu influencée par les variables proposées dans l'analyse. Il n'est pas à exclure que nous soyons passé à côté de variables pertinentes. Ces résultats sont en cours d'exploitation (Jacquier et al. En préparation) et nous n'avons, pour l'heure, pas encore totalement réfléchi à leurs implications fondamentales et appliquées. Toutefois, comprendre les déterminismes de la variation de densité des populations de blaireaux est important d'un point de vue de la gestion, en particulier dans le contexte de la zoonose de la tuberculose bovine. En effet nos résultats permettront à nos collègues épidémiologistes de mieux paramétrer leurs modèles théoriques de propagation et transmission de la zoonose.

### 2.3.3 Variation temporelle de la densité de loutre après une perturbation

Cette étude, ponctuelle, avait pour objectif principal d'évaluer si une perturbation d'origine anthropique pouvait avoir des effets détectables sur la densité de population. Elle relève donc plus d'une étude d'impact que d'un projet à moyen terme. La problématique est la suivante : est-ce que la remise en navigabilité d'un tronçon de cours d'eau, et les travaux sur les berges et les écluses qui l'accompagnent, peuvent avoir un impact écologique sur une espèce semi-aquatique de mammifères carnivores, la loutre Européenne (*Lutra lutra*). Pour répondre à cette question, nous avons avec mes collaborateurs de l'ONCFS, monté un protocole nous permettant nous permettant d'estimer la densité de loutres (cette section), mais également la taille efficace et le rapport  $N_e/N$  (section 2.6.3) en deux points temporels (2013 et 2017). La loutre est une espèce évasive, difficilement capturable, et seule une approche non-invasive était envisageable. Le long d'un tronçon de 50km du lot (Aveyron), nous avons réparti 35 points d'échantillonnage d'épreintes. Chaque point a été échantillonné durant trois semaines distinctes séparées par une quinzaine de jours, et ce en 2013 et 2017. Ces échantillonnages nous ont permis d'identifier les individus présents sur le tronçon, de construire leur histoire de

capture sur 3 occasions de captures et bien sûr obtenir leurs génotypes à 15 loci microsattellites. Ces données ont été analysées par une étudiante de master 2 (Betty-Ann Bourrié pour les données préliminaires de l'étude pilote en 2012) et deux étudiantes de master 1 (Juliette-Anne Belot pour l'estimation de densité en 2017, Céleste Joly pour l'estimation de la taille efficace en 2019), stages que j'ai tous dirigés. Les deux dernières seront associées à la rédaction de l'article en préparation. Dans cette section, je présenterai les résultats inhérents à l'estimation de la densité de population et sa variation temporelle. Il est à noter que nous n'avons pas de données avant la remise en navigabilité de par les lenteurs administratives à obtenir le financement, les travaux sur le cours d'eau ayant commencé avant le début de l'étude, et que ceci est instructif pour mieux comprendre comment fonctionne la gestion et la conservation en pratique. Peu importe, les histoires de captures ont été analysées par des modèles classiques d'estimation de taille de population fermées démographiquement.

Les résultats obtenus ont été surprenants : les estimations de densité étaient de 1.47 loutres/km de rivière en 2013 et de 1.70 loutres/km de rivière en 2017. Ces densités extrêmement élevées pour la loutre au regard de ce qui a été estimé ailleurs en Europe (fourchette entre 0.1 et 0.6 loutres/km) montrent que la population de loutres sur ce bassin-versant de l'Aveyron est très dynamique, et reflète globalement une dynamique expansionniste dans la région. La densité a eu tendance à augmenter entre 2013 et 2017 ce qui est encore un signe très positif. Toutefois, nous ne sommes pas l'abri que parmi tous les individus identifiés certains soient des individus de passage ne participant pas à la reproduction, et une forte densité qui s'accompagnerait d'une faible taille efficace ne serait pas forcément le témoin d'un bon état de conservation de la population. C'est pourquoi, pour compléter ces estimations de densité nous avons souhaité travailler sur le rapport  $Ne/N$ , marqueur usuel de l'état de conservation des populations en génétique de la conservation (section 2.6.3).

## 2.4 Impact des prélèvements sur la dynamique des populations

Comme énoncé en introduction, certaines des espèces suivies au cours de mes travaux de recherche sont prélevées par piégeage, chasse ou les deux. Un des enjeux de la gestion de ces espèces est d'évaluer l'efficacité des prélèvements à réguler les populations, sans toutefois les mettre en danger, et d'évaluer les conséquences démographiques de ces prélèvements. Ainsi modéliser l'impact des prélèvements sur les paramètres démographiques (survie et

reproduction) et le taux de croissance des populations est crucial en gestion. Au travers de quelques exemples, j’aborderai dans les sections suivantes ces différents points.

#### 2.4.1 Effets du piégeage sur les paramètres de survie chez la martre et la fouine

Suite à la première étape d’estimation de survie âge-dépendante chez la martre et la fouine (section 2.2.1), nous avons intégré la pression de piégeage comme covariable afin d’évaluer comment la survie de ces espèces était influencée par la présence de piège à proximité. Cette intensité de piégeage consistait en la densité de pièges actifs dans un rayon de 2km autour de chaque localisation. La sélection de modèle nous a conduit à garder la covariable intensité de piégeage. La survie mensuelle des individus était négativement corrélée à l’intensité de piégeage chez les deux espèces même si l’effet était bien plus fort chez la fouine que chez la martre, cette dernière étant moins exposée au piégeage (Ruetter et al. 2015, Figure 11).

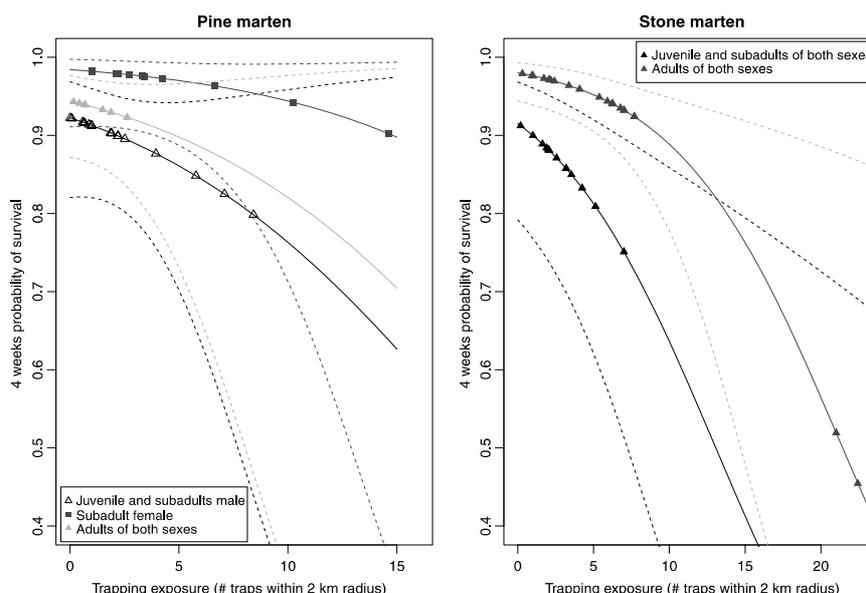


Figure 11 Survie dépendante de l’intensité de piégeage chez la martre et la fouine

En considérant la mortalité attribuée au piégeage comme additive à la mortalité naturelle, il nous a été possible d’estimer la probabilité de survie adulte annuelle théorique en l’absence de piégeage : celles-ci s’élevaient à 0.70 chez la martre et à 0.68 chez la fouine. Ces estimations avec et sans piégeage nous permettront de mieux modéliser la dynamique de population en environnement hétérogène vis à vis du piégeage (section 2.7.1).

## 2.4.2 Efficience des prélèvements pour contrôler les populations de renards

Cette partie est également un chapitre de la thèse de Nicolas Lieury (Lieury et al. 2015). Les densités de renard ont été estimées dans cinq populations par une approche d'échantillonnage des distances d'observation (« Distance Sampling ») sur une période de 5-6 ans en hiver (i.e. avant la reproduction, densité en adultes) selon les sites. De ces estimations de densités, nous avons dérivé les taux d'accroissement annuels des populations. Parallèlement, dans chacun des sites, nous avons estimé le taux de prélèvements par une récolte quasi-exhaustive des individus tués à la chasse ou par piégeage (Figure 12). Il est à noter que dans chacun des sites, l'intensité de prélèvements a été manipulée en deux périodes : l'une avec des prélèvements maximums et l'autre avec un relâchement de ces prélèvements. Nos objectifs étaient triples. Premièrement nous voulions estimer le taux de prélèvement nécessaire pour maintenir les populations de renards autour de la densité moyenne observée (1 renard/km<sup>2</sup>,  $\lambda=1$ ). Dans un deuxième temps, nous souhaitions évaluer comment la proximité de la population à la capacité limite du milieu modulait la réponse aux prélèvements des différentes populations. Enfin, et découlant des deux points précédents, nous voulions proposer une stratégie de gestion efficiente tout en réduisant le nombre d'animaux tués dans un contexte de ressources financières et humaines toujours en décroissance. Pour satisfaire à ces objectifs, nous avons modélisé la variation temporelle des taux d'accroissement annuel en fonction des intensités de prélèvements à différents stades du cycle de vie du renard (période de reproduction vs. période de dispersion) sous l'hypothèse que si l'immigration est le principal processus compensatoire dans la dynamique de population du renard, la mortalité post-dispersion devrait être moins compensée que celle pendant la période de reproduction pré-dispersion.

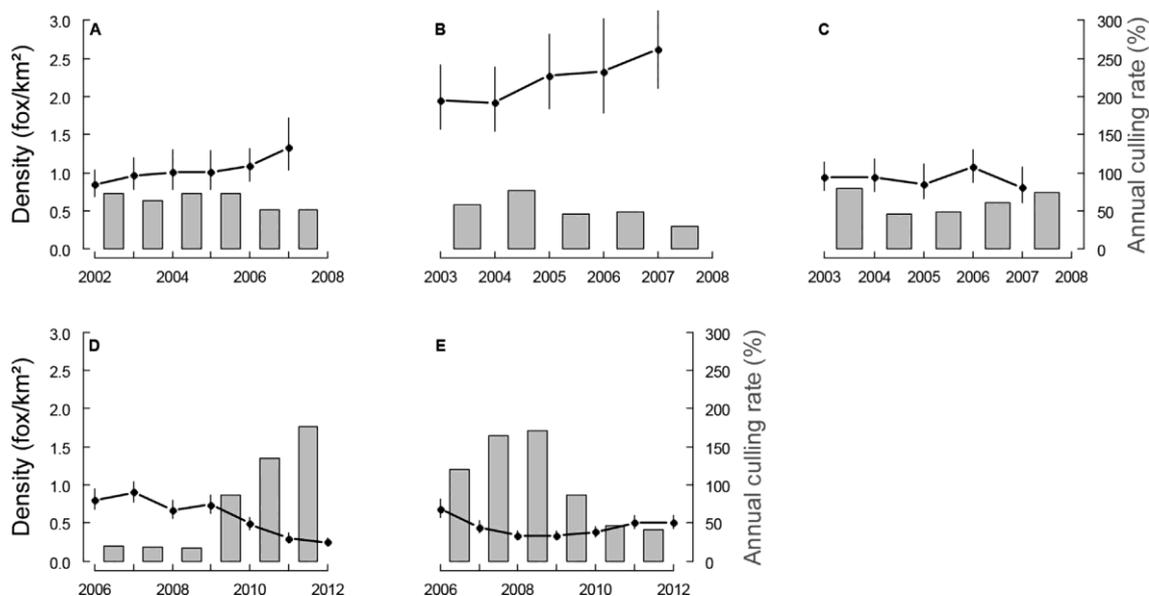


Figure 12 Covariation de la densité de population et des taux de prélèvements dans cinq populations de renards

Nos résultats nous ont permis de tirer plusieurs enseignements sur la relation entre prélèvements et taux d'accroissement des populations mais j'appuierai ici sur seulement un. Nous avons trouvé un processus de compensation par l'immigration de la mortalité par prélèvements très marqué. L'immigration compense quasi-intégralement les prélèvements réalisés en début de saison, à savoir pendant la période de reproduction. Ces prélèvements précoces sont donc inefficaces pour réguler les populations de renards. Au contraire la compensation par l'immigration est presque nulle pour les prélèvements effectués après la phase de dispersion. Globalement, en maintenant le même système de prélèvements, il est nécessaire de tuer 45% de la population d'adulte pour maintenir la population à l'équilibre. Si des prélèvements plus ciblés après la dispersion, i.e. en hiver) étaient réalisés, seuls 25% d'animaux tués permettent de maintenir  $\lambda=1$ . Changer qualitativement (i.e. la phénologie des prélèvements) permettrait de diminuer le taux de prélèvement efficace, ce qui serait plus éthique et moins dispendieux économiquement.

#### 2.4.3 Une parenthèse aux carnivores : impact de la chasse sur la paternité multiple chez le sanglier

Le sanglier (*Sus scrofa*) n'est pas un mammifère carnivore mais est intensément prélevé. Avec Ludovic Say (LBBE) et Eric Baubet (ONCFS), nous avons encadré la thèse de Thibault Gayet qui avait pour objectifs d'une part de décrire le système d'appariement du sanglier, et

plus particulièrement le patron de paternité multiple dans plusieurs populations, et d'autre part, d'étudier comment la chasse et le prélèvement des plus gros mâles, pouvaient modifier ce système d'appariement. Ainsi les travaux de Thibault Gayet s'inscrivaient également dans la thématique de l'impact des prélèvements sur le fonctionnement des populations. L'hypothèse de travail de ces travaux était le suivant : le système d'appariement du sanglier est décrit comme polygyne, les mâles les plus gros, dominants, monopolisent les femelles lors de la reproduction et s'assurent ainsi une grosse partie du succès reproducteur de la population. La chasse sélective aux gros mâles a donc le potentiel pour déstructurer ce système d'appariement et permet ainsi aux mâles plus jeunes d'accéder à la reproduction, le système d'appariement devenant plus de la promiscuité, sans monopolisation des femelles. Il s'en suivrait un taux de paternité multiple plus élevé lorsque les prélèvements, particulièrement ceux des gros mâles, sont plus importants. Pour tester cette hypothèse, nous avons travaillé sur la population intensément suivie de Chateauvillain (Gayet et al. 2016). Les tissus des fœtus, de leur mère et des pères potentiels ont été obtenus au tableau de chasse de 2007 à 2015. Ces tissus ont été génotypés sur 12 loci microsatellites, et le père potentiel de chacun des fœtus a été soit identifiés parmi les mâles disponibles soit reconstitués à partir du génotype de la mère et de celui du fœtus. Il en a découlé deux métriques caractérisant la paternité multiple : chaque portée a été caractérisée comme portée à paternité simple ou paternité multiple, et, le nombre minimal de père par portée a également été enregistré. L'idée ensuite a été de disposer de métriques caractérisant la pression de prélèvement pour relier les métriques de paternité multiple à cette dernière. De tous les mâles tués à Chateauvillain depuis 1982, nous avons extrait le quantile à 80% de la distribution de poids de ces mâles. Cette valeur nous a servi de seuil pour affecter chacun de nos mâles tués sur la période dans la catégorie « gros mâles » (>seuil) ou mâle « normaux » (<seuil). Ainsi pour chacune des années pour lesquelles nous disposons de nos métriques de paternité multiple, il a été possible d'obtenir la proportion de gros mâle au tableau de chasse, i.e. l'intensité de la chasse sélective en quelque sorte. Nous avons ensuite modélisé la probabilité pour une portée d'être à paternité multiple et le nombre de pères par portée en fonction d'une part de la proportion de « gros » mâle au tableau de chasse mais aussi d'un ensemble de variables pouvant être confondantes (e.g. masse de la mère, date Julienne de l'accouplement, disponibilité en ressources alimentaires, nombre de sangliers tués par unité de surface).

La proportion de « gros » mâles au tableau de chasse a eu, comme attendu, un effet positif sur la probabilité pour une portée d'être à paternité multiple et sur le nombre de pères par portée. Plus la chasse est sélective des gros mâles, plus le système d'appariement polygyne est

déstructuré et plus un nombre important de mâles accèdent à la reproduction, sans monopolisation des femelles, se traduisant par une augmentation de la paternité multiple dans la population et du nombre de pères par portée. Ces résultats sont importants pour comprendre l'effet des prélèvements sur la démographie du sanglier car dans le même temps l'augmentation du nombre de père par portée se traduit par une augmentation de la taille de portée (Gayet et al. 2016). Ainsi prélever proportionnellement plus de gros mâles dans la population pour la chasse au trophée pourrait avoir un effet non attendu sur la démographie du sanglier car cela se traduirait par une augmentation de la taille de portée et donc un renforcement de la démographie. La modélisation démographique de ces effets était au programme de la thèse de Thibault Gayet mais ceci n'a pu aboutir faute de temps. Il n'en reste pas moins que formaliser l'effet de la chasse sélective sur la démographie du sanglier est un projet que je souhaiterais mener par exemple dans le cadre d'un stage de Master 2.

## **2.5 Utilisation et sélection de l'habitat comparative pour mieux comprendre la coexistence d'espèces syntopiques**

Quand deux espèces phylogénétiquement très proches comme la martre et la fouine vivent en syntopie, des mécanismes doivent se mettre en place pour permettre la coexistence. Un des axes sur lequel elles peuvent différer est celui de l'écologie spatiale, utilisation et sélection d'habitat. Profitant de nos suivis télémétriques déjà évoqués pour ces deux espèces, nous avons décrit l'utilisation et la sélection de l'habitat de ces deux espèces dans le même habitat où elles vivent en syntopie. Ces travaux ont été au cœur de la thèse de Jérémy Larroque que j'ai dirigée en collaboration avec Sandrine Ruelle (ONCFS). Nous avons abordé trois points : d'abord la description des domaines vitaux et de la fidélité à ces domaines vitaux d'une saison à l'autre (Larroque et al. 2018), puis le patron d'utilisation de l'habitat pour les gîtes diurnes (Larroque et al. 2015), et enfin, la sélection de l'habitat (Larroque et al. 2017). Nous avons mené une approche comparative afin d'identifier là où les deux espèces différaient le plus et réfléchit en quoi ces différences pouvaient permettre la coexistence.

### **2.5.1 Utilisation d'habitat comparée chez la martre et la fouine**

Cerner les variations de la taille et de l'emplacement des domaines vitaux et les facteurs responsables de ces variations est crucial afin d'améliorer la compréhension de la biologie des espèces ainsi que les mesures de gestion et de conservation à appliquer sur ces espèces. Nous

avons analysé les variations saisonnières associées à l'âge et au sexe de la taille des domaines vitaux, ainsi que de leur stabilité temporelle pour la martre et la fouine dans une même zone rurale où elles vivent en syntopie durant plusieurs saisons consécutives. La martre a montré des domaines vitaux plus importants que le fouine (Figure 13) et ce quel que soit le sexe et la méthode d'estimation de la taille des domaines vitaux utilisée. Dans les deux espèces, la taille de domaine vital des mâles était plus importante que celle des femelles, patron caractéristique de l'organisation socio-spatiale chez les mustélidés (i.e. territorialité intra-sexuelle avec chevauchement de plusieurs domaines vitaux femelles par les mâles). Nous n'avons en revanche pas détecté d'effet de l'âge ni de la saison sur la taille des domaines vitaux. L'analyse sur la fidélité a montré que les deux espèces répondent aux fluctuations temporelles de l'environnement en modifiant l'emplacement de leur domaine vital et non la taille, mais que cette fidélité au domaine vital est plus marquée chez la martre que chez la fouine. Cette différence interspécifique dans la fidélité est probablement liée aux perturbations plus nombreuses de l'habitat préférentiel de la fouine (i.e. le bâti humain, voir ci-dessous section 2.5.2) qui la contraignent à changer plus fréquemment de domaines vitaux que la martre plus inféodée à la forêt plus stable.

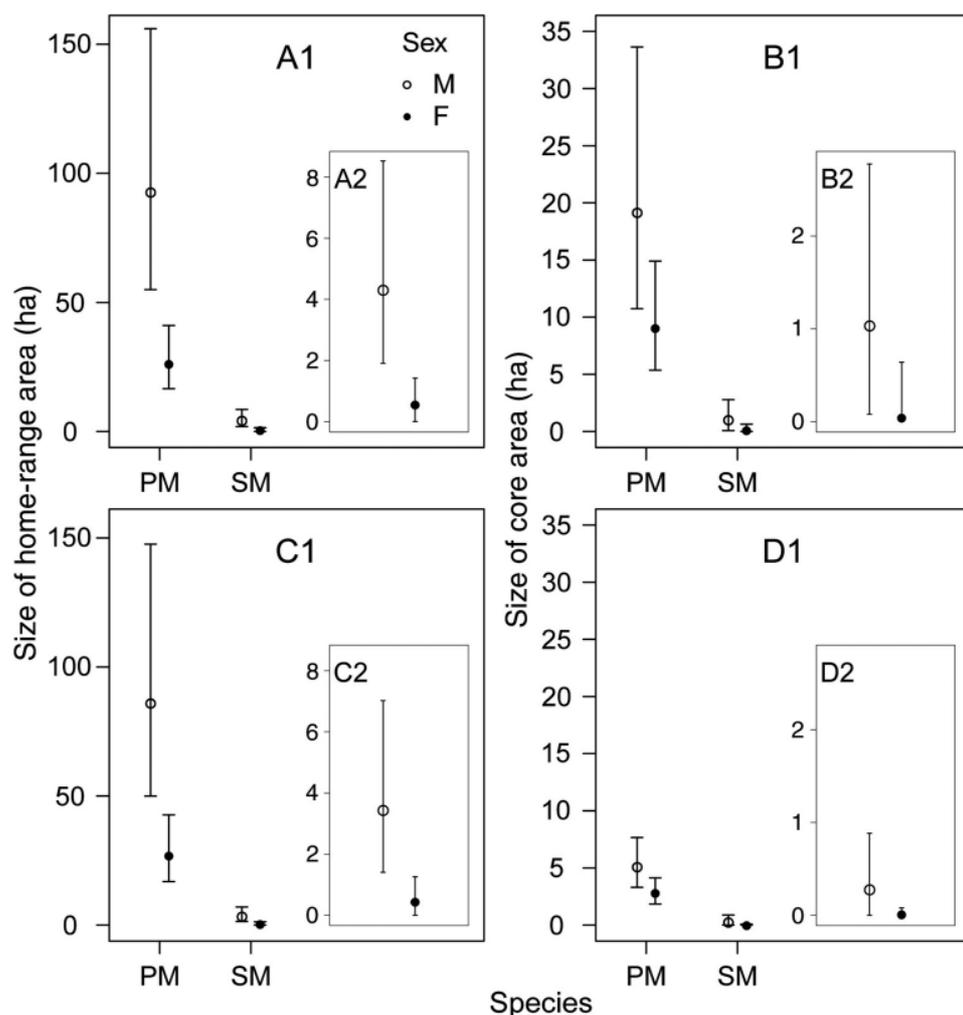


Figure 13 Estimation MCP 90% de la taille des domaines vitaux (A1) et des noyaux d'occupation (B1, MCP 50%) chez la martre et la fouine. C1 et D1 donnent les estimations par la méthode « Characteristic Hull ». A2, B2, C2 et D2 sont des zooms pour la fouine. PM Pine Marten (martre) ; SM Stone Marten (Fouine)

## 2.5.2 Sélection d'habitat comparée chez la martre et la fouine

Cette première approche de la description de l'utilisation de l'habitat nous a permis de décrire le patron des domaines vitaux des deux espèces. Taille et fidélité du domaine vital diffèrent entre les deux espèces mais cela n'apporte que peu d'informations pour une meilleure compréhension de la coexistence. Pour ceci, il nous faut entrer un peu dans le détail et décrire le patron d'utilisation de l'habitat pour un élément clé de l'écologie de ces espèces, le gîte diurne.

L'hypothèse de complémentarité de niche prédit que deux espèces syntopiques doivent différer pour au moins une exigence écologique parmi trois, utilisation de l'habitat, régime alimentaire et rythme d'activité, pour pouvoir coexister. Martre et fouine sont très similaires (e.g. section 2.2.1) pour leur écologie générale et doivent donc différer sur des points précis.

Le gîte diurne est un élément essentiel à ces espèces car c'est le site de repos et de reproduction. Nous avons donc décrit le patron de gîtes diurnes pour ces deux espèces, à savoir le nombre de gîtes dans le domaine vital, la surface sur laquelle ils sont distribués et l'habitat principal dans lequel ils sont situés. Des patrons différents pour les deux espèces expliqueraient pour partie la coexistence des deux espèces. Après avoir identifiés les sites de gîtes par les localisations VHF, nous avons pu montrer que la fouine utilisait moins de gîtes, distribués sur une plus petite surface, et que la très grande majorité de ces gîtes étaient situés en habitat ouvert (83%) à proximité des habitations humaines tandis que la quasi-totalité des gîtes de la martre était situés en forêt (98%). Ces différences majeures dans le patron d'utilisation de l'espace pour un élément clé de l'écologie de ces deux espèces permet probablement la coexistence en diminuant la compétition pour l'espace entre les deux espèces. Néanmoins, l'utilisation différentielle de l'habitat ne vaut pas pour une sélection différentielle de celui-ci car la description de l'utilisation ne tient pas compte de la disponibilité des habitats. Nous avons donc mené une étude de sélection de l'habitat à plusieurs échelles spatiales et niveau de sélection pour mieux comprendre encore comment ces deux espèces coexistent et quels sont les mécanismes comportementaux débouchant sur une utilisation différente de l'habitat. Les individus répondent couramment à leur environnement de vie au travers de différentes échelles spatiales et la sélection de l'habitat est un processus hiérarchique s'exerçant à différents niveaux qui révèlent des processus comportementaux distincts. Les deux niveaux de sélection d'habitat que nous avons considérés ont été : d'une part, la sélection de l'emplacement du domaine vital dans l'environnement plus large, i.e. est-ce que les individus sélectionne un domaine vital ayant des caractéristiques particulières par rapport à l'environnement disponible ?, puis, d'autre part, la sélection des localisations à l'intérieur du domaine vital par rapport au disponible, i.e. est-ce que les individus sélectionne certaines parties de leur domaine vital? Aux deux niveaux de sélection d'habitat, les deux espèces ont différé sur certains points. La fouine sélectionne le bâti humain tandis que la martre sélectionne les patches de forêt. Au-delà d'une utilisation différentielle de ces éléments, il y a donc une vraie sélection de la part des individus pour ces éléments du paysage. Néanmoins les deux espèces évitent les zones ouvertes pour leurs gîtes mais sélectionnent toutes deux les haies confirmant que la syntopie doit tout de même se traduire par des interactions comportementales même si l'échelle spatiale de la sélection diffère entre les deux espèces. Un point important de cette étude est que la fouine a montré plus de variabilité inter-individuelle dans la sélection d'habitat que la martre ce qui pourrait traduire une plus grande plasticité comportementale et écologique pour cette espèce. Par

exemple la fouine a colonisé le milieu urbain dans certaines parties de son aire de distribution tandis que la martre reste uniquement rurale. L'hypothèse d'une exclusion de la fouine par la martre des habitats forestiers reste aussi discutée au sein de la communauté des écologues des mustélidés. Pour conclure, ces patrons de sélection différentielle de l'habitat entre les deux espèces est probablement le mécanisme comportemental autorisant la coexistence entre les deux espèces en syntopie.

## 2.6 Génétique des populations, génétique du paysage et génétique de la conservation

L'utilisation de l'outil moléculaire pour répondre à des questions écologiques, sensu écologie moléculaire, a constitué une grande part de mes activités de mes recherches depuis ma thèse et jusqu'à maintenant. Cette discipline a considérablement changé techniquement cette dernière décade avec en particulier l'essor des nouvelles techniques de séquençage haut débit. Les questions elles n'ont pas tant changé mais les outils oui. Au cours de mes travaux j'ai été amené à manipuler des données microsatellites (beaucoup), des données de séquences mitochondriales (un peu) et plus récemment des données issues d'expérimentation RadSeq pour la détermination sub-spécifique du statut du chat forestier Corse. Le panel de questions auxquelles j'ai tenté d'apporter des éléments de réponse est lui aussi assez vaste. Il peut néanmoins se structurer en trois points. D'abord, je me suis beaucoup intéressé aux différents niveau de structuration spatiale de la variabilité génétique, depuis la structuration à fine-échelle spatiale (*i.e.* à l'échelle des groupes familiaux ou sociaux) jusqu'à celle observée à l'échelle de l'aire de distribution d'une espèce. Dans ce cadre j'ai aussi participé à développer des approches méthodologiques pour répondre plus efficacement à mes questions. Ensuite, et plus récemment, c'est l'effet du paysage sur la distribution de la variabilité génétique, sensu génétique du paysage, qui a sous-tendu mes recherches. Quels sont les éléments du paysage, naturels ou d'origine anthropique, qui facilitent ou freinent les flux de gènes, et ce, à différentes échelles spatiales. Enfin, et je ne l'aborderai pas ici, la thématique de l'hybridation entre sous-espèces sauvages et sous-espèce domestiques (complexes Chat sauvage Européen/chat domestique et sanglier/cochon) a également été une part importante de mes travaux en écologie moléculaire. Alors il n'est pas question ici de tout présenter à la lecture (l'essentiel est dans ma liste de publication) mais d'illustrer les deux premiers points par des exemples issus de mes encadrements étudiants et non encore publiés pour l'essentiel.

### 2.6.1 Structuration génétique contemporaine chez différentes espèces de meso-carnivores : l'exemple du blaireau et du raton laveur

La section 2.3.2 portant sur l'estimation des densités de blaireau en France a permis de présenter le projet « blaireau » mené conjointement avec Sandrine Ruet de l'ONCFS et structurant la thèse de Mickaël Jacquier. Dans le cadre du protocole d'estimation de la taille de groupe nous avons récolté des échantillons de poils, qui nous ont permis d'identifier génétiquement (sur 24 loci microsatellite) 264 blaireaux répartis dans 11 de nos 13 populations. A l'aide de ce jeu de données, nous avons pu aborder deux questions : quel est le niveau de structuration génétique à l'échelle de la France, i.e. comment se répartit la variabilité génétique entre populations, et, quel est la structuration génétique à l'intérieur de chaque population, i.e. à quelle échelle spatiale se fait la structuration et le groupe social est-il un élément structurant ? Le contexte derrière ces questions est bien entendu l'échelle spatiale à laquelle se font les flux de gènes, ce qui pourrait nous renseigner sur l'échelle spatiale à laquelle se fait la transmission de la tuberculose bovine, le blaireau étant réservoir de cette zoonose.

A l'échelle inter-populationnelle, il est ressorti un fort niveau de différenciation entre les populations ( $F_{st} \text{ global} = 0.142$ ) mais une absence de patron d'isolement par la distance et une absence de structure spatiale à l'échelle de la France. Deux populations proches pouvaient montrer une différenciation plus forte que deux populations bien plus éloignées. Ce résultat, un peu surprenant, pourrait provenir d'éléments distincts de recolonisation post-glaciation et être la résultante de multiples effets fondateurs. Un séquençage de l'ADN mitochondrial pourrait nous aider à mieux cerner la phylogéographie du blaireau à l'avenir. Quoiqu'il en soit, ce résultat montre que peu de flux de gènes se déroulent même entre populations proches (une centaine de kilomètres) et laisse entrevoir que la transmission de la tuberculose bovine ne peut pas se faire à cette échelle spatiale. Lorsque nous avons étudié la structuration à fine échelle spatiale à l'intérieur de nos populations (6 seulement sont considérées ici ayant assez d'individus), nous avons montré pour chacune d'entre elles, un patron d'isolement par la distance, une structuration spatiale en deux patchs et la présence d'autocorrélation spatiale des fréquences alléliques, avec, des individus se ressemblant lorsqu'ils sont distants de moins de 400m (Figure 14). La structuration génétique chez le blaireau se fait donc à très fine échelle spatiale et le groupe social semble avoir un rôle prépondérant dans cette structuration, et ce indépendamment de l'habitat occupé. Ce patron est en effet répétable dans nos six populations considérées. Cette échelle de 400m est très proche de l'échelle à laquelle nous avons pu

regrouper les terriers en complexes de terriers appartenant au même groupe social. Ainsi par le couplage de ces deux approches nous avons pu définir la couverture spatiale d'un groupe social de blaireau. Au niveau épidémiologique, les flux de gènes se déroulant à l'intérieur d'un groupe social et entre groupe social proches, la transmission de la tuberculose bovine doit suivre le même patron. Ainsi, nous pouvons proposer des mesures de lutte contre la maladie : élimination du groupe social infecté et vaccination des groupes adjacents. Outre ces résultats, cette étude montre comment une espèce abondante et distribuée de manière continue sur un large territoire peut être fortement structurée dans l'espace mais que les processus sous-tendant cette structuration sont différents selon l'échelle spatiale considérée.

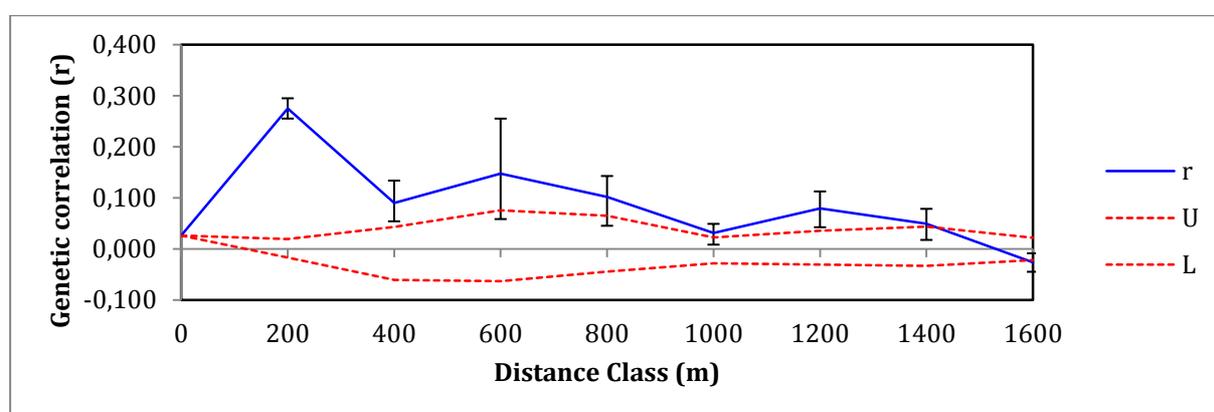


Figure 14 Autocorréogramme spatial des coefficients de parenté chez le blaireau. En bleu l'autocorrélation observée, en rouge, les bornes hautes et basses de l'autocorrélation théorique obtenue sans structure spatiale.

Le projet « raton laveur » a donné lieu à un stage de master 2 que j'ai co-encadré avec Pascale Chevret (Juliette Berger, 2018-2019). Le raton laveur est une espèce exotique envahissante et la lutte contre cette espèce passe par l'élimination en nature des individus. Cette élimination ne peut éradiquer la population lorsque celle-ci est bien installée dans l'environnement mais participe plus à la gestion des populations invasives, gestion dont l'objectif est de stopper, ou à minima ralentir l'expansion vers de nouveaux territoires. Pour bien gérer il est nécessaire de définir des unités de gestion et cela passe par des cartes de distribution mais également par l'outil moléculaire qui permet de définir des unités de populations au travers de l'étude de la structuration génétique. Notre projet sur le raton laveur avait cet objectif mais également celui de retracer les origines géographiques des populations françaises, leur degré de connectivité entre elles et avec les populations adjacentes Européennes. Les différentes populations Françaises sont-elles issues d'une même introduction ou avons-nous subi des introductions multiples comme dans d'autres pays Européens ? Pour répondre à ces questions, nous avons

utilisés deux types de marqueurs moléculaires : les microsatellites pour la structuration génétique contemporaine, la détection des effets fondateurs, et, la séquence de la D-loop de l'ADN mitochondrial pour la phylogéographie. Trois populations reproductives sont identifiées en France, dans l'Aisne (échappée d'une base américaine dans les années 60), le massif central (probablement échappée de zoos au début des années 2000) et la Gironde (provenant de zoo au début des années 2010). Ces trois populations offrent un cadre intéressant car elles ne sont pas au même stade du processus d'invasion. Notre échantillonnage comprenait également des rats laveurs Belges provenant de la très large population Allemande introduite à la fin de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale.

L'étude de la diversité génétique et des effets fondateurs nous ont déjà donné des éléments instructifs (Tableau 5). La plus grande diversité est trouvée dans la population Belge, extension de la population la plus ancienne et la plus abondante de raton laveur en Europe. La seconde plus diverse est celle de l'Aisne sur les haplotypes alors que la richesse allélique sur microsatellite est similaire à celles des deux autres populations Françaises. C'est la plus ancienne et la plus abondante en France. Ensuite, nous avons observé une diversité allélique plus faible dans les populations du massif central et de Gironde, plus récentes et moins abondantes. En accord, ou presque, avec ces observations, un effet fondateur a été détecté dans ces deux dernières populations tandis qu'il n'est plus détectable dans les deux populations plus anciennes de l'Aisne et de la Belgique.

Tableau 5 Diversité (Ar richesse allélique), hétérozygoties observée et théorique ( $H_o$ ,  $H_e$ ) et diversité haplotypique ( $H_d$ ).

Population	$Ar$	$H_o$	$H_e$	$H_d$	Effet fondateur
Aisne	2.9	0.512	0.519	0.248	Non
Massif Central	3.07	0.508	0.517	0.166	Oui
Gironde	2.27	0.491	0.572	0.184	Oui
Belgique	5.99	0.465	0.525	0.572	Non

En terme de structuration génétique, celle-ci s'est avérée forte ( $F_{st}$  par paire compris entre 0.149 et 0.164) et la solution de regroupement a clairement montré l'existence de quatre groupes génétiques, très bien spatialisés (Figure 15).

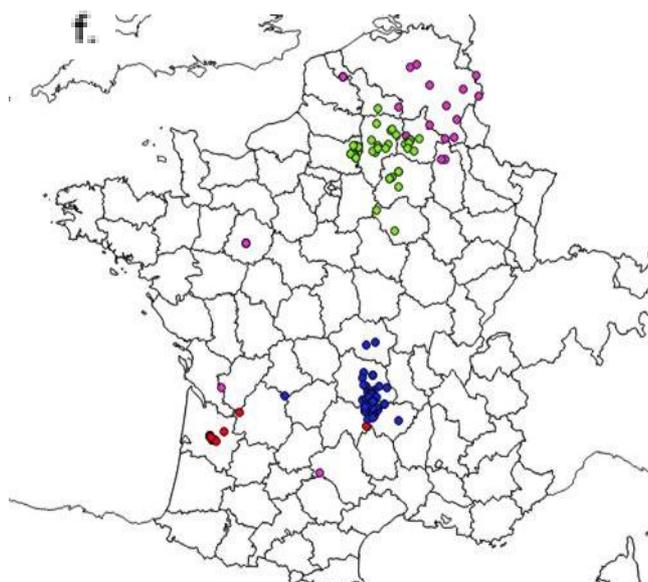


Figure 15 Spatialisation des groupes homogènes de raton laveurs en France. Rouge pour la Gironde, Bleu pour le Massif Central, Vert pour l'Aisne et Rose pour la Belgique

Il est toutefois à noter une zone de contact entre les individus appartenant au groupe de l'Aisne et au groupe Belge laissant suggérer la possibilité d'une connexion naissante entre la population Belgo-Allemande et celle du nord de la France. Cette structuration très forte et spatialisée laisse entendre également de multiples introductions d'origine géographique différentes et non un transfert d'animaux de l'Aisne vers le Massif Central et la Gironde. Les données mitochondriales confirment cette hypothèse (Figure 16). Le réseau d'haplotypes laisse entendre que la population de Gironde provient de la lignée Américaine 1, celle du Massif Central de la lignée 2 et celle de l'Aisne à la fois de la lignée 2 et de la lignée 3. Il y est aussi remarquable qu'une proximité haplotypique assez nette existe entre la population Allemande et celle du Nord de la France. Nos résultats soutiennent l'idée d'une introduction multiple en France du raton laveur. La population de Gironde et du Massif Central ont probablement une origine directe depuis les Etats-Unis via la fuite d'animaux depuis des zoos régionaux. La population de l'Aisne vient également d'Amérique mais un mélange peut être déjà détectable avec la population Belgo-Allemande. En termes de gestion, ces trois populations doivent être gérées séparément mais une dimension Européenne doit désormais être mise en place pour la population de l'Aisne.

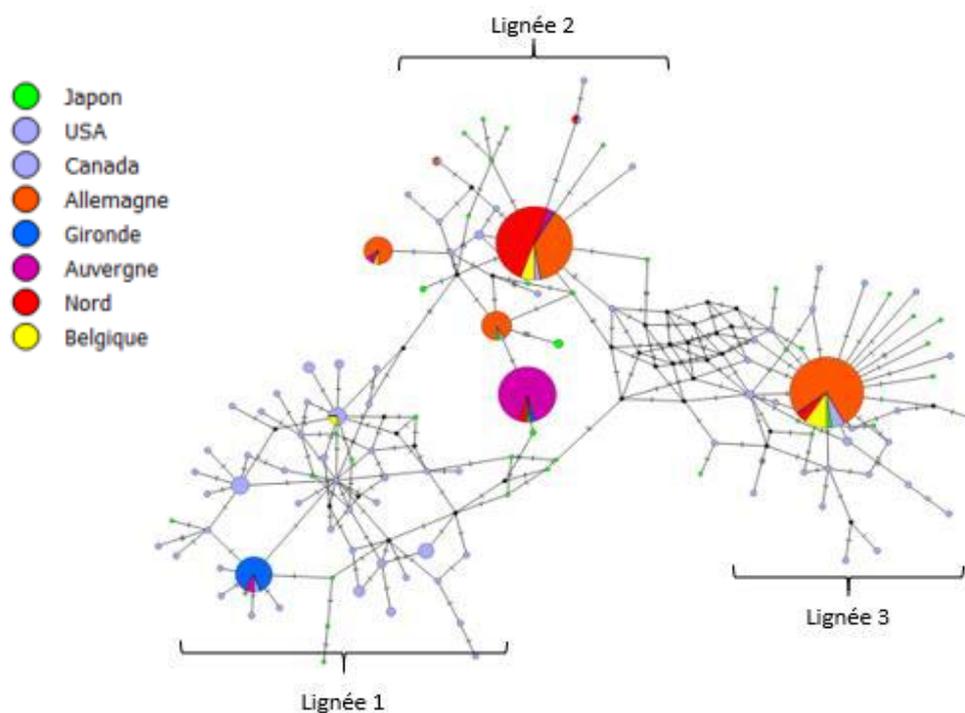


Figure 16 Réseau haplotypique des populations Françaises replacées dans l'ensemble des séquences disponibles sous GenBank.

## 2.6.2 Génétique du paysage chez la martre, la fouine et le chat sauvage Européen ... et une parenthèse chez le mouflon.

Afin de mieux comprendre comment l'habitat, et son hétérogénéité spatiale, influence le fonctionnement démo-génétique des populations, nous avons conduit une approche de génétique du paysage pour différentes espèces de carnivores (martre, fouine, chat sauvage Européen) mais également pour le mouflon. La génétique du paysage est une discipline relativement récente qui conjugue écologie spatiale et génétique des populations. L'objectif derrière cette approche est d'identifier quels sont les éléments du paysage qui influencent les flux de gènes entre populations, à savoir ceux qui les freinent et ceux qui les facilitent. Ces questions sont intimement liées à la connectivité fonctionnelle de l'habitat, et, permettent d'apporter des éléments de réponse par exemple aussi bien en génétique de la conservation qu'en épidémiologie lorsque les espèces impliquées sont vectrices de maladies ou de parasites. Nous avons décliné cette approche sur trois espèces de carnivores pour l'instant et sur le mouflon. Ces travaux ont été au cœur de la thèse de Jérémy Larroque (martre, fouine) et de celle d'Elodie Portanier (mouflon) ainsi que de son post-doctorat dans l'équipe (Chat sauvage Européen). Nous avons appliqué les méthodes de génétique du paysage chez la martre pour comparer dans deux populations distinctes en termes d'habitat les éléments du

paysage régulant les flux de gènes. Chez la fouine, nous avons intégré comme éléments du paysage la pression de piégeage afin de mieux comprendre l'effet des prélèvements sur sa démo-génétique. Enfin chez le mouflon il s'agissait de décrire les flux de gènes à l'intérieur de la population afin de mieux comprendre un système hôte-parasite. Pour terminer, chez le chat sauvage Européen, nous avons changé d'échelle spatiale et étudié la connectivité fonctionnelle à l'échelle de la France métropolitaine entière plus qu'à l'échelle d'une population. Je présente ci-dessous la synthèse de ces différents travaux.

Chez la martre (Larroque et al. 2016), nous avons pris avantage de disposer de deux populations pour lesquelles nous avons obtenu des génotypes microsatellites. Ces deux populations différaient amplement en termes d'habitat, i.e. l'une est située dans la plaine Bressane, l'autre en région montagneuse de l'Ariège. Ces deux populations différaient également en termes de fragmentation du milieu favorable, la forêt. Comme nous avons précédemment montré que ce niveau de fragmentation n'était pas lié à la diversité génétique dans ces deux populations (Mergey et al. 2012), nous avons cherché à mieux décrire les liens entre habitats et structuration génétique dans ces deux populations. La très grande majorité des études de génétique paysage ne font pas de répliques et se concentrent sur une seule population pour inférer ces liens. La force de notre approche était donc de disposer d'un réplique. Nos résultats ont donc abouti à la conclusion que les facteurs paysagers influençant le flux de gènes chez cette espèce étaient différents selon la population, et, ont donc souligné l'importance des répliques en génétique du paysage. En Bresse, les zones ouvertes freinent les flux de gènes alors que les éléments linéaires et les zones fermées (haies, bosquets, forêts) les favorisent. Toutefois, les routes et les habitations humaines ne semblaient pas être un frein aux flux de gènes. La répartition des résistances de ces différents éléments du paysage a montré que la martre, pour ces déplacements, étaient moins inféodée aux zones forestières que son écologie spatiale pouvait le laisser suggérer (section 2.5.2) et la très forte fragmentation du milieu forestier en Bresse n'était, pour l'heure, pas problématique pour la martre. En Ariège, l'effet des éléments du paysage était plus faible et le principal facteur de connectivité identifié a été l'altitude avec une connectivité maximale vers 1700m. Derrière ce résultat, il y a probablement un lien avec l'habitat tant l'habitat change avec l'altitude mais il ne nous a pas été possible de différencier les effets de l'habitat *per se* de l'effet de l'altitude.

Toujours en Bresse, et disposant d'un échantillonnage bien plus conséquent pour la fouine que pour la martre, nous avons pu mener cette approche de génétique du paysage sur cette dernière espèce dans cette population Bressane de manière plus poussée (Larroque et al. 2016). En particulier nous avons étudié les effets du sexe et de l'âge sur la connectivité

fonctionnelle, ce qui, à notre connaissance n'est que très rarement effectué. Les éléments qui influencent les flux de gènes chez les mâles sont-ils les mêmes que ceux qui le font chez les femelles ? Ensuite, comme précédemment évoqué, cette espèce est prélevée et nous disposons de la cartographie de l'intensité de piégeage sur la zone d'étude. Ce « paysage de la peur » est à prendre en compte car le piégeage chez la fouine est définitif et a donc le potentiel de freiner les flux de gènes. Globalement, le paysage influence les flux de gènes chez cette espèce mais des effets âge-et sexe-dépendant ont été montrés. Chez les mâles, c'est une combinaison du paysage et du piégeage qui influence les flux de gènes. Les flux de gènes sont ralentis par une intensité de piégeage importante, les zones ouvertes et le bâti humain jouant le même rôle que le piégeage, tandis que le milieu couvert (haies et forêt) facilite la connectivité. Toutefois, la majorité des pièges (45%) sont situés dans les milieux fermés, ce qui nous a suggéré la présence d'un piège écologique. En effet, si les fouines mâles utilisent préférentiellement le milieu forestier pour disperser alors les individus sont plus exposés au piégeage. L'habitat préférentiel sur la base des exigences écologiques lors de la dispersion est aussi le plus dangereux pour elles. Chez les femelles, les mêmes variables d'habitat ont été montrées comme influençant les flux de gènes à l'exception du piégeage. Il est bien connu que les mâles de par leur mouvement de dispersion plus importants sont plus soumis au piégeage chez les mustélidés, ce qui peut alors expliquer cette spécificité liée au sexe. Nos résultats chez la martre (ci-dessus) ont démontré l'importance des réplicas en génétique du paysage, ceux chez la fouine ont montré l'importance de prendre en compte le sexe des individus car les exigences écologiques et le patron de dispersion sont différents dans bon nombre d'espèces.

Ainsi confronter les exigences écologiques sexe-dépendantes et le patron de dispersion, avec les valeurs de résistance des différents éléments du paysage dans une approche sexe-spécifique de génétique du paysage apparaît comme la suite logique des travaux sur la martre et la fouine. En toute logique, utilisation et sélection de l'habitat devrait être en accord avec les résultats de génétique du paysage. Pour mener à bien cette confrontation, il nous fallait un modèle biologique profondément décrit en termes d'écologie spatiale. Notre choix s'est porté sur le mouflon et a fait l'objet d'une partie de la thèse d'Elodie Portanier (Portanier et al. 2018). Utilisant la même démarche méthodologique que précédemment, nous avons pu confirmer l'importance de prendre en compte le sexe dans les études de génétique du paysage car l'habitat influençait les flux de gènes chez les femelles mais pas chez les mâles. Une plus grande dispersion des mâles et leurs excursions de reproduction sont probablement à l'origine de ce patron. Chez les femelles, il y avait une bonne cohérence entre les exigences

écologiques démontrées par des approches d'écologie spatiale et les éléments du paysage influençant la connectivité fonctionnelle. Mieux intégrer les patrons de sélection d'habitat, âge- et sexe-dépendant, apparaît donc comme particulièrement pertinent pour les études de génétique du paysage.

Les travaux précédents ont tous été réalisés dans le contexte du « Causal Modelling » utilisant des tests partiels de Mantel développé par Samuel Cushman. Ne nous le cachons pas, nous avons été dès le début un peu perturbé par cette approche et ne l'avons utilisé que parce que c'était la seule disponible au début de nos travaux et donc, nécessairement la plus utilisée dans la littérature. Avec Elodie Portanier (en post-doctorat dans l'équipe actuellement), nous avons souhaité, en utilisant l'exemple du chat sauvage Européen, utiliser d'autres approches méthodologiques, en particulier les modèles linéaires mixtes. La problématique est la suivante : le chat sauvage Européen est génétiquement structuré à l'échelle de la France métropolitaine (Say et al. 2012). Comment le paysage contribue à cette structuration en freinant ou facilitant les flux de gènes entre les populations et/ou à l'intérieur de chaque population ? Ce travail a débuté en avril 2019 et nous n'avons pas encore de résultats. Le bilan de ces premières semaines est que l'utilisation des modèles linéaires mixtes en génétique du paysage n'est pas plus claire et transparente que l'utilisation du « causal modelling ».

### **2.6.3 Génétique de la conservation : taille efficace $N_e$ et rapport $N_e/N$**

Ces travaux sont la continuité directe de la section 2.3.3 portant sur l'estimation de la densité de loutres sur un tronçon du lot après une perturbation anthropique. Avec Céleste Joly (étudiante en master 1 2019), nous nous sommes attaqués à une problématique que ni elle ni moi ne maîtrisons : l'estimation de la taille efficace d'une population à partir de données microsatellites. Nous disposons de deux années d'échantillonnage (2013 et 2017) séparées de 1 à 2 générations de loutres. Il nous a fallu d'abord faire une revue bibliographique des méthodes proposées pour répondre à la question. Le bilan de cette recherche a été que les méthodes sont nombreuses, souvent complexes à comprendre pour des néophytes, et surtout pas toujours implémentés dans des outils permettant leur application sur des données réelles. Globalement les méthodes sont regroupées en deux catégories : celles qui ne nécessitent qu'un seul échantillonnage de génotypes, et, celles qui fonctionnent avec un minimum de deux échantillonnages de génotypes séparés par un nombre variable de générations, i.e. les méthodes temporelles. Ces deux familles de méthodes pouvaient être utilisées sur nos

données. Il n’y a pas une méthode qui se dégage des autres et la pratique est de coupler différentes approches méthodologiques pour en dégager un message consensuel. Nous avons donc opté pour deux méthodes à un point et deux méthodes temporelles.

Outre les estimations obtenues de la taille efficace  $N_e$ , il nous a été possible d’estimer le rapport  $N_e/N$  en mobilisant les tailles de population obtenues en section 2.3.3. Le rapport  $N_e/N$  est un marqueur usuel de l’état de conservation génétique d’une population en biologie de la conservation. Il renseigne sur le potentiel adaptatif des populations, sur l’intensité de la dérive génétique et finalement sur le degré de résistance des populations à la stochasticité environnementale, démographique et génétique. Toutes méthodes confondues, nos estimations de ce ratio  $N_e/N$  se sont positionnées plutôt dans la frange haute des estimations reportées dans la littérature (Figure 17) mais certaines valeurs peuvent toutefois être inquiétantes (i.e. celles inférieures à 0.2, seuil proposé pour déterminer si une population pose question sur son état de conservation).

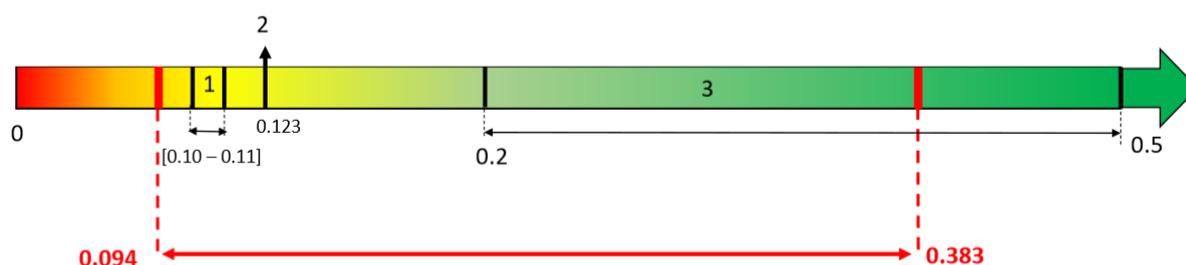


Figure 17 Estimations du rapport  $N_e/N$  dans la population de loutres du lot (en rouge). En noir, intervalle de valeurs de  $N_e/N$  reportées dans la littérature (1: Frankham 1995<sup>3</sup> ; 2: Nunney, 1994<sup>4</sup> ; 3: Palstra et Fraser 2012<sup>5</sup>)

Les deux méthodes à un point ont par ailleurs toutes deux montré une augmentation de la taille efficace  $N_e$  et du rapport  $N_e/n$  entre 2013 et 2017.

Notre population de loutres montre donc des densités de populations très élevées au regard de l’espèce, et un rapport  $N_e/N$ , pouvant être un peu faible, mais tendant à augmenter. Un scénario possible serait que la remise en navigabilité à déranger la population résidente qui a

<sup>3</sup> Frankham R (1995) Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetics Research*, 66, 95-107

<sup>4</sup> Nunney L (1994) Measuring the ratio of effective population size to adult numbers using genetic and ecological data. *Evolution*, 49(2), 389-392.

<sup>5</sup> Palstra FP et Fraser DJ (2012) Effective/census population size ratio estimation: a compendium and appraisal. *Ecology and Evolution*, 2(9), 2357-2365.

pu émigrer. Il s'en serait suivi une phase de rapide turnover avec des individus résidents mais également des individus transients et jeunes cherchant à recoloniser les territoires laissant vacants. La densité augmente mais la taille efficace reste faible. Puis avec le temps, les individus s'installent, deviennent adultes et participent à la reproduction augmentant de fait la taille efficace et le rapport  $Ne/N$ . Nous n'avons pas d'autres informations sur cette population pour étayer ce scénario. Toutefois il est à noter que seuls trois individus identifiés en 2013 l'ont été à nouveau en 2017 suggérant également ce turnover très rapide dans la population.

## 2.7 Projets à court terme

### 2.7.1 Vers une modélisation de la dynamique de populations de la martre et de la fouine en environnement spatialement variable

Fort des différents résultats obtenus dans le cadre du projet martre-fouine, nous disposons désormais de paramètres de survie âge-dépendants, de paramètres de reproduction âge-dépendants, d'une carte de perméabilité des différents éléments du paysage impactant les flux de gènes et donc les mouvements, d'une carte de pression de piégeage, et de coefficients de sélection pour différents éléments du paysage. Avec l'ensemble de ces éléments, il est envisageable de modéliser la dynamique de populations de ces deux espèces en Bresse, et plus particulièrement de le faire dans un cadre de modélisation individu-centré. Les individus naissent, survivent, dispersent et se reproduisent après s'être installés dans leur domaine vital. Leur survie est donc âge-dépendante et impactée par la pression de piégeage sur leur site de naissance et de reproduction. Leur dispersion est orientée par la résistance du paysage et leur installation conditionnée par leur sélection d'habitat pour leurs gîtes diurnes. Afin de modéliser cette dynamique de population, j'ai choisi la méthodologie implémentée dans le logiciel HexSim (Schumaker et Brooks 2018<sup>6</sup>). HexSim est un simulateur d'histoire de vie, individu-centré, permettant la modélisation spatialement-explicite de la dynamique de population dans un contexte d'analyse de viabilité. Ce travail tout juste démarré par la réalisation des cartes de pression de piégeage et de résistance du paysage dans l'environnement HexSim bénéficiera de la collaboration de Nathan Schumaker, concepteur et

---

<sup>6</sup> Schumaker NH, Brookes A (2018) HexSim: a modeling environment for ecology and conservation. *Landscape Ecology* 33:197-211.

mainteneur de l'outil. Il pourrait prendre forme avec le recrutement d'un étudiant en M2 pour l'année universitaire 2019-2020. Les attendus de ce projet sont de préciser si le piégeage tel qu'il s'est déroulé sur un laps de temps de quatre ans dans des populations syntopiques de martres et de fouines en Bresse a pu impacter le taux d'accroissement de ces populations, au point de le rendre inférieur à 1. En effet, s'il est réglementairement autorisé de piéger ces deux espèces, la réglementation stipule également que le piégeage ne doit pas mettre en péril l'équilibre de la population. Autrement dit ; le piégeage sur ces espèces, non invasives, est un outil de régulation pour maintenir les populations actuelles à l'équilibre mais en aucun cas conduire à la décroissance des populations.

### 2.7.2 Vers une modélisation de l'expansion passée et future des espèces invasives

Comme précédemment énoncé, certaines des espèces focales étudiées lors de mes travaux de recherche sont des espèces exotiques envahissantes (EEE, sensu invasives). Les travaux sur le raton-laveur initiés cette année par Juliette Berger, étudiante en M2, et concernant la structuration génétique et l'origine d'introduction par une approche classique de génétique de populations et de phylogéographie, m'ont ouvert une nouvelle thématique de recherche sur ces EEE. En effet, Les invasions biologiques sont une cause majeure d'érosion de la biodiversité au même titre que le changement climatique et la destruction/fragmentation des habitats. Comprendre les invasions biologiques est en enjeu majeur en écologie mais plus encore adapter les pratiques de gestion et de conservation à la dynamique des EEE est crucial pour mieux préserver la biodiversité. Les invasions biologiques se déroulent en trois étapes clés : l'introduction, l'installation de populations reproductives sur le site d'introduction et l'expansion/colonisation à de nouveaux habitats. Comprendre comment l'expansion a pu se réaliser au regard de la niche écologique des EEE depuis l'introduction jusqu'à la situation actuelle permet entre autre de mieux définir les exigences écologiques des EEE dans leur nouvel habitat (qui peut différer de l'habitat d'origine). Une fois cette niche écologique réalisée, il est alors possible de prédire le futur expansionnisme de ces espèces afin d'identifier les zones à risques et d'y adapter/renforcer les mesures de lutte/gestion. La France métropolitaine ou d'outre-mer n'échappe pas aux invasions biologiques. Plusieurs espèces de vertébrés ont le statut d'EEE et réclament des plans nationaux de lutte visant à éradiquer ou contrôler les populations. L'objectif de ce projet sera de mettre en place une modélisation de la niche écologique de certaines de ces espèces (Raton-laveur, Vison d'Amérique pour les

espèces de mammifères carnivores, mais également Ecureuil de Pallas *Callosciurus erythraeus*, Iguane commun *Iguana Iguana*, Ovette d’Egypte *Alopochen aegyptiaca* par exemple), de modéliser rétrospectivement l’expansion passée depuis l’introduction jusqu’à la situation actuelle, et de mettre en place/développer des modèles prédictifs de l’expansion future de ces espèces sur le territoire métropolitain et d’outre-mer à partir de données de présence géolocalisées des espèces. Dans ce cadre, j’ai déposé un sujet de thèse à l’école doctorale E2M2 de l’université de Lyon au mois de mai 2019. Le travail de thèse se découpera en quatre parties :

- Faire une revue bibliographique et exhaustive des méthodologies employées pour répondre à ces questions : cadres théoriques, avantages/inconvénients, limites d’application ...etc
- Mettre en pratique les méthodologies retenues pour prendre en compte les spécificités de chaque espèce sur les données disponibles
- -Participer au développement de nouvelles approches méthodologiques prenant en compte l’effort d’observation et le manque de données d’absence
- -Participer à l’élaboration des stratégies de gestion découlant des résultats de la thèse.

### **2.7.3 Tester des lois écologiques sur les félidés en utilisant les données de piégeage photographique**

Depuis 2012, Stefano Anile et moi-même étudions la littérature sur les Félidés afin d’identifier les études utilisant le piégeage photographique pour le suivi des populations de Félidés de par le monde. Si cette étude bibliographique nous a déjà permis d’analyser quels étaient les déterminismes de la variation de l’indice relatif d’abondance (i.e. taux de succès de capture, Anile et Devillard 2016) et de la sex-ratio opérationnelle (Anile et Devillard 2018), la base de données constituée reste encore largement inexploitée. En particulier, un des objectifs principaux des suivis par piégeage photographique chez les Félidés (et les autres espèces d’ailleurs) est l’estimation de la densité de population par capture-recapture. Nous avons donc pu amasser une grande quantité d’estimations de densité de population dans de nombreuses populations de Félidés (Figure 18).

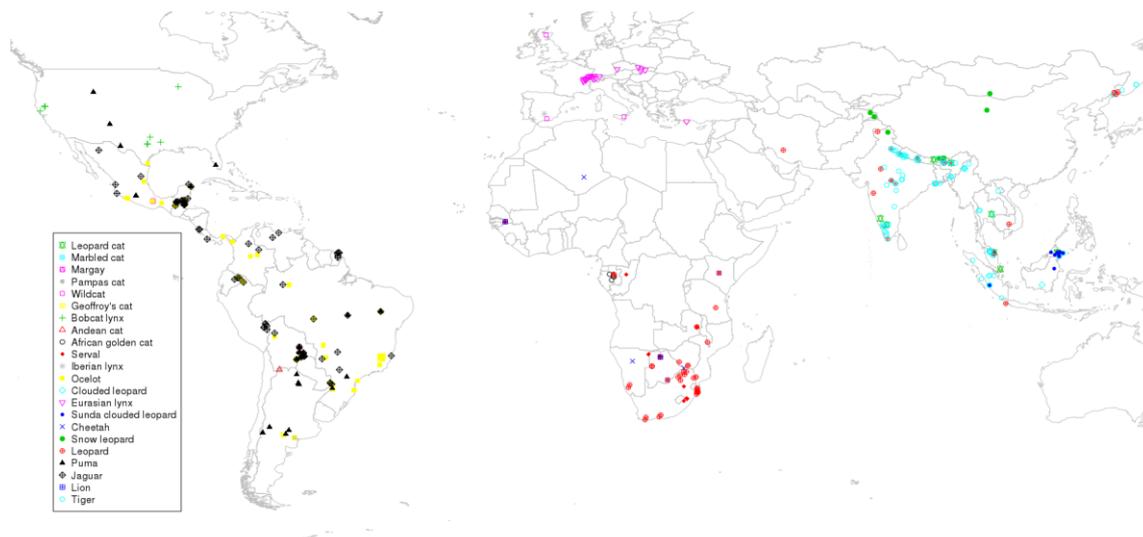


Figure 18 Répartition géographique des  $n=623$  estimations de densité de population chez 22 espèces de Félidés provenant de suivis de piégeage photographique.

Chercher à savoir si les lois écologiques (sensu règles biologiques) sont soutenues par des données empiriques à l'échelle macro-écologique est une pierre angulaire en écologie et en biologie évolutive. Parmi ces lois écologiques, les lois de puissances (sensu “power laws”) ont reçu beaucoup d'attention ces dernières décades, à la fois au niveau théorique et empirique. Ces lois relient un trait biologique, au niveau individuel, populationnel ou à l'échelle de la communauté à un autre trait avec une fonction puissance, donnant donc une relation linéaire à l'échelle logarithmique dont la pente informe sur les processus macro-écologiques agissant sur les individus, les populations ou les communautés. Ces lois de puissance ont permis par exemple de mieux comprendre les variations à grande échelle de l'abondance des populations. Par exemple, la loi de Taylor relie positivement la variance de la densité de population avec la densité moyenne de population. Cette loi a reçu beaucoup d'attention depuis le papier original de Taylor, a été testée dans de nombreux taxons et a reçu beaucoup de développements théoriques, plus particulièrement sur le sens biologique de l'exposant de cette relation. Une autre loi écologique relie la densité moyenne de population avec la masse corporelle des espèces, la loi de l'allométrie densité-masse. En se basant sur la théorie des besoins énergétiques des espèces, cette loi stipule que la densité moyenne de population décroît avec l'augmentation de la masse corporelle des espèces. Comme la loi de Taylor, cette deuxième loi a reçu beaucoup d'attention et est supportée par de nombreux taxons même si son universalité et sa pente restent toujours en discussion. Plus récemment, une

troisième loi écologique, composite des deux premières, relie donc la variance de densité de population à la masse corporelle des espèces. Cette allométrie variance de densité-masse prédit que la variance spatiale (i.e. inter-sites d'études) de densité de population diminue avec l'augmentation de masse corporelle des espèces considérées.

Nous proposons donc d'évaluer si ces trois lois écologiques sont soutenues par nos estimations de densité de populations obtenus chez les Félidés. Les implications en terme de conservation des Félidés seront discutées. Puis toujours en utilisant ces données, nous envisageons de travailler plus spécifiquement sur l'allométrie densité-masse, et en particulier les résidus spécifiques de cette relation. En effet, un résidu positif signifierait que la densité moyenne pour une espèce est plus importante que celle attendue compte tenu de sa masse corporelle ; un résidu négatif lui montrerait une densité de population inférieure à celle qu'elle devrait être compte tenu de la masse corporelle de l'espèce. Ces résidus seront ensuite associés au statut de conservation des différentes espèces, avec la prédiction que les espèces plus menacées devraient montrer des résidus plutôt négatifs alors que les espèces bien-portantes ou en expansion devraient montrer des résidus positifs. Ces deux projets devraient se concrétiser dans le courant de l'année 2019.

## 2.8 Projets à plus long terme

Lorsque j'ai été recruté, je n'ai pas hérité d'un projet à long terme sur une espèce de mammifère carnivore. Il m'a fallu partir de rien et j'ai pour le moment fonctionner sur projets tri- ou quadriennaux (projet martre-fouine, projet blaireau, projet raton-laveur ...etc) pour me mettre au rythme de mon partenaire préférentiel pour mes recherches, à savoir l'ONCFS et son unité « prédateurs-animaux déprédateurs ». Néanmoins je ne désespère pas de pouvoir installer un jour un programme à long terme sur une de ces espèces. Les deux espèces visées seraient le blaireau et le raton-laveur car leur écologie (rythme, masse corporelle, « capturabilité ») est plus conciliable que pour d'autres espèces avec l'installation d'un tel programme. Ce suivi à long terme passerait par un protocole de capture-marquage-recapture (estimation des paramètres de survie basique mais également toute l'écologie évolutive rendue possible avec ce type de suivi) avec différents prélèvements de tissus (ADN, isotopes, épidémiologie, écotoxicologie). Comme ces espèces sont prélevées, les cadavres issus de sacs de chasse ou de piégeage seront également récupérés. Au cœur d'un tel suivi serait de mieux comprendre comment les pressions de sélection associées aux prélèvements pouvant être

intensifs dans certaines zones modulent le fonctionnement démo-génétique des populations depuis les réponses comportementales des individus (domaine vital, utilisation et sélection de l'habitat) à l'exposition aux prélèvements, ce que certains nomment le paysage de la peur, en passant par la démographie de ces espèces, incluant les processus de reproduction et de sénescence, et la structuration génétique des populations, mais pour aller finalement vers l'adaptabilité de ces espèces aux environnements changeants spatialement et temporellement d'un point de vue de l'habitat bien sûr mais également du point de vue de la dangerosité de celui-ci en terme de piégeage et de chasse. Ce projet à long terme nécessite de trouver un territoire dans lequel tous les acteurs souhaitent collaborer en acceptant par exemple de relâcher des individus d'espèces susceptibles d'être classées nuisibles ou invasives. C'est une première difficulté majeure, qui par expérience, est délicate à contourner. Enfin, il faut des financements, et à ce titre, j'envisage de participer enfin au jeu des ANR dans un avenir proche.

### 3 Conclusion

J'aurais voulu faire plus, plus vite et traiter les dossiers en souffrance. Le partage entre mes activités d'enseignement et de recherche ne m'a guère laissé de temps pour faire autrement. Le présent document est un aperçu de ce qui a bien marché, ce qui s'est finalisé ou pour lequel je n'ai pas de doute que cela se finalisera à court ou moyen terme. Ce qui n'est jamais présent dans les rapports ou les publications est tout ce qui a moins bien marché. Cette conclusion rendra hommage à ces études avortées ou en souffrance. J'ai beaucoup appris durant ces 12 années de maître de conférences et je pense sincèrement que nous avons correctement restitué nos travaux à la communauté scientifique. Il m'est difficile de conclure de manière synthétique sur mes travaux tant ceux-ci sont diverses de par les thématiques et les approches méthodologiques utilisées. Je revendique cette diversité, je le referai et continuerai de le faire. Chaque nouveau projet a été un challenge intellectuel, c'est ma source de motivation. L'encadrement d'étudiants, de tous niveaux, est une richesse incommensurable, dans les échanges humains et scientifiques que l'on peut avoir. Ma motivation première à encadrer n'est pas de faire faire le travail par autrui pour que cela avance plus vite, non, c'est bien de former, de faire progresser des individus et qu'ils s'améliorent entre le moment où je les rencontre et le moment où ils me quittent. Je me nourris de cela, et tant pis si les choses n'avancent pas aussi vite qu'elles pourraient. Je suis enseignant et formateur avant tout et l'avancée de mes recherches a pu en pâtir parfois.

Alors il y a des échecs et des dossiers en souffrance. Le projet martre-fouine avait pour visée ultime la modélisation de la démographie de ces espèces, avec Sandrine Ruelle, nous en parlons depuis 10 ans. Je l'ai inscrit dans mes projets à court terme et j'essaierai de m'y tenir. Chez la martre, dans le cadre du projet DIVA que nous avons obtenu, nous avons cherché à développer des colliers GPS pour la martre et la fouine ... ce fût un échec retentissant, l'argent dépensé et aucun collier fonctionnel. Le matériel existe désormais mais nous n'avons plus l'argent et la logistique pour capturer et équiper les animaux. Dommage, cela aurait vraiment compléter nos études. Dans le projet Blaireau, nous avons prévu d'équiper les blaireaux de colliers GPS à contacts sociaux afin de retracer les contacts entre animaux d'un même terrier et entre terriers adjacents. Semi échec tant le paramétrage des colliers et la capture des animaux a été difficile. Mickaël Jacquier pour sa thèse n'aura que très peu de choses à dire dessus. Et puis il y a le chat Corse, un dossier vieux de presque 10 ans maintenant ... l'utilisation de la méthodologie *RadSeq* pour définir les relations spécifiques et infra-spécifiques dans la lignée des *Felis*. Un an que cela dure, à vous dégouter de faire de la

recherche. Et tant d'autres choses qui stagnent et qui traînent. La rédaction de cette HDR contribuant également au retard ... Dans le quotidien ce sont des constats qui font parfois un peu mal : je passe beaucoup de temps à arbitrer les articles des autres mais j'ai des articles à moi que je n'ai jamais eu le temps de réviser suite aux commentaires, je passe beaucoup de temps sur R mais je prends de moins en moins, voire plus du tout, l'Air pour le terrain. Passer cette HDR c'est quelque part admettre que mes activités de recherche vont changer et vont se concentrer sur l'encadrement plus que la recherche par moi-même. Mes responsabilités à l'IUT vont également augmenter. Bref cette HDR marque une étape importante dans ma carrière.

Pour finir, je voudrais remercier l'ensemble de mes collaborateurs et étudiants pour tout le travail accompli ces 12 dernières années. Ce fût très riche et intense. Merci. Merci également aux membres de mon jury d'avoir accepté de lire ce document. A Serge.