

# faune-aquitaine.org



## Distribution des micromammifères en Aquitaine

Recherche des facteurs explicatifs et  
cartographie

Le contenu de l'espace téléchargeable est le fruit de la collaboration de  
l'ensemble des contributeurs au projet de base de données naturalistes

# Distribution des micromammifères en Aquitaine

## Recherche des facteurs explicatifs et cartographie

### Rédaction :

Ondine Filippi-Codaccioni, Laurent Couzi (LPO Aquitaine)

Prescillia Hameau – stagiaire Master I de l'Université François Rabelais (Tours)

### Relecture :

Andy Papacotsia, Christian Arthur (SFEPM), Thomas Ruys (Cistude Nature)

### Citations :

Filippi-Codaccioni, O. Couzi, L. Hameau, P. (2013) *Distribution des micromammifères en Aquitaine - Recherche des facteurs explicatifs et cartographie*. 0036FA-2013/faune-aquitaine.org. 50 p. Bordeaux.



AGIR pour la  
BIODIVERSITÉ  
AQUITAINE

## Table des matières

I. Introduction .....	5
II. Matériel et méthodes .....	6
2.1. Mise en place du jeu de données.....	6
2.2. Description du jeu de données.....	6
2.2.1. Données biologiques .....	6
2.2.2. Localisation des échantillons .....	8
2.3. Analyses statistiques.....	9
2.3.1. Variable dépendante.....	9
2.3.2. Variables environnementales .....	9
2.3.3. Recherche des variables environnementales expliquant la distribution des espèces et cartographie à partir des meilleurs modèles.....	12
2.3.4. Comparaison entre deux méthodes de cartographie : krigeage et régression multiple.....	12
III. Résultats.....	13
3.1. Facteurs influençant la répartition des espèces .....	13
3.2. Prédiction.....	13
3.3. Comparaison entre deux méthodes de cartographie : krigeage et régressions multiples .....	16
IV. Discussion .....	20
4.1. Facteurs expliquant les variations d'abondance des micromammifères .....	20
4.1.1. Les facteurs non pris en compte dans les analyses (biais) .....	20
4.1.2. Résultats des régressions pas à pas et de la cartographie .....	21
4.2. Méthode utilisée.....	30
5. Conclusion .....	31
Bibliographie .....	32

## Remerciements

Nous remercions chaleureusement tous les pourvoyeurs de données « pelotes » de Faune-Aquitaine :

Alexandre BOURSRY ; Amandine THEILLOUT ; Benoit MOINET ; Bruno JOURDAIN ;  
Christophe CHAMBOLLE ; Claire COURREAU ; Claire DELANOË ; Claire THOUVENIN ; Cyrille  
GREAUME ; Emilie LOUTFI ; Emilien CHANUT ; Félix DUBOIS ; Frédéric CAZABAN ; Frédéric DUPUY ;  
Frédéric SERRE ; Guillaume LECANU ; Gwennaëlle DANIEL ; Jaime RETANA ; Jean Claude  
VIGNES ; Jean-Alexandre FORTIER ; Jean-Paul URCUN ; Laurence GOYENECHÉ ; Laurent COUZI ;  
Marie LAGARDE ; Mathieu SANNIER ; Morgane GRENOUILLOUX LOUVEL ; Olivier VIDAL ;  
Ondine FILIPPI-CODACCIONI ; Pascal GRISSER ; Philippe LEGAY ; Pierre PETITJEAN ; Quentin  
LEGROS ; Romain CHABBERT ; Sandy BARBERIS ; Sébastien ROUE ; Sophie DAMIAN ; Stéphane  
DUCHATEAU ; Thomas FERNANDEZ BERTO ; Thomas RUYS ; Virginie COUANON ; Xavier LE BON  
; Yohan CHARBONNIER.

Ainsi que tous les stagiaires qui ont participé au travail d'identification de celles-ci : Xavier LE  
BON ; Colin VAN REETH ; Thomas FERNANDO BERTO ; Emilien CHANUT ; Anna HENRY ; Lucas  
DUPUY ; Audrey MARSY ; Claire CANTON ; Prescilla HAMEAU ; Guillaume LECANU.



Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*). Photo : L. Couzi

## I. Introduction

Les travaux présentés ci-après sont issus des données collectées dans le cadre de l'Atlas des mammifères d'Aquitaine. S'il s'agit d'un travail volontaire, non programmé dans l'Atlas, à l'initiative de la LPO Aquitaine, il est entendu que les apports de ces analyses seront valorisés dans la publication finale de l'Atlas.

Peu de connaissances ont été acquises au cours du temps sur les micromammifères en Aquitaine. L'objectif est donc, dans un premier temps, de cartographier précisément la répartition de ces espèces dans la région à partir des données dont nous disposons. Dans un second temps, nous chercherons, à partir de ces données, à identifier les facteurs influençant cette répartition (précipitations, températures, occupation et nature du sol, etc.) afin de pouvoir prédire la distribution des espèces de micromammifères sur l'ensemble du territoire et de la cartographier. Pour cela une méthode inédite a été testée et confrontée à des méthodes plus communes d'interpolation spatiale.

Cet article commencera par présenter la méthodologie utilisée (données, lieu d'étude et analyses statistiques), puis rendra compte des résultats de l'étude. Une discussion associée aux principaux résultats sera présentée.

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Mise en place du jeu de données

L'étude de la répartition des micromammifères s'est faite à partir de l'analyse de pelotes de réjection (Figure 1) de la Chouette effraie (*Tyto alba*), prédatrice généraliste de micromammifères (Andersson & Elinge, 1977 ; Géroutet, 1978). Bien qu'opportuniste, celle-ci sélectionne peu ses proies ; le contenu des pelotes renseigne donc à la fois sur la diversité des espèces et sur leurs fréquences d'apparition dans un périmètre précis et à un instant donné (De Bruijn, 1979). La Chouette effraie est présente dans toute la région Aquitaine sauf au-delà de 800 mètres d'altitude, ce qui permet une analyse de la répartition sur une grande partie de la région. Elle rejette ses pelotes dans un rayon de deux kilomètres (Géroutet, 1978) autour de son nid voire même cinq kilomètres (Taberlet, 1983). Dans cette étude, nous avons choisi de garder ce rayon d'action de deux kilomètres afin de ne pas trop lisser les données.

Nous avons travaillé à partir des informations collectées par la LPO et les utilisateurs de Faune-Aquitaine ([www.faune-aquitaine.org](http://www.faune-aquitaine.org)) sur 5 ans de mars 2008 à mars 2013 sur 525 points de collectes (Figure 2 ; 4907 données (un lieu + une

date + une espèce) ; 71995 individus de micromammifères). Seules les données pelotes ont été gardées dans l'analyse, celles provenant d'observations directes des individus ayant été éliminées par crainte d'erreurs de détermination et pour limiter l'hétérogénéité des données. De plus, pour avoir des échantillons représentatifs d'un endroit donné, seuls les lots de pelotes contenant plus de dix individus ont été pris en compte.



Figure 1. Pelotes de réjection d'une Chouette effraie

### 2.2. Description du jeu de données

#### 2.2.1. Données biologiques

Les données biologiques correspondent aux 25 espèces de micromammifères retrouvés dans les pelotes de réjection (Tableau I, Annexe 5) – sur les 27 présentes en Aquitaine - qui appartiennent à deux ordres : les Rodentiens et les Soricomorphes.

Parmi les Rodentiens, on trouve le Léroty et le Loir gris de la famille des Gliridés ; les campagnols amphibie, terrestre, roussâtre, agreste, des champs, des Pyrénées, basque et souterrain de la famille des Cricétidés ; et le Mulot à collier, le Mulot sylvestre, le Rat des moissons, la Souris domestique, la Souris d'Afrique du Nord, le Rat surmulot et le Rat noir de la famille des Muridés.

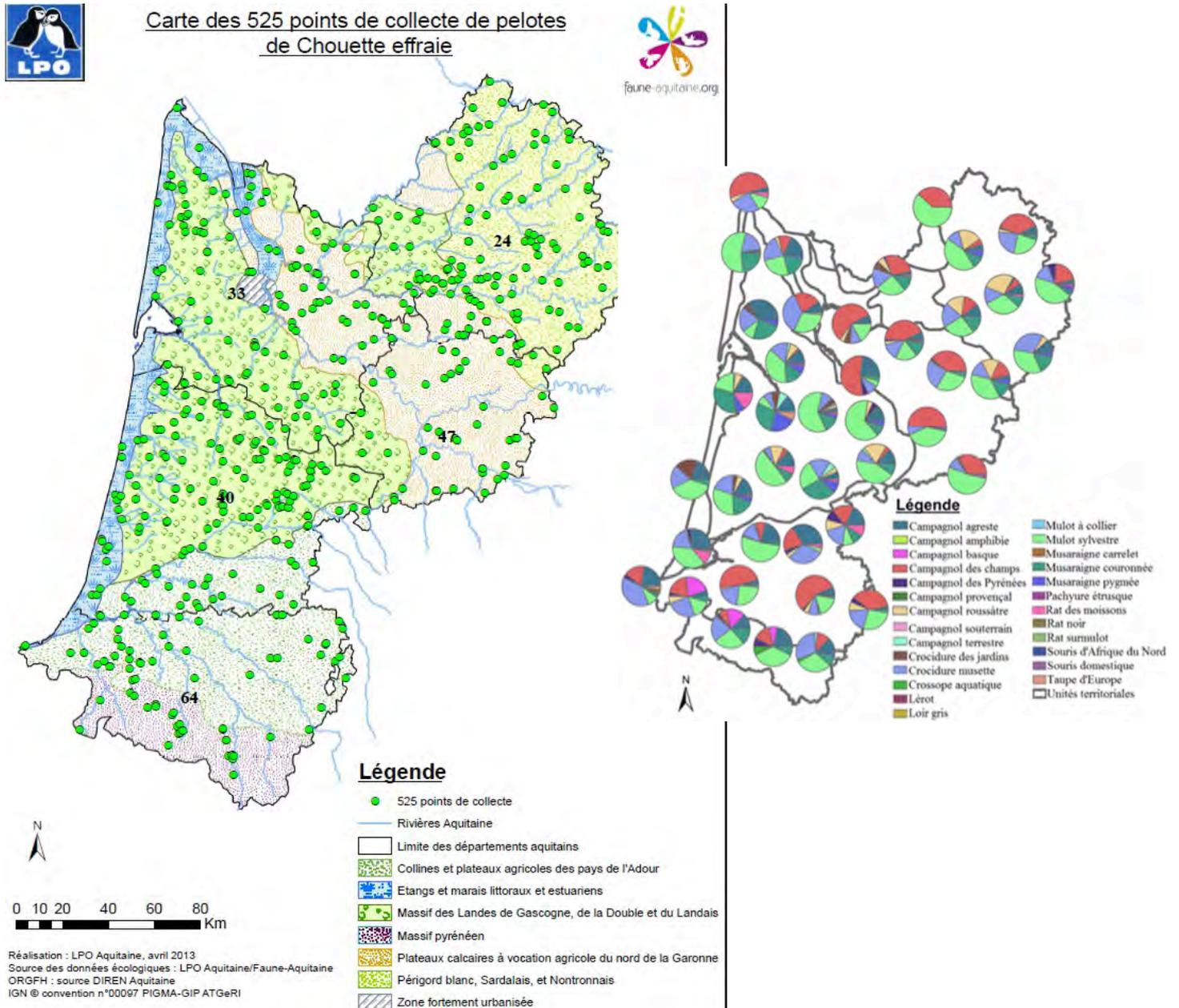
Parmi les Soricomorphes, on trouve la Crocidure musette, la Crocidure des jardins, la Crossope aquatique, ainsi que les musaraignes carrelet, couronnée, et pygmée et la Pachyure étrusque de la famille des Soricidés. La seule représentante de la famille des talpidés dans nos échantillons est la Taupe d'Europe.

**Tableau 1 : Tableau des 26 espèces retrouvées dans les pelotes avec le nombre de données, le nombre d'individus et le milieu dans lequel elles vivent**

Nom commun <i>Nom scientifique</i>	Nombre de points de collecte	Nombre d'individus	Milieu
Mulot sylvestre <i>Apodemus sylvaticus</i>	515	23200	Ubiquiste; forêts de feuillus, champs de céréales,... ; terriers peu profonds
Crocidure musette <i>Crocidura russula</i>	495	12204	Anthropophile sous climat froid (altitude) sinon ubiquiste
Campagnol agreste <i>Microtus agrestis</i>	477	7127	Hautes herbes, champs, clairières, haies, taillis, bois clairs, talus du bocage, tourbières
Musaraigne couronnée <i>Sorex coronatus</i>	454	7619	Climat doux, régions marécageuses, bordures de ruisseaux; tunnels souterrains
Campagnol roussâtre <i>Clethrionomys glareolus</i>	420	3991	Forêts à sous-bois, non exploitées, épaisse litière, broussailles, ronciers, fougères, marais boisés
Campagnol des champs <i>Microtus arvalis</i>	382	12287	Terrain en jachère, champs cultivés, prairies, luzernières, alpages, talus herbeux, lisières forestières; terriers
Musaraigne pygmée <i>Sorex minutus</i>	262	1533	Pentes humides, forêts, marécages, tourbières, dune de sable, plage
Souris domestique <i>Mus musculus</i>	204	516	Commensales (constructions, entrepôts) ou sauvages (phragmitaies, bordures d'étangs, chênaies vertes)
Campagnol des Pyrénées <i>Microtus gerbei</i>	196	660	Sols profonds, couverture végétale dense, pâturages, champs cultivés, clairières, lisières
Rat des moissons <i>Micromys minutus</i>	168	566	Cultures céréalières, hautes herbes, lisières de boisements, phragmitaies
Crocidure des jardins <i>Crocidura suaveolens</i>	121	680	Milieux ouverts de plaines, côtes, dunes, forêts non denses
Campagnol terrestre <i>Arvicola terrestris</i>	100	450	Sols frais et humides (jardins, vergers, cultures, prairies, landes molinie); terriers profonds
Crossope aquatique <i>Neomys fodiens</i>	98	185	Abords des cours d'eau, lacs, étangs, bonne couverture végétale, berges à galeries
Rat surmulot <i>Rattus norvegicus</i>	90	222	Ubiquiste si milieu assez humide, commensal (constructions); souterrain
Taupe d'Europe <i>Talpa europaea</i>	47	63	Sols profonds, pâtûres
Campagnol amphibie <i>Arvicola sapidus</i>	43	70	Milieu aquatique, berges, eaux saumâtres possible; terriers dans les berges
Campagnol basque <i>Microtus lusitanicus</i>	34	462	Sols profonds, terre meuble, lisières de cultures, prairies arborées, pelouses rases, landes à fougères; souterrain
Mulot à collier <i>Apodemus flavicollis</i>	16	80	Forêts de feuillus (hêtraies, chênaies matures) et conifères
Pachyure étrusque <i>Suncus etruscus</i>	16	35	Milieux ensoleillés herbeux et rocailleux, milieux cultivés, pelouses sèches, milieux xériques
Lérot <i>Eliomys quercinus</i>	11	17	Anthropophile mais aussi milieux boisés feuillus et conifères, saxicole (milieux rocailleux divers)
Rat noir <i>Rattus rattus</i>	8	15	Constructions, un peu en zones humides; arboricole
Loir gris <i>Glis glis</i>	7	7	Futaies de feuillus, lisières, bocages, parcs et massifs rocheux, en partie anthropophile
Campagnol souterrain <i>Microtus subterraneus</i>	3	3	Milieux humides à sols profonds, milieux herbacés des landes, tourbières, clairières, prairies, pâturages, vergers, parcs, jardins
Musaraigne carrelet <i>Sorex araneus</i>	1	1	Couvert végétal, milieux frais et humides; souterraine; en altitude
Souris d'Afrique du Nord <i>Mus spretus</i>	1	1	Milieux xériques, garrigues, cultures (vignobles)

## 2.2.2. Localisation des échantillons

Les 525 lots de pelotes récoltés étaient localisés de façon homogène sur l'ensemble du territoire aquitain et assez représentatifs des différents grands ensembles géographiques qui le composent (Figure 2). Les 42 points présentés dans la carte figure 2 illustrent la variabilité de composition faunistique de ces points de collecte.



**Figure 2 : Cartes de répartition des 525 points de collecte de pelotes et de la proportion des espèces dans celles-ci sur 42 d'entre eux (pris au hasard)**

Un effort supplémentaire d'échantillonnage semble toutefois nécessaire pour avoir une couverture optimale, notamment au sud-est de la région (collines et plateaux agricoles des pays de l'Adour et est du massif pyrénéen) et sur le grand plateau calcaire du nord de la Garonne allant de l'estuaire au Lot-et-Garonne.

## 2.3. Analyses statistiques

### 2.3.1. Variable dépendante

Nous avons décidé de ne pas représenter des effectifs mais des fréquences d'apparition d'espèces dans les lots, car si le nombre de pelotes collectées sur un site est important alors le nombre d'individus sera important. Or le degré d'échantillonnage de chaque site n'est pas le même et n'est pas toujours quantifiable, le nombre de pelotes comprises dans chaque lot n'étant pas toujours renseigné et le « vrac » (crânes hors des pelotes) étant pris en compte. Pour les lots renseignés, le nombre de pelotes peut aller de 1 à 162 avec une moyenne d'une soixantaine de pelotes par lot. Ainsi, les fréquences indiquent la probabilité de rencontrer une espèce à un endroit donné ainsi que la proportion du nombre d'individus de chaque espèce sur 100 individus échantillonnés. C'est cette fréquence qui a été choisie comme variable dépendante dans les analyses (nombres d'individus de l'espèce / nombre total d'individus présents dans l'échantillon x 100).

### 2.3.2. Variables environnementales

Plusieurs facteurs peuvent jouer sur la répartition des espèces de micromammifères, certains abiotiques et d'autres biotiques. Voici ceux que nous avons identifiés comme importants et pour lesquels nous avons obtenu les données (Tableau II) :

- l'occupation du sol (Corine Land Cover 2006 ; Annexe 2 ; échelle 1/100000 ; grain minimal 25ha, précision 25m), qui est définie en 44 entités dont on connaît la surface et qui servira de descripteur pour définir l'habitat des espèces;
- la pédologie (base de données géographiques des sols de France, INRA Orléans, 1998 ; précision 100m, échelle 1:1000000 ; grain minimal 9ha ; Annexes 3 et 4) variable importante pour certaines espèces fouisseuses;
- la météorologie (Hijmans 2005, précipitations moyennes mensuelles, températures minimales et maximales mensuelles à une résolution spatiale de 1km), les températures extrêmes semblant influencer la distribution des musaraignes notamment (Lugon-Moulin, 2003) et la pluviométrie, celle des campagnols (Indelicato, 2003);
- l'altitude (BD ALTI, (Indelicato, 2003);
- les surfaces en zones humides (CETE-SO/DREAL./CG40/CREN/CORINE LAND COVER)

ainsi que ceux pour lesquels nous avons construit des données à l'aide de l'extension Patch Analyst d'ARCGIS 10 (Tableau II) :

- la structure du paysage (richesse et diversité paysagère, taille du patch moyen d'habitat indicateur à la fois d'un paysage en mosaïque et de la fragmentation) ;
- la structure du sol (richesse et diversité du sol, taille du patch moyen de sol indicateur à la fois d'une structure de sol en mosaïque et de la fragmentation) ;

- la distance à la mer qui semble pour certaines espèces un facteur important notamment au regard de l'histoire de colonisation post-glaciaire des espèces (Dubey *et al.* 2006)

La richesse paysagère ou édaphique correspondait au nombre d'habitats ou de types de sols présents. La diversité était calculée à l'aide de l'indice de diversité de Shannon.

Parmi les facteurs biotiques, la prédation est un facteur pouvant influencer les densités de micromammifères (Anderson & Erlinge, 1977 ; Hansson, 1984 ; Henttonen, 1985 ; Sundell *et al.* 2012). Nous avons pris comme facteur le nombre d'espèces et l'abondance des prédateurs (tous sommés) dans un rayon de 2km des échantillons. Certaines espèces parmi les rapaces ont été choisies pour leur régime alimentaire à base préférentiellement de micromammifères (busards, faucons, hiboux,...) ainsi que certains mammifères (belettes, fouines, renards, ...). Les données rapaces et mammifères proviennent de la base de données « Faune-Aquitaine » et ont été standardisées par le nombre d'observateurs ayant renseigné les données de ces prédateurs afin de diminuer les biais liés à l'effort d'observation (division du nombre de rapaces sur le nombre d'observateurs).

Toutes ces variables environnementales (biotiques et abiotiques) ont été recalculées dans un rayon de deux kilomètres (rayon d'action) autour de chaque emplacement où les pelotes ont été récoltées. Ainsi, par exemple, un pourcentage de chaque type de sol et de chaque type de milieu est associé à chaque lot de pelotes dans ce périmètre.

Afin d'être en mesure d'interpoler les données de fréquence des espèces de micromammifères sur l'ensemble de l'Aquitaine, nous avons également calculé ces variables sur l'ensemble du territoire à l'aide d'une grille de maille 2 x 2 km. A chaque maille correspond donc un pourcentage de surface d'habitats et de sols ainsi que des valeurs différentes de diversité de paysage, de distance à la mer, de nombre d'espèces de prédateurs moyen, etc.

**Tableau II : Moyenne, minimum et maximum des variables environnementales sur les 525 points de collectes**

Moyenne des 525 lieux (r=2km)	Moyenne	Minimum	Maximum		Moyenne	Minimum	Maximum	
<b>Variables météo</b>					<b>Variables de composition du sol</b>			
Précipitations (mm/mois)	81	41	110	Bc	1.11%	0%	43%	
Températures max juillet(°C)	25.7	18.9	26.9	Bcc	0.39%	0%	68%	
Températures min janvier(°C)	1.4	-4.7	3.8	Bd	7.55%	0%	70%	
				Bds	0.33%	0%	59%	
<b>Variables de structure du paysage</b>					Be	4.36%	0%	70%
Richesse paysagère	6	2	11	Bec	1.22%	0%	43%	
Richesse du sol	5	1	14	Beg	0.51%	0%	49%	
Diversité paysagère	1.58	0.45	2.37	Bg	0.07%	0%	14%	
Diversité du sol	0.62	0	1.79	Bh	0.92%	0%	70%	
Taille de patch moyen de sol (ha)	464	41	1256	Bk	5.24%	0%	40%	
Taille de patch moyen paysager (ha)	81	20	628	Bkh	0.22%	0%	34%	
Distance à la mer (km)	80.0	0.5	189.8	D	0.94%	0%	20%	
Altitude (m)	121	2	1227	Dd	1.45%	0%	39%	
				De	0.15%	0%	29%	
<b>Variables de composition du paysage</b>					Dg	0.17%	0%	70%
Zone humide	8%	0%	97%	Eo	3.43%	0%	96%	
Tissu urbain continu	0.02%	0%	3.66%	Gd	0.18%	0%	10%	
Tissu urbain discontinu	2.80%	0%	50.59%	Ge	0.28%	0%	10%	
Zones industrielles et commerciales	0.18%	0%	13.30%	I	11.70%	0%	90%	
Réseaux routier et ferroviaires	0.01%	0%	2.15%	Ic	1.36%	0%	65%	
Aéroports	0.06%	0%	15.49%	Id	2.10%	0%	70%	
Extraction de minéraux	0.23%	0%	18.83%	Ie	0.22%	0%	59%	
Décharges	0.00%	0%	0.02%	Jc	5.34%	0%	50%	
Chantiers	0.01%	0%	2.69%	Jcf	2.17%	0%	30%	
Espaces verts urbains	0.01%	0%	2.29%	Jcg	0.81%	0%	96%	
Equipements sportifs et de loisirs	0.06%	0%	5.48%	Je	0.62%	0%	25%	
Terres arables hors périmètres d'irrigation	15.99%	0%	94.65%	La	0.80%	0%	50%	
Vignobles	3.63%	0%	76.44%	Lc	1.39%	0%	50%	
Vergers et petits fruits	0.33%	0%	19.49%	Lg	3.12%	0%	80%	
Prairies	8.50%	0%	87.90%	Lo	5.50%	0%	70%	
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	15.14%	0%	69.97%	Od	4.07%	0%	100%	
Surfaces essentiellement agricoles	2.67%	0%	28.14%	Oe	4.60%	0%	50%	
Forêts de feuillus	13.65%	0%	62.74%	PI	4.01%	0%	30%	
Forêts de conifères	19.57%	0%	99.31%	Po	8.10%	0%	100%	
Forêts mélangées	5.62%	0%	67.45%	Pof	0.02%	0%	7%	
Pelouses et pâturages naturels	1.61%	0%	38.93%	Poh	0.22%	0%	30%	
Landes et broussailles	0.24%	0%	16.28%	Qc	0.24%	0%	18%	
Forêt et végétation arbustive en mutation	7.47%	0%	93.42%	Qcd	0.04%	0%	5%	
Plages, dunes et sable	0.04%	0%	7.87%	Qcg	0.07%	0%	6%	
Végétation clairsemée	0.01%	0%	2.26%	QI	0.81%	0%	89%	
Marais intérieurs	0.42%	0%	31.24%	QId	0.18%	0%	39%	
Marais maritimes	0.06%	0%	20.03%	Re	2.71%	0%	100%	
Zones intertidales	0.09%	0%	9.96%	To	0.12%	0%	30%	
Cours et voies d'eau	0.60%	0%	26.07%	U	6.89%	0%	70%	
Plans d'eau	0.56%	0%	41.43%	Vc	0.47%	0%	30%	
Estuaires	0.17%	0%	64.26%	Wd	2.79%	0%	70%	
Mers et océans	0.23%	0%	42.57%					

### 2.3.3. Recherche des variables environnementales expliquant la distribution des espèces et cartographie à partir des meilleurs modèles

Une analyse statistique a été réalisée afin de déterminer le meilleur modèle (comprenant la meilleure combinaison de variables) pouvant expliquer les différences de répartition des micromammifères sur le territoire. Les tests mis en œuvre sont des régressions multiples pas à pas à partir de modèles linéaires. Elles permettent d'intégrer plusieurs variables quantitatives : une variable dépendante (ici les fréquences d'apparition pour chaque espèce) et une ou plusieurs variables explicatives (les variables météorologiques, pédologiques, d'habitats, etc). L'analyse se divise en plusieurs phases durant lesquelles le logiciel statistique teste chaque variable et les ajoute au modèle si elles expliquent de manière significative la variable dépendante. Toutes les variables n'apportant rien au modèle ne sont donc pas prises en compte. La première variable intégrée au modèle est celle qui possède le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) le plus important. La seconde variable ajoutée n'est pas celle qui possède la deuxième valeur de  $R^2$  la plus importante, mais celle qui contribue le plus à réduire la variabilité résiduelle du modèle. Ceci permet de s'affranchir du problème de redondance qui peut exister entre certaines variables (ex : sol et occupation du sol). A chaque ajout de variable, la régression multiple pas à pas s'assure que la variable intégrée qui apporte le moins de significativité au modèle est toujours significative dans le nouveau modèle.

A partir des meilleurs modèles sélectionnés, des cartes de répartitions des espèces de micromammifères ont été réalisées pour 13 des espèces présentes en Aquitaine, à partir de l'équation de droite fournie par l'analyse statistique ( $Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+\dots+b_pX_p$  où  $Y$  est la fréquence prédite,  $b_0$  la constante et  $b_n$  le coefficient de régression du prédicteur  $X_n$ ). Celle-ci permet de prédire la probabilité d'occurrence des espèces pour chaque maille (2x2km) de l'Aquitaine.

Nous n'avons pas pu cartographier les espèces pour lesquelles l'échantillon était trop faible (e.g. Mulot à collier – 16 données ; Tableau 1) ni même celles pour lesquelles la taille de l'échantillon était acceptable mais toutefois inférieure ou quasiment égale au nombre de variables environnementales, ce qui est statistiquement invalide ( soit toutes les espèces dont le nombre de données était  $\leq 90$  ; Tableau 1).

Les régressions pas à pas ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS et la cartographie ainsi que le calcul des variables environnementales à l'aide d'ARCGIS 10 (ESRI, 2011).

### 2.3.4. Comparaison entre deux méthodes de cartographie : krigeage et régression multiple

Le krigeage est une méthode géostatistique qui génère ou interpole une surface de probabilité qui convient le mieux à un jeu de valeurs de points dans un espace à 2 dimensions. Il demande une recherche interactive de la structuration spatiale des valeurs de points. Cette variation spatiale est quantifiée par le semi-variogramme (Annexe 8). Si les données sont structurées spatialement, les plus petites distances entre les points sur le semi-variogramme seront spatialement auto-corrélées. Le krigeage tient compte de cette auto-corrélation ignorée par la méthode des régressions multiples.

Nous avons utilisé la méthode de cokrigeage et de krigeage universel sur quelques espèces afin de comparer les rendus cartographiques. Les variables utilisées étaient celles sur les sols (INRA) et le paysage (CORINE).

### III. Résultats

Seules les analyses statistiques concernant le Mulot sylvestre (plus gros échantillon) seront détaillées, les cartes et le tableau récapitulatif des variables sélectionnées pour chaque espèce étant placés en Annexe 1 et dans le Tableau 6.

#### 3.1. Facteurs influençant la répartition des espèces

Les variables sélectionnées expliquent 34,8% ( $R^2$ ) de la variabilité des données de fréquence du Mulot sylvestre. Les valeurs positives signifient que l'espèce augmente en fréquence quand cette variable augmente, et les valeurs négatives, qu'elle diminue en fréquence quand cette variable augmente. Le Mulot sylvestre apprécierait donc particulièrement le **podzol humo-orthique** qui est principalement constitué de sables éoliens, **les plans d'eau, les forêts et la végétation arbustive en mutation**, le **regosol eutric** principalement constitué de sables côtiers et **les forêts de conifères**. En revanche il n'apprécierait pas le **fluvisol fluvi-calcarique** composé d'alluvions fluviaux, **les systèmes culturaux et parcellaires complexes, les prairies, les vignobles** et l'**histosol dystrique** composé principalement de matières organiques (Tableau III, Annexe 4).

L'analyse utilise un test de Durbin-Watson. Il est convenu que les valeurs situées autour de 2 montrent une absence d'autocorrélation, c'est-à-dire que plus la valeur est proche de 2, moins il y a de problème au niveau de l'indépendance des résidus. Avec une valeur de 1,932, cette prémisses est respectée (Tableau IV).

**Tableau III : Liste des variables expliquant significativement les variations de fréquence du Mulot sylvestre**

$R^2$	,348
Variables	Coefficients
(Constante)	,228
Forêts de conifères	,153
Forêts et végétation arbustive en mutation	,212
Dystric Histosol	-,119
Distance à la mer	,000
Eutric Regosol	,201
Plans d'eau	,406
Humo-Orthic Podzol	,687
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	-,173
Vignobles	-,161
Fluvi-Calcaric Fluvisol	-,326
Prairies	-,164

NB : Les coefficients sont représentés comme à la sortie de SPSS ; seules les décimales sont représentées (e.g. « ,228 » signifie 0,228).

**Tableau IV : Tableau résumé des résultats de l'analyse statistique pour le Mulot sylvestre**

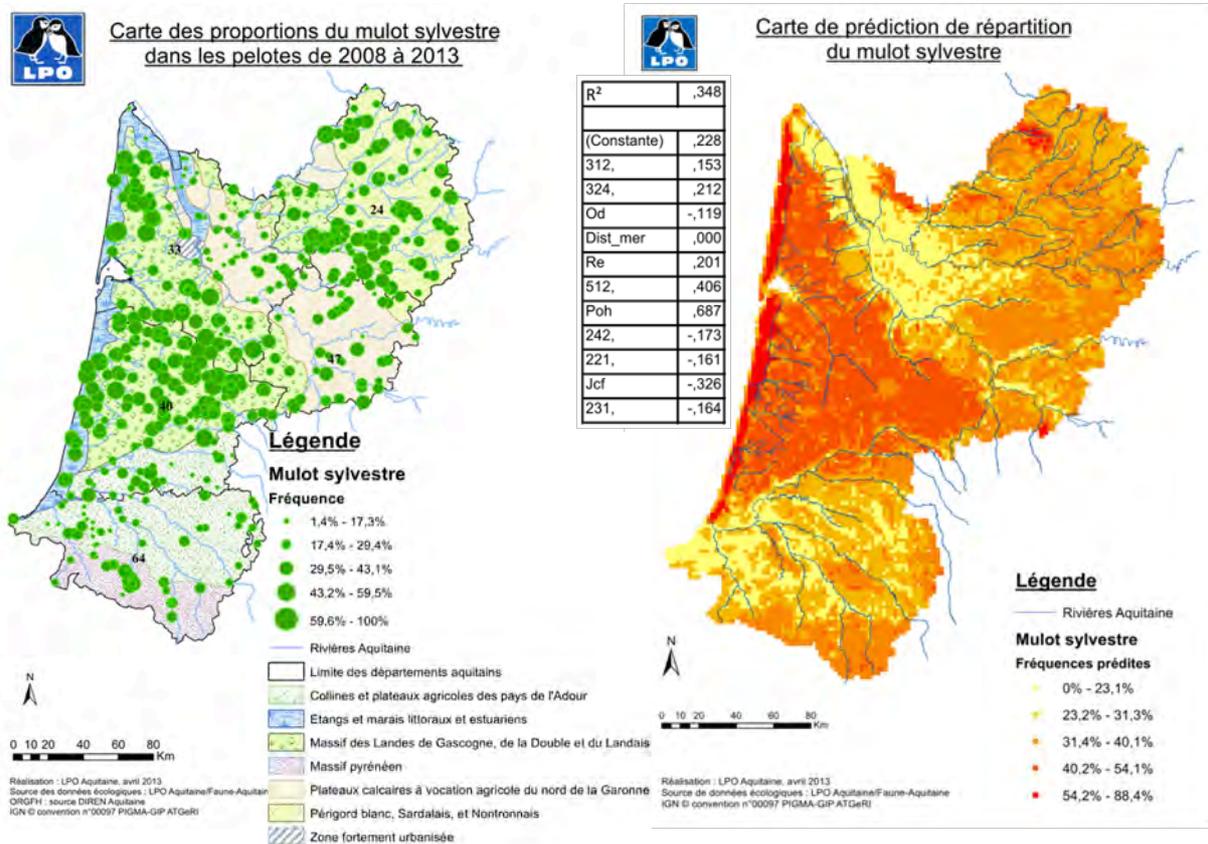
Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Changement dans les statistiques					Durbin-Watson
					Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F	
11	,590*	,348	,333	,135014336	,010	7,420	1	503	,007	1,932

#### 3.2. Prédications

La carte de répartition des fréquences du Mulot sylvestre retrouvé dans les pelotes (à gauche) et la carte de prédiction réalisée avec les fréquences prédites de l'espèce en Aquitaine (à droite) sont représentées Figure 3. Le tableau de sortie de SPSS avec les variables sélectionnées

pour bâtir la carte est également présenté dans cette figure pour une meilleure compréhension.

On observe que le Mulot sylvestre est présent dans toute l'Aquitaine avec une concentration préférentielle sur le littoral ainsi que sur le plateau landais.



**Figure 3 : Cartes des fréquences factuelles et prédites du Mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*) en Aquitaine**

En observant les cartes des autres espèces, on remarque que plus il y a de variables sélectionnées, plus la carte est susceptible d'être proche de la réalité perçue par les experts aquitains en matière de micromammifères. Par exemple, la carte de prédiction du Campagnol terrestre (Annexe 1) n'a pas pu être faite car seulement trois variables avaient sélectionnées par le modèle.

D'une manière générale, les facteurs abiotiques qui influencent la répartition des espèces de micromammifères en Aquitaine sont : **la richesse paysagère, la richesse du sol, les zones humides, l'ampleur des précipitations, la surface de 26 modes d'occupation des sols sur 44 et 23 types de sol sur 46 (Tableau V).**

Aucune variable biotique n'a été sélectionnée.

**Tableau V: Récapitulatif des variables sélectionnées par espèce, positivement (+) et négativement (-)**

	Mulot sylvestre	Crocidure musette	Campagnol agreste	Musaraigne couronnée	Campagnol roussâtre	Campagnol des champs	Musaraigne pygmée	Souris domestique	Campagnol des Pyrénées	Rat des moissons	Crocidure des jardins	Campagnol terrestre	Crossope aquatique
Richesse paysagère		-									-		
Richesse du sol												-	-
Zone humide			+				-					-	+
Précipitations			+	-									
Altitude			+										+
Distance à la mer	+	-			+								
Tissu urbain discontinu			+		+	-						+	
Zones industrielles et commerciales		+											
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés							+						
Aéroports						+							
Extraction de matériaux								+					
Chantiers					+								
Espaces verts urbains								+					
Terres arables hors périmètres d'irrigation		+		-		-			+				
Vignobles	-	-											
Vergers et petits fruits								+					
Prairies	-								+		-		
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	-	+											
Surfaces essentiellement agricoles						-		+	+				
Forêts de feuillus					+	-							-
Forêts de conifères	+	-		+	+	-	+						
Forêts mélangées			+	+	+	-	+						
Pelouses et pâturages naturels						-							
Landes et broussailles													+
Forêt et végétation arbustive en mutation	+			+		-							
Plages, dunes et sable											-		
Végétation clairsemée									+				
Zones intertidales									-				
Cours et voies d'eau			+										
Plans d'eau	+		-							+			
Estuaires		+											
Mers et océans									+				
Chromic Cambisol						+							
Dystric Cambisol								+	+				
Spodo-Dystric Cambisol					+					+			
Calcario-Eutric Cambisol													+
Gleyic Cambisol								+					
Humo-Calcic Cambisol		+	-										
Dystric Podzoluvisol			+										+
Orthic Rendzina				+									+
Dystric Gleysol						-							
Lithosol						-							
Fluvi-Calcario Fluvisol	-		+				+						
Gleyo-Calcario Fluvisol				+			+						
Chromic Luvisol			+			-							
Dystric Histosol	-		-										
Eutric Histosol						-			+				+
Leptic Podzol								+					
Humo-Orthic Podzol	+				+								
Dystric-Cambic Arenosol							+						
Luvic Arenosol			+										
Dystric-Luvic Arenosol						-							
Eutric Regosol	+		-								+	+	
Ochric Andosol						+							
Chromic Vertisol									+				

NB : Les cases vides signifient que la variable n'a pas été sélectionnée dans le meilleur modèle des régressions pas à pas.

### 3.3. Comparaison entre deux méthodes de cartographie : krigeage et régressions multiples

Le cokrigeage, fait à partir des 2 principaux groupes de covariables, les variables paysagères (CORINE landcover) et les variables de sol (INRA), a été réalisé sous Arcgis 10 sur quelques espèces avec un bon échantillonnage de départ : Mulot sylvestre (Figure 4), Crocidure musette (Figure 5), Campagnol des champs (Figure 6), Musaraigne couronnée (Figure 7) et Campagnol roussâtre (Figure 8).

Du krigeage universel a été également testé sous R avec un jeu de variables raccourci afin que les modèles puissent tourner (toutes les variables sauf les variables de proportions de type de sol et CORINE simplifié au 2<sup>ème</sup> niveau de définition). Le résultat cartographique est visible sur la Figure 9.

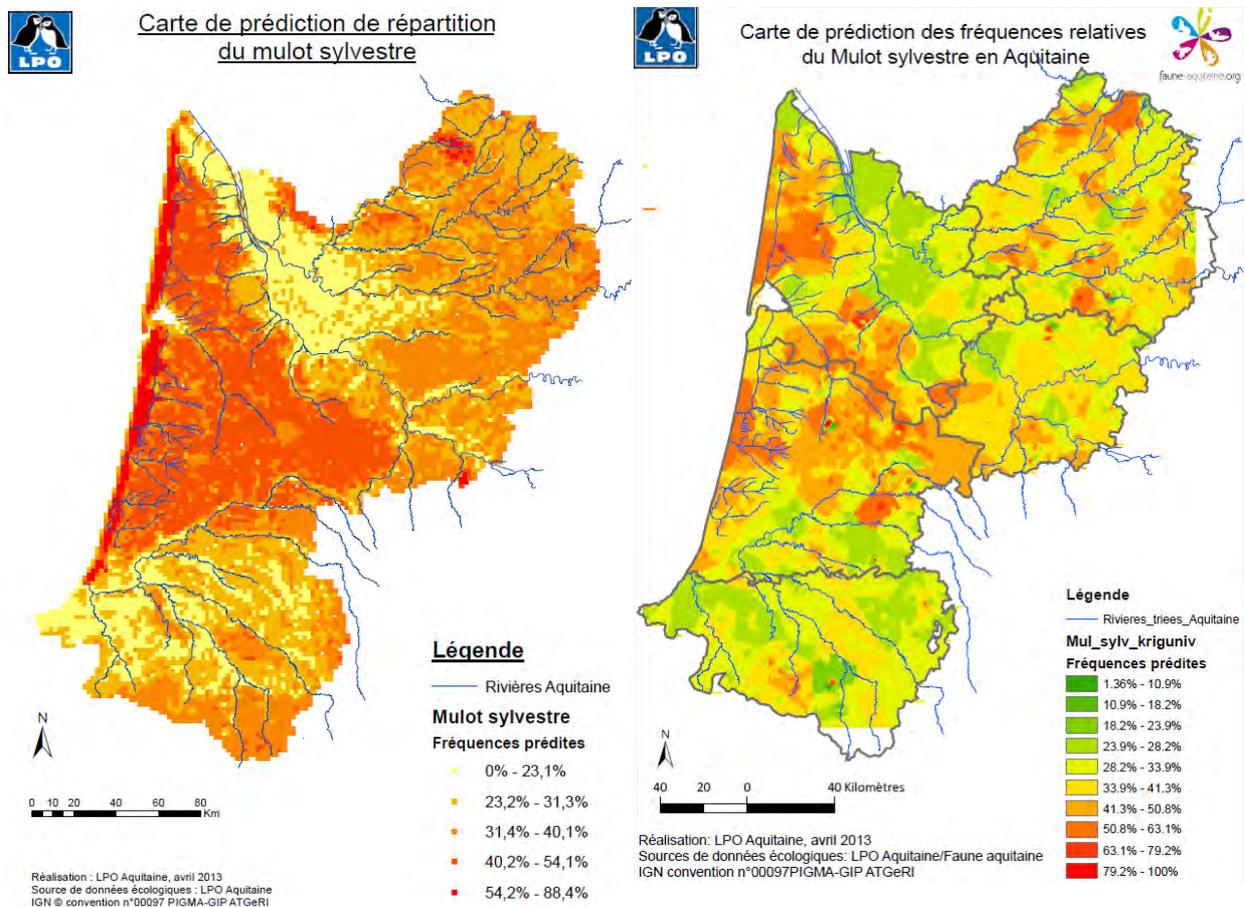


Figure 4. Comparaison de la cartographie de distribution du Mulot sylvestre avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du cokrigeage sous ARCGIS 10 (droite)

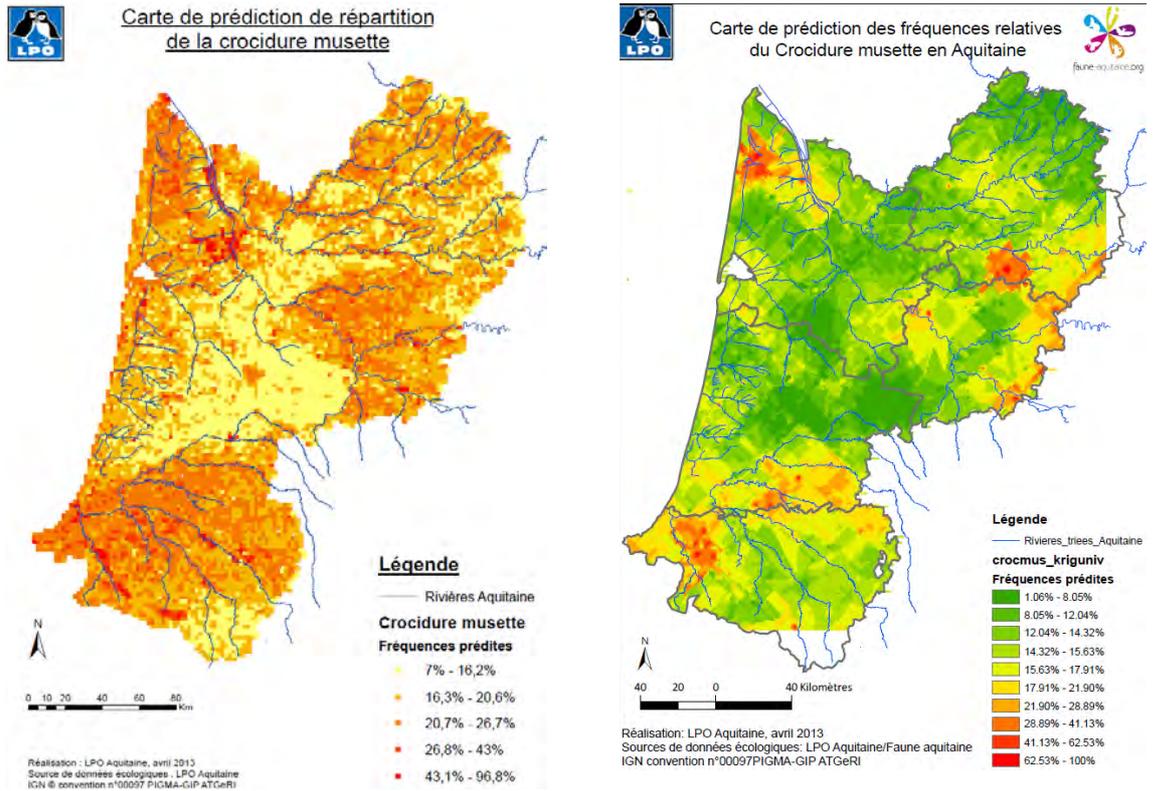


Figure 5. Comparaison de la cartographie de distribution de la Crocitude musette avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du cokrigeage sous ARCGIS 10 (droite)

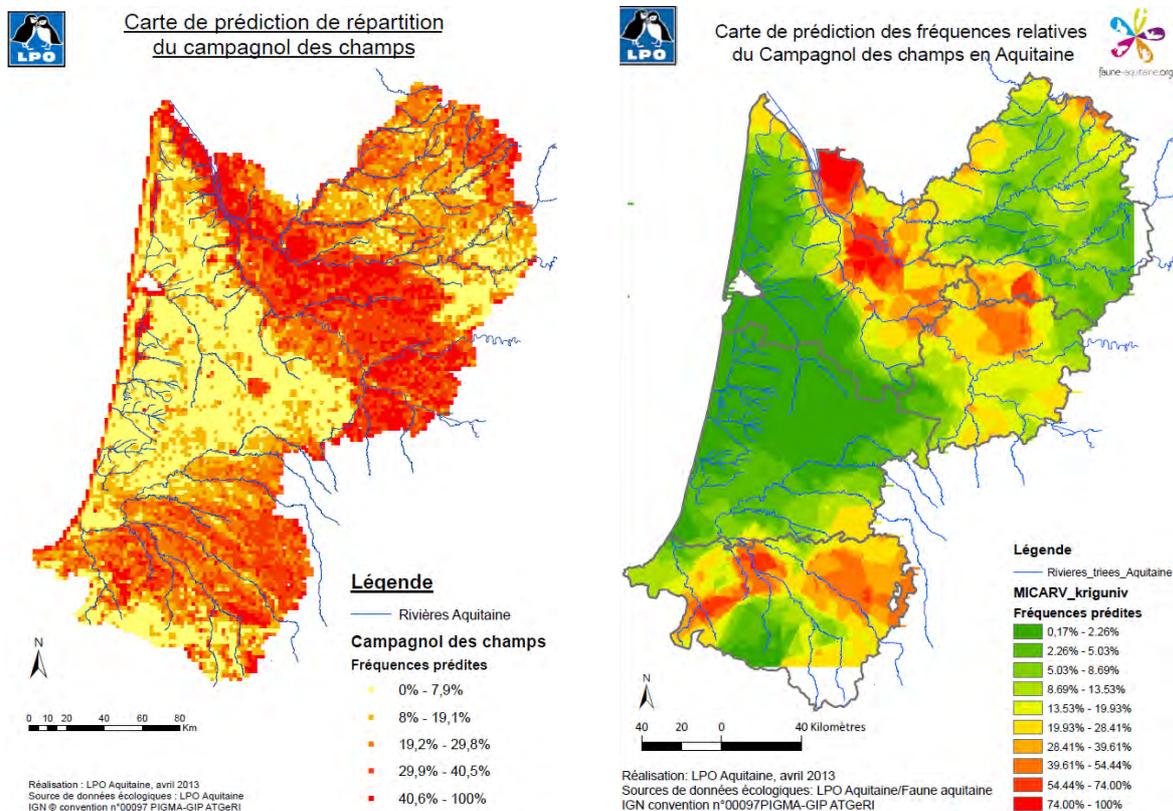


Figure 6. Comparaison de la cartographie de distribution du Campagnol des champs avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du cokrigeage sous ARCGIS 10 (droite)

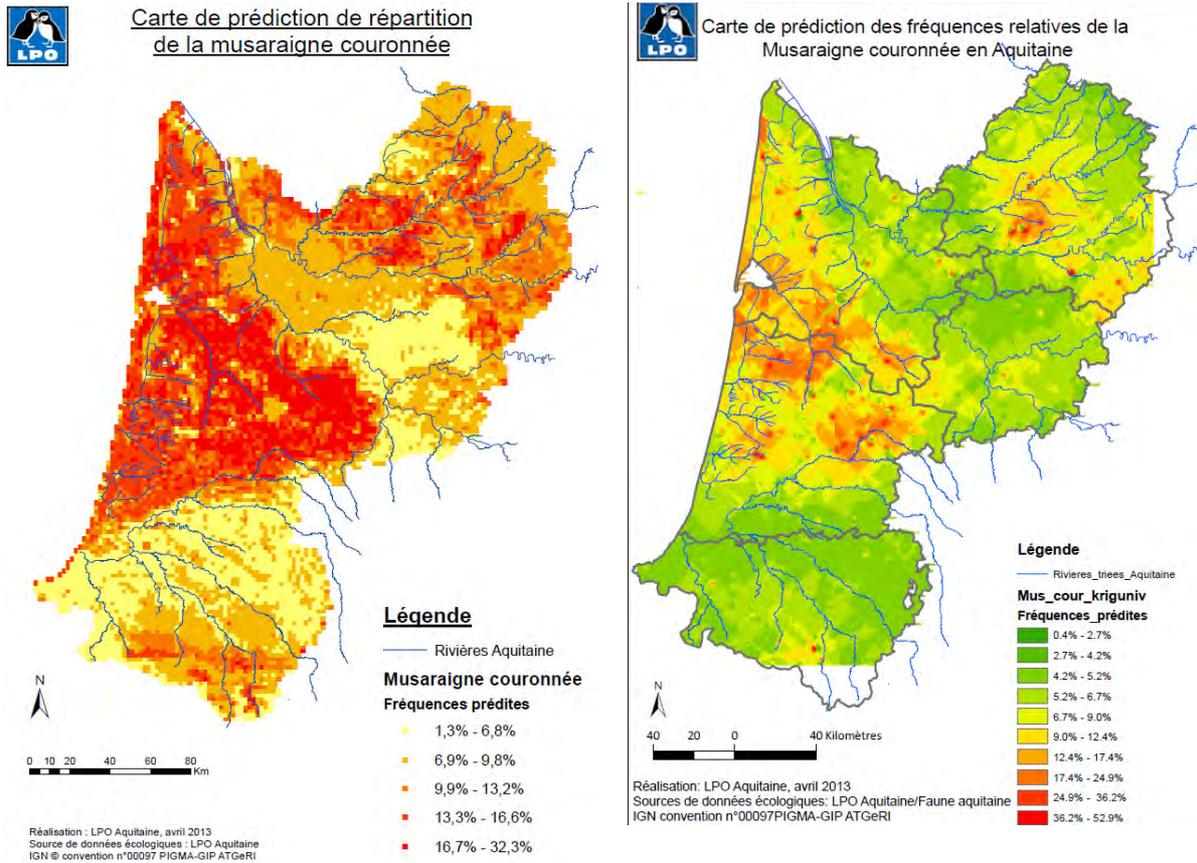


Figure 7. Comparaison de la cartographie de distribution de la Musaraigne couronnée avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du cokrigeage sous ARCGIS 10 (droite)

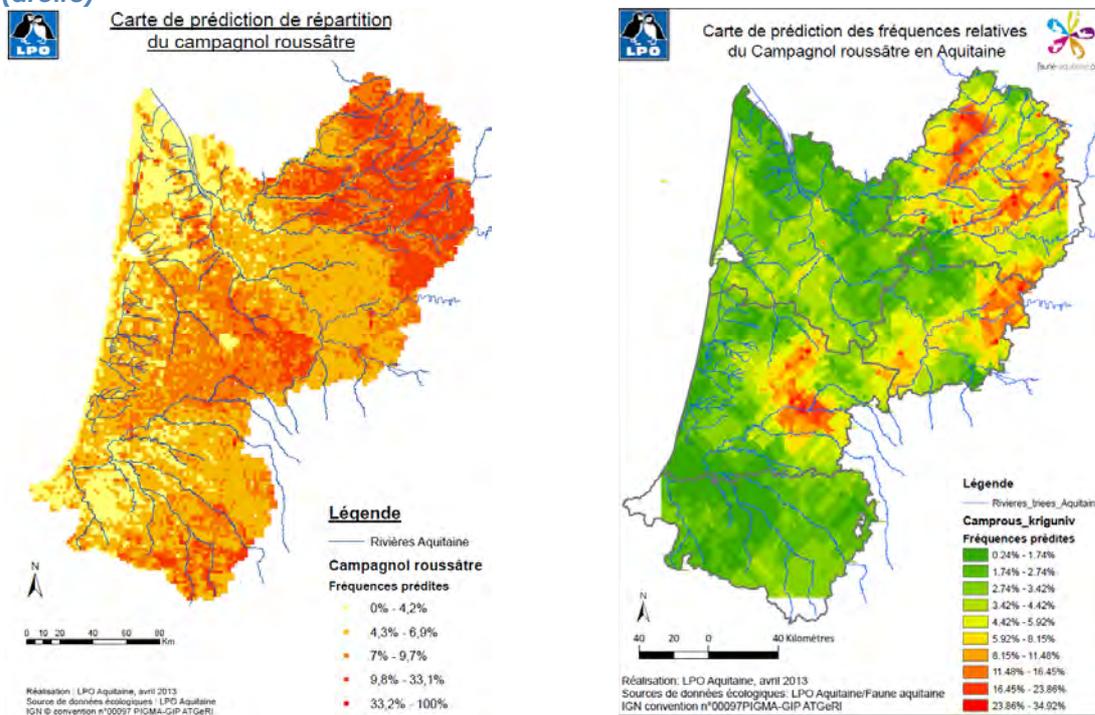
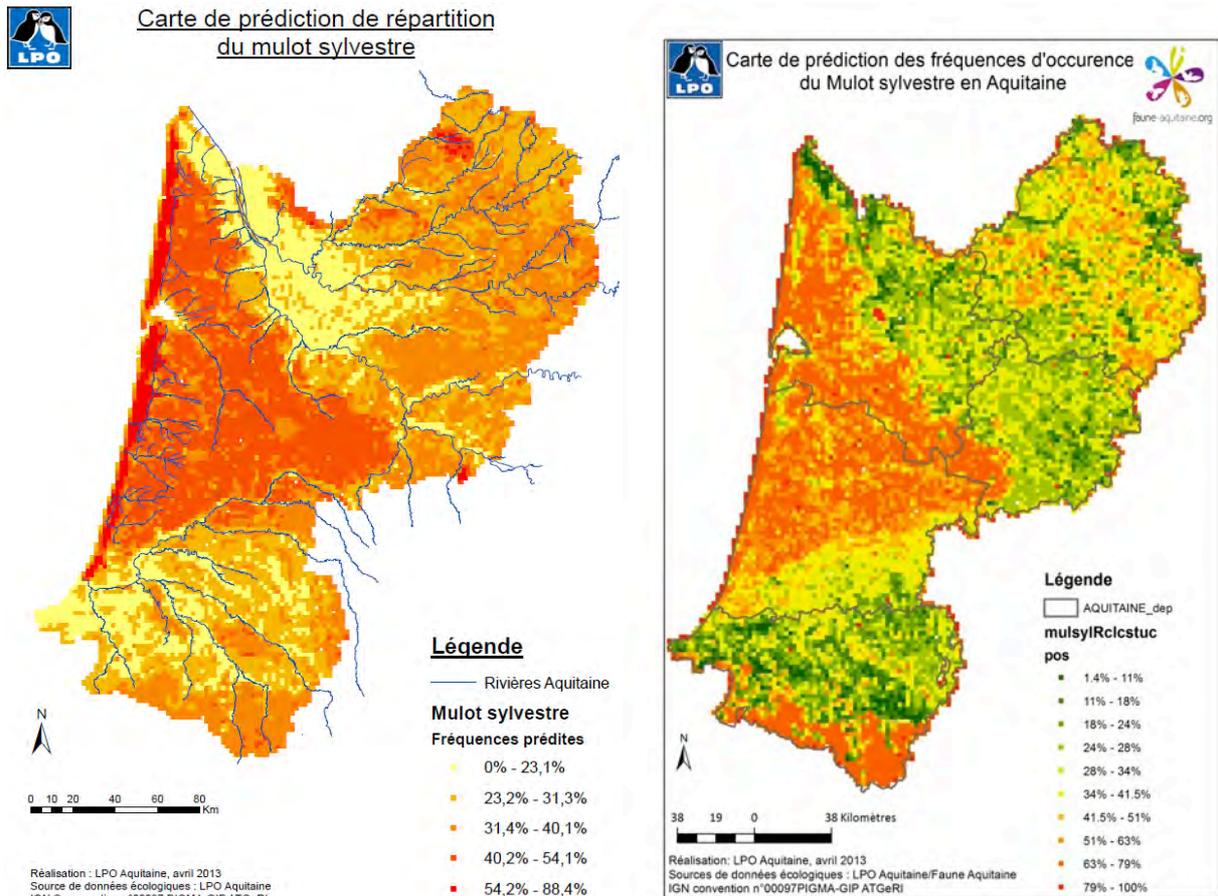


Figure 8. Comparaison de la cartographie de distribution du Campagnol roussâtre avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du co-krigeage sous ARCGIS 10 (droite)



**Figure 9. Comparaison de la cartographie de distribution du Mulot sylvestre avec la méthode des régressions pas à pas (gauche) et celle du krigeage universel sous R (droite)**

Dans l'ensemble, les cartes faites à partir du cokrigeage étaient assez similaires à celles faites à partir de notre méthode, la moins semblable étant celle sur les fréquences relatives du Campagnol roussâtre et la plus semblable étant celles sur les fréquences relatives du Campagnol des champs et du Campagnol sylvestre. Encore plus fidèle à notre méthode, celle du krigeage universel sous R, donne un rendu très similaire alors que les variables de sols n'ont pas pu être prises en compte.

## IV. Discussion

### 4.1. Facteurs expliquant les variations d'abondance des micromammifères

#### 4.1.1. Les facteurs non pris en compte dans les analyses (biais)

Plusieurs facteurs peuvent influencer sur l'abondance (nombre d'individus) et donc sur la proportion des espèces présente dans les pelotes : les facteurs liés à la technique de chasse de la Chouette effraie, les facteurs liés à l'effort d'échantillonnage des pelotes, les facteurs liés à la dynamique des populations de micromammifères et les facteurs liés à la facilité de capture des espèces.

##### *Technique de chasse de la Chouette effraie*

Ce rapace nocturne ne chasse qu'en milieu ouvert (Taberlet, 1986) ce qui, par conséquent, implique qu'il n'échantillonne que ces milieux-là. Les espèces ayant tendance à se déplacer en milieux fermés (e.g. forêt) sont donc moins capturées que les autres. Cependant ces espèces dites forestières comme le Mulot sylvestre, le Campagnol roussâtre et le Mulot à collier font des déplacements inter-biotopes de la forêt où les semences s'épuisent l'hiver vers les cultures adjacentes (Butet, 1990) ce qui expliquerait la forte quantité de mulots sylvestres capturés, d'autant plus que ce dernier est également considéré comme fortement ubiquiste (Taberlet, 1986). Cependant, par rapport aux rongeurs prairiaux herbivores pouvant accomplir tout leur cycle biologique en prairie (e.g. Campagnol des champs) (Butet, 1990), le taux de capture de ces espèces forestières doit rester inférieur. Le Mulot à collier, espèce plus étroitement liée au milieu boisé (Montgomery, 1978) est également moins capturé pour cette raison.

Cependant, les variables environnementales ayant été pris en compte dans le périmètre de chasse de la chouette effraie, on peut s'attendre à ce que ces dernières rendent compte des affinités écologiques des micromammifères-proies et que les analyses faites à partir de ces affinités soient justes. D'autre part, un échantillon minimum important (plus de 90 sites) ayant été posé pour faire les analyses, la variabilité d'habitats doit être suffisante pour proposer une bonne cartographie de distribution des espèces en Aquitaine.

##### *Les facteurs liés à l'effort d'échantillonnage des pelotes*

Comme dit au paragraphe 2.3.1, l'effort d'échantillonnage, qui peut être résumé par le nombre de pelotes recueillies par point, peut varier de façon conséquente (de 1 à 160 pelotes). Cependant ces extrêmes sont rarement atteints et la majorité des données sont caractérisées par une moyenne de 60 pelotes par lot, ce qui est suffisant. On peut donc considérer que même si l'effort d'échantillonnage n'est pas standardisé, plus le nombre d'échantillons considérés pour l'analyse est grand, meilleure est l'approximation des proportions moyennes des espèces et mieux est modélisée la relation entre ces proportions et les variables environnementales. Pour faire au mieux cependant il aurait fallu sélectionner les données pour lesquelles les nombres de pelotes étaient renseignés et situés dans une tranche allant de 40 à 80 pelotes, par exemple, ce qui aurait réduit la variabilité. Cependant, la proportion d'espèces déterminées à partir du « vrac » (os éparpillés hors des pelotes) n'aurait toujours pas été quantifiée et le nombre de points d'échantillons pris aurait été réduit de beaucoup.

##### *Les facteurs liés à la dynamique des populations de micromammifères*

Les populations de micromammifères sont connues pour suivre des fluctuations d'effectif cycliques : 4 ans pour les musaraignes (Sheftel, 1989) et 5-6 ans pour les campagnols (*Arvicola terrestris* : Pascal *et al.* 1985 ; Habert, 1988). Notre étude se déroulant sur 5 ans, il est probable que nous ayons échantillonné les populations à tous les stades de ces cycles faisant ainsi varier les abondances indépendamment des facteurs pris en compte dans nos analyses. Cette part de variabilité fait partie de la part de variance inexpliquée par nos modèles statistiques. Cette particularité a également une conséquence sur l'utilisation de l'habitat car en périodes de forte densité, les espèces se mettent à utiliser les habitats habituellement marginaux pour elles, comportement qui, en plus, peut augmenter les interactions hétéro- interspécifiques (Sundell *et al.* 2012). En conséquence, au cours de notre étude, que l'on ait été en phase de forte densité ou pas, ou entre les deux, les taux de capture de la Chouette effraie sont potentiellement différents, de même que les lieux de capture et par voie de conséquence, les facteurs environnementaux tels que la matrice paysagère, différente. Ceci ne crée pas de biais mais si nos analyses étaient faites à une autre période et sur un autre laps de temps, elles pourraient donner des résultats sensiblement différents.

#### *Les facteurs liés à la facilité de capture des espèces*

Certaines espèces fouisseuses sont moins échantillonnées par la Chouette effraie et par conséquent moins représentées d'où une certaine sous-estimation des effectifs pour ces espèces. Outre le fait que le Campagnol souterrain se trouve en limite d'aire de répartition, ce qui explique sa faible représentativité dans nos pelotes, des variations entre espèces plus ou moins fouisseuses doivent cependant exister. Cependant, encore une fois, comme notre étude n'est pas comparative et que l'on traite espèce par espèce, cela ne représente pas un biais dans nos analyses.

### **4.1.2. Résultats des régressions pas à pas et de la cartographie**

#### *Cartes des rongeurs plus ou moins prairiaux*

##### *Le Campagnol des champs*

Ses fréquences d'apparition dans les pelotes augmentent en relation avec quelques facteurs comme les grandes surfaces aéroportuaires mais diminuent avec les surfaces agricoles et celles des pâturages. En revanche, il est moins fréquent quand les zones urbanisées et les forêts de tous types augmentent en proportion. Il présente de fortes réponses négatives à certains types de sols tels que l'histosol eutrique composé d'alluvions fluviaux et présent le long des principaux cours d'eau d'Aquitaine sauf sur le plateau landais, le luvisol chromique composé d'argile résiduelle, considéré comme pierreux et présent le long de l'Adour, du Luy, de la Garonne, de l'Isle, de la Dordogne et surtout le Gleysol dystrique caractérisé comme humide dans les 80 premiers centimètres et présent dans le sud-est de la Dordogne. En revanche, le Cambisol chromique à texture de surface fine, présent entre Dordogne et Garonne, de même que l'andosol ochrique à texture de surface moyenne, présent entre Nive et Bidouze, au Pays basque, lui semblent favorables.

Comme aucune étude basée sur une caractérisation aussi fine des sols n'est connue de nous, nous ne pouvons pas comparer notre étude, cependant, Le Louarn et Quéré (2003) définissent le biotope du Campagnol des champs comme préférentiel sur les terrains en jachère sur sols profonds, couverts d'herbes rases et non soumis au labourage. Il peut également coloniser les champs cultivés, les prairies temporaires mais l'agriculture intensive lui est défavorable. Cela concorderait avec la répartition trouvée en Aquitaine, le

campagnol des champs semblant éviter le massif forestier du plateau landais au profit des collines et plateau calcaires du nord de la Garonne (vignobles et cultures du Lot-et-Garonne), de même que les collines de Chalosse et les prairies du Pays basque.

Notre modèle expliquait 51.9% de la variance avec 9 variables paysagères et 7 variables édaphiques (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est un de nos meilleurs modèles sur les 13 espèces cartographiées.

#### *Le Campagnol agreste*

D'après la bibliographie, il fréquente des biotopes plus humides et plus couverts que le Campagnol des champs : il est plutôt lié aux hautes herbes. On le trouve dans les champs (surtout en l'absence du Campagnol des champs), les clairières, les haies, les taillis, les bois clairs, les talus de bocage mais aussi les tourbières (Le Louarn et Quéré, 2003). Ceci concorde avec la distribution de l'espèce en Aquitaine. En effet, on la retrouve abondante là où le Campagnol des champs ne l'est pas mais également plus abondante là où la pluviométrie est la plus importante (sud de la région). La variable « précipitation » est d'ailleurs sélectionnée positivement dans le meilleur modèle expliquant ses variations de fréquences, ce qui est également un point commun avec l'étude d'Indelicato en 2003. Dans notre modèle, l'altitude semble également lui être favorable. Comme il est hygrophile, prairial, d'écotone boisé et herbivore non spécialiste (Indelicato, 2003), il est normal que le modèle ait sélectionné positivement les forêts mélangées, les cours et voies d'eau, les zones humides et les zones d'altitude où on rencontre plus de prairies qu'en plaine en Aquitaine.

Notre modèle expliquait 21% de la variance avec 5 variables paysagères, 7 variables édaphiques, les précipitations et l'altitude (Annexe 1 et Tableau V) ce qui est également assez satisfaisant en écologie bien qu'il reste 79% de la variance inexpliquée. Cette dernière pourrait contenir la variabilité des densités liées aux interactions hétéro- et interspécifiques (prédation, compétition, mortalités locales liées à la lutte chimique) ainsi qu'à d'autres facteurs plus fins non pris en compte dans notre analyse faite à grande échelle comme la longueur des écotones boisés ou la hauteur de végétation.

#### *Le campagnol des Pyrénées*

Espèce jumelle du Campagnol souterrain, le Campagnol des Pyrénées est connu pour être une espèce prairiale très fouisseuse (Indelicato, 2003) mais qui circule beaucoup en surface (Le Louarn et Quéré, 2003). Il apprécie les zones à plus fortes précipitations, les vallons qui forment des groupes de sources et d'étangs et les sites enclavés aux écotones boisés (Indelicato, 2003). Il n'aime pas trop le gel, a des affinités atlantiques et est sensible à la phénologie de la végétation puisque c'est un herbivore spécialiste qui mange de préférence des plantes à fleurs sauvages : Brunelle, Jasione, Pâquerette, Stellaire alsine, Trèfle, Plantain... carex et Graminées en appoint (Castién et Gosálbez, 1977). Selon Le Louarn et Quéré (2003), il habite les pâturages et les champs cultivés, les clairières et bordures de forêts ainsi que les peuplements de ligneux lâches. Il fréquente les fougères basques. Les variables sélectionnées dans notre modèle semblent concorder avec cette écologie puisque le Campagnol des Pyrénées affectionne les prairies, les terres arables non irriguées, les surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants, la végétation clairsemée et la proximité de l'océan (% d'océan dans le périmètre et non distance à la mer).

Un type de sol semble également correspondre à ses affinités écologiques : le cambisol dystrique composé de schistes verts, à texture moyenne-fine lithique, assez pentus (15-25%) et humides dans les premiers 80 cm (Annexe 3 et tableau V), présent dans l'Entre-deux-mers, en Dordogne, au sud de l'Adour et dans l'est des Landes vers la Douze et dans le sud du Lot-et-

Garonne (Annexe 4). Ce mélange de variables le rend plus fréquent dans le sud et l'est de la région (Piémont pyrénéen, Chalosse, vallée de la Garonne, Lot-et-Garonne et Dordogne). Le modèle prédictif semble avoir identifié des facteurs environnementaux favorables à l'espèce sur le bassin d'Arcachon et dans le nord Médoc. Comme aucun Campagnol des Pyrénées n'a été retrouvé dans ces zones, c'est que soit, l'échantillonnage est insuffisant et qu'il est réellement présent mais en quantités très faibles, soit que des facteurs tels que la compétition, la prédation ou la fragmentation empêchent la colonisation de l'ouest/nord-ouest de la région. La grosse matrice de pins maritimes présente jusqu'à ces zones constitue sûrement une bonne barrière à la dispersion.

Notre modèle expliquait 26.3% de la variance avec 6 variables paysagères et 1 variable édaphique, (Annexe 1 et Tableau V) ce qui est également assez satisfaisant bien qu'il reste 74% de la variance inexplicée. Si le gel semble être un facteur déterminant de sa distribution dans le Limousin (Indelicato, 2003), il est curieux que les températures minimales de janvier n'aient pas été sélectionnées en Aquitaine car il existe aussi dans notre région de belles variations intra-régionales (-4.7°C à 3.8°C). Une étude sur des micro-habitats de trois espèces sympatriques dans le versant sud des Pyrénées à 200m d'altitude (Campagnols des Pyrénées, basque et provençal), a mis en évidence un partage de l'espace ; le Campagnol des Pyrénées préférant les sols profonds avec une couverture végétale dense alors que le Campagnol basque préférerait les zones à couverture végétale basse à sols peu profonds (Le Louarn et Quéré, 2003). Par conséquent, la présence du Campagnol basque peut jouer sur la répartition du Campagnol des Pyrénées et faire partie des variables biotiques à prendre en compte dans les modèles. De même, des variables environnementales plus fines semblent également jouer sur sa distribution.

#### *Le Campagnol terrestre*

Avec 450 individus et 100 points de collecte, cette espèce commence à être dans la limite du nombre d'échantillons suffisant pour que les régressions multiples pas à pas avec les 81 variables soient possibles. Les résultats présentés dans le Tableau V sont issus de cette méthode cependant, comme très insatisfaisants, nous avons également tenté de faire tourner les modèles avec un jeu réduit de variables en réduisant la définition des entités paysagères (poste 1 et 2 de CORINE) et en regroupant les sols par grands types (cambisol, podzol, luvisol, etc.). Les résultats n'ont pas été plus concluants. Un autre facteur qui ne joue pas en notre faveur est la répartition des données factuelles de l'espèce qui sont toutes (ou presque) situées sur le plateau landais et qui ne permettent pas de tester une grande variabilité de variables environnementales. Par exemple, Indelicato (2003) trouve que sa répartition dans le Limousin est expliquée par le niveau des précipitations et le juge hygrophile. Au sein du plateau landais, la variabilité de niveau de précipitation est peut-être insuffisante pour être détectée comme jouant sur les densités du Campagnol terrestre.

Le Campagnol terrestre présente une affinité pour le tissu urbain discontinu ainsi qu'une aversion pour une grande diversité de types de sols. Cette première affinité est en accord avec Le Louarn et Quéré (2003) qui le disent occuper les jardins et vergers souvent associés à ce type d'urbanisation. Quant à la non-affection pour la diversité des sols, elle pourrait se retrouver dans la limite d'aire occidentale trouvée par Indelicato (2003) dans le Limousin qui coïncide avec une fragmentation du paysage et une mosaïque de labours-prairies qui pourraient dénoter d'une plus grande diversité édaphique.

Sa préférence pour le Regosol eutrique constitué de sables côtiers moyennement fins, assez sec jusqu'à 80 cm de profondeur et de pente 15 à 25% le donnerait très fréquent sur l'ensemble du littoral alors qu'il n'a pas été trouvé au-dessus du bassin d'Arcachon et au sud du bassin de l'Adour sur le littoral. Le poids des quelques gros échantillons trouvés sur le littoral

a dû peser lourd sur la sélection de cette variable édaphique dans le modèle. D'autre part, si cette préférence est réelle, d'autres facteurs d'ordre biotique ou abiotique non présents dans nos analyses semblent empêcher une telle colonisation du littoral.

Si le meilleur modèle explique 23% de la variance, il n'est toutefois pas satisfaisant et le choix de variables environnementales plus fines dont un gradient existerait au sein de sa répartition factuelle (plateau landais) pourrait aider à une meilleure compréhension des facteurs régissant sa répartition et à mieux cartographier sa distribution en Aquitaine.

### *Cartes des deux rongeurs forestiers*

#### *Le Campagnol roussâtre*

Ce rongeur est considéré comme étant tributaire des zones forestières (Taberlet, 1986 ; Indelicato, 2003) à sous-bois moyennement dense, son habitat préférentiel étant constitué de parcelles non exploitées où les arbres morts et les branches cassées sont demeurées en place, avec une épaisse litière (Le Louarn et Quéré, 2003). Les broussailles, ronciers et zones à fougères lui sont favorables (Le Louarn et Quéré, 2003). Sa distribution est irrégulière et peut dépendre des fainées, des glandées et des déplacements en zones ouvertes où la Chouette effraie le capture (Taberlet, 1986 ; Indelicato, 2003). Il affectionne également les cultures (Taberlet, 1986 ; Indelicato, 2003) et notamment le maïs (Taberlet, 1986). Ce dernier point expliquerait une bonne présence sur le plateau landais et en Chalosse, zones de cultures importantes de maïs (47% de l'occupation des sols). Sa préférence forestière est corroborée par la sélection de ces habitats par le modèle (forêts de feuillus, forêts de conifères et forêts mélangées). Ce dernier nous apprend également que sa fréquence augmente avec le tissu urbain discontinu et les zones perturbées comme celles en chantiers. Ce dernier point pourrait dénoter d'une facilité à coloniser de nouveaux milieux pour cette espèce. D'ailleurs, sa grande plasticité d'adaptation est citée par Le Louarn et Quéré (2003) qui mettent en avant sa présence unique en tant que campagnol sur Belle-île-en-Mer où il se rencontre dans tous les biotopes, y compris les champs ouverts.

Le Campagnol roussâtre affectionne deux types de sols particulièrement : le Cambisol spodo-dystrique constitué de grès, humide et pierreux, présent sur le littoral médocain et le podzol humo-orthique constitué de sables éoliens, également humide et présent le long de la Nizonne dans le nord Dordogne. La distance à la mer est également une variable sélectionnée par le modèle. On constate en effet que le Campagnol roussâtre est assez peu fréquent sur le littoral et l'est plus dans les terres.

Notre modèle explique 20.5% de la variance avec 5 variables paysagères, 2 variables édaphiques et la distance à la mer (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est également assez satisfaisant bien qu'il reste 80% de la variance à expliquer. La compétition avec d'autres rongeurs forestiers, notamment le Mulot sylvestre et le Mulot à collier serait intéressante à prendre en compte, de même qu'avec le Campagnol agreste dont la compétition a été attestée dans les forêts de Taïga (Hansson, 1983) et en Scandinavie (Myllymäki, 1977). Un meilleur échantillonnage de cette espèce en forêt pourrait se faire à partir de pelotes de Hibou moyen-duc (*Asio otus*) et de Chouette hulotte (*Strix aluco*) qui chassent en milieu plus couvert.

#### *Le Mulot sylvestre*

Cette espèce présente une plasticité remarquable et est considérée comme pionnière. Elle est présente partout ou peu s'en faut car elle fréquente tous les biotopes qui ne sont pas totalement dépourvus de végétation herbacée parsemée de buissons, mais elle est aussi à son aise dans les forêts de feuillus à sous-bois dense que dans les champs de céréales sur

piéd, les prairies ou les talus plantés du bocage (Le Louarn et Quéré, 2003). On peut également la rencontrer dans les habitations en hiver et au printemps mais dès le retour de la belle saison, elle quitte rapidement les constructions pour s'établir en plein air (Le Louarn et Quéré, 2003).

Compte-tenu de la répartition du Mulot sylvestre en Aquitaine, nous serions tentés de corroborer les dires de Le Louarn et Quéré (2003). Cependant, ces mêmes auteurs affirment que l'espèce est absente ou rare dans les forêts de conifères dépourvues de sous-bois ce qui mérite discussion car il est d'évidence majoritairement présent en Aquitaine dans le massif forestier landais à pins maritimes. Ce massif est essentiellement composé de futaies régulières et équiennes fortement perturbées en sous-bois, ne laissant de place qu'à la Molinie bleue (*Molinia caerulea*), aux buissons d'ajoncs (*Ulex minor*, *Ulex europaeus*), à la bruyère (*Calluna vulgaris*, *Erica scoparia*, *Erica ciliaris*, *Erica tetralix*), au Genêt à balai (*Cytisus scoparius*), et à la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Ce massif est toutefois perfusé de nombreux cours d'eau circulant sur ce substrat sableux et entourés de forêts-galeries formées de saules (*Salix alba*), d'aulnes (*Alnus glutinosa*), de chênes tauzins (*Quercus pyrenaica*) et de frênes (*Faxinus excelsior*), certainement sources de nourriture pour ce granivore majoritaire.

Notre modèle explique 34.8% de la variance avec 6 variables paysagères, 4 variables édaphiques et la distance à la mer (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est également assez satisfaisant bien qu'il reste 65% de la variance à expliquer. Le Mulot à collier étant plus forestier, il est moins capturé par la Chouette effraie, ce qui nous empêche de nous rendre compte de sa répartition. Toutefois, il est possible que la compétition avec cette espèce participe à la variabilité des fréquences de mulots sylvestres trouvées. La Genette commune (*Genetta genetta*) a pour base de régime alimentaire les mulots et semble s'être spécialisée sur cette espèce (Le Louarn et Quéré, 2003). Il est par conséquent envisageable que la densité de ce prédateur joue sur la densité du Mulot sylvestre. Même si les données de genettes ont été prises en compte dans notre variable « prédateurs », comme tous les prédateurs ont été sommés, il est possible que son effet soit dilué. D'autre part, cet animal est très discret et sa présence est essentiellement relevée en cas de mortalité due au trafic routier ce qui donne un aperçu biaisé et faible de sa répartition.

### Cartes des musaraignes

#### La Musaraigne couronnée

Cette musaraigne préfère un climat atlantique doux (Hausser, 1978) : elle privilégie les habitats moins froids et moins humides que ceux de la Musaraigne carrelet (Rossier *et al.* 1992). Elle semble ne pas supporter de longues expositions à des températures > 30°C. On peut la trouver dans des zones marécageuses, à proximité des habitations humaines (Genoud et Hausser, 1979) ou même le long des autoroutes. Dans les zones très cultivées, elle trouve refuge en bordure de ruisseaux (Cantoni, 1990). Dans le Limousin, cette espèce se trouve dans les sites pluvieux froids, est hygrophile et résistante au gel (Indelicato, 2003). Quand le nombre d'habitations augmente au-dessus d'un certain seuil, la Crocidure musette prend la place de la Musaraigne couronnée qui semble préférer un environnement humain peu dense (Indelicato, 2003).

En Aquitaine, la Musaraigne couronnée occupe tout le territoire avec de plus fortes fréquences sur le plateau landais ainsi qu'en Dordogne. Le meilleur modèle a sélectionné positivement les forêts de conifères et les forêts mélangées, de même que la végétation arbustive en mutation ; ces zones sont effectivement peu denses en habitations, à climat plus doux et non agricoles.

Contrairement aux individus du Limousin, les musaraignes aquitaines ne semblent pas hygrophiles puisqu'elles ne suivent pas le gradient de précipitations nord-sud. Cette variable

est même sélectionnée négativement dans le meilleur modèle expliquant la variabilité de fréquence de l'espèce dans les échantillons (Annexe 1 et Tableau V). Toutefois, la présence de la Musaraigne carrelet dans les Pyrénées pourrait expliquer ces fréquences moindres dans le massif montagneux. La barrière sud semble cependant plus au nord puisque les fréquences chutent drastiquement au sud de l'Adour et que les collines et plateaux agricoles du bassin de l'Adour sont très peu occupés par l'espèce. Il est possible que dans ces zones fortement agricoles, la Crocidure musette l'emporte et que la compétition avec cette espèce soit l'explication à une telle distribution, en plus de sa non-affection pour cet habitat.

Les fréquences de la Musaraigne couronnée augmentent avec les proportions de deux types de sols : le Fluvisol gleyo-calcaire composé d'alluvions fluviaux moyens-fins et humides à composition saline, situés le long de la vallée de la Garonne en Gironde et la rendzine orthique formée de craie secondaire à texture fine et imperméable, présente en Dordogne et sur le massif pyrénéen entre Nive et Gave de Pau (Annexe 4).

Notre modèle explique 21.8% de la variance avec 4 variables paysagères, 2 variables édaphiques et le niveau des précipitations (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est également assez satisfaisant bien qu'il reste 68% de la variance à expliquer. La présence de la Crocidure musette serait à prendre en compte pour améliorer le modèle de même que des facteurs plus fins comme l'épaisseur de la litière (Castién et Gosábez, 1999). Toutefois, l'introduction des différents types de sols dans nos modèles est d'évidence un plus quant à l'explication de la variabilité des fréquences observées de musaraignes couronnées, car cette espèce est jugée comme utilisant abondamment les tunnels souterrains (Castién et Gosábez, 1999) et donc dépendante du type de sol présent.

#### *La Crocidure musette*

Elle est présente sur l'ensemble du territoire aquitain avec des fréquences plus élevées dans le sud-ouest (ouest des collines et plateaux agricoles de pays de l'Adour, plus le littoral), le nord-ouest (nord Médoc) et l'est (sud Dordogne/nord Lot-et-Garonne) de la région (Annexe 1).

Dans la bibliographie, la Crocidure musette est présente presque partout quand les conditions climatiques sont bonnes et, en cas de conditions défavorables, elle est généralement associées aux constructions humaines (jardins, vergers, granges, étables, décharges, autoroutes, villes) (Lugon-Moulin, 2003). Etant donné sa répartition dans tous les milieux en Aquitaine, on peut penser que les conditions climatiques pour cette espèce sont bonnes sur l'ensemble du territoire. Il est possible, cependant, que cette espèce soit plus anthropophile dans le massif pyrénéen en altitude.

Dans notre étude, le meilleur modèle a sélectionné négativement la forêt de conifère ainsi que les vignobles où l'espèce est moins fréquente. Concernant les vignobles, il a été montré que l'espèce était sensible aux traitements herbicides qu'elle fuyait (Fons *et al.* 1996). L'espèce ne semble pas apprécier la diversité paysagère puisque ses fréquences diminuent quand elle augmente, ce qui semble contradictoire avec les besoins d'une espèce plutôt ubiquiste et qui est peut-être dû au grain trop grossier de CORINE landcover (25ha). Par contre, les fréquences de la Crocidure musette augmentent dans les zones industrielles et commerciales, avec les surfaces en terres arables non irriguées et les systèmes culturels et parcellaires complexes. Le milieu estuarien semble également lui être favorable bien que ces fréquences augmentent sensiblement plus on s'éloigne de l'océan. La Crocidure musette ne semble pas insensible aux facteurs édaphiques puisqu'elle est plus fréquente en présence d'un certain type de sol : le cambisol humo-calcaire composé de calcaires secondaires de texture moyenne-fine et de pente entre 15 et 25%. Ces sols sont secs dans les premiers 80 cm et présents sur le massif pyrénéen près de la Nive et du Saison (Annexe 4).

Notre modèle explique 13.2% de la variance avec 7 variables paysagères, 1 variable édaphique et la distance à la mer, (Annexe 1 et Tableau V) ce qui est peu satisfaisant car 87% de la variance reste à expliquer. Parmi les facteurs biotiques jouant sur ses densités, on peut envisager la compétition avec d'autres musaraignes comme la Musaraigne couronnée, la densité de proies, bien que le panel soit très étendu (homoptères (pucerons), isopodes, myriapodes, larves de lépidoptères, ainsi que d'acariens, de collemboles, de dermoptères, d'hétéroptères, de lépidoptères, de puces et d'anoploures, notamment ; Bever, 1983), et la densité de prédateurs. Cette dernière variable n'ayant jamais été sélectionnée car sans doute trop englobante, il serait préférable de mieux cibler les prédateurs préférentiels de l'espèce. La couverture végétale semble également jouer (Lugon-Moulin, 2003), par conséquent une hauteur de couvert végétal serait peut-être une variable intéressante à ajouter bien que très difficile à obtenir à cette échelle et sans doute déjà englobée dans les différents types d'habitats de CORINE utilisés.

Toutefois, bien que le modèle n'explique que peu de variance, la cartographie résultante reste assez satisfaisante car assez proche des données factuelles (Annexe 1).

#### *La Musaraigne pygmée*

Cette espèce fréquente aussi bien les pentes humides, les forêts, les régions marécageuses, que les tourbières en Suisse. Elle se rencontre également dans les milieux plus ouverts disposant d'un bon couvert végétal et d'une certaine humidité, mais aussi dans les milieux où la végétation au sol est faible. Elle semble apprécier le voisinage des cours d'eau, dont les rives offrent des cachettes. Par contre, elle fuit les zones intensément cultivées (Lugon-Moulin, 2003). Sur les côtes nord-atlantiques (Heydemann, 1960) et en Irlande (Gainger et Fairley, 1989), on peut la trouver dans les dunes de sable et sur les plages. Elle semble ne pas supporter de longues expositions à des températures supérieures à 32.5°C (Sparti et Genoud, 1989).

En Aquitaine, on rencontre essentiellement la Musaraigne pygmée sur le plateau landais mais aussi autour de l'estuaire de la Garonne et à l'ouest du plateau calcaire à vocation agricole du Nord de la Garonne. Dans notre étude, il ressort que la Musaraigne pygmée est plus fréquente le long des réseaux routiers et ferroviaires (code 122 de CLC06) ainsi que de leurs espaces associés ce qui pourrait être en accord avec ses très bonnes capacités de colonisatrice (Peltonen and Hanski, 1991). Elle affectionne également la forêt de conifère et la forêt mélangée comme en atteste le meilleur modèle (Annexe 1, Tableau V). En revanche, et contrairement à ce que l'on peut voir en Suisse ou en Charente-Maritime, elle n'affectionne pas particulièrement les zones humides puisqu'elle est moins abondante là où elles sont plus étendues.

Trois types de sols ont été sélectionnés positivement dans le meilleur modèle : l'arenosol dystri-cambique, de structure grossière, assez sec et pierreux, composé de terrasses et présent le long de la Garonne depuis l'estuaire en Gironde et sur les bords de l'Isle, et deux types de fluvisol plus ou moins humides composés d'alluvions fluviales, présents le long du bassin hydrographique de l'Adour et le long de la Garonne depuis le ruisseau du Gat-mort jusqu'au Lot-et-Garonne. Cette sélection explique sans doute les fortes fréquences prédites autour de l'estuaire de Gironde, de la Garonne et sur l'Adour et la Midouze.

Notre modèle explique 32.8% de la variance avec 4 variables paysagères et 4 variables édaphiques, (Annexe 1 et Tableau V) ce qui est assez satisfaisant bien qu'il reste 67% de la variance à expliquer.

#### *La Musaraigne aquatique*

Comme son nom le suggère, la Musaraigne aquatique préfère les abords immédiats des cours d'eau (à moins de 50 cm du bord (Rychlik, 2000)) mais elle peut aussi être capturée loin de l'eau. En Suisse, elle se rencontre au bord des étangs, des lacs, des cours d'eau de plaine et de montagne, dans les canalisations ainsi que dans les régions marécageuses (Lugon-Moulin, 2003). Des individus furent même capturés le long des autoroutes (Lugon-Moulin, 2003). En France, des captures ont été faites dans des ceintures de jonc et de laïche, dans un canal alimentant un étang dans le Morvan (Sirugue et Bolache, 1995). Il est important que ces biotopes disposent d'une bonne couverture végétale et de berges naturelles offrant de nombreuses galeries. Les souches d'arbres, les enchevêtrements de racines et les pierres peuvent également lui servir de retraite. On peut également la trouver sur le littoral (Lugon-Moulin, 2003).

En Aquitaine, la Crossope aquatique se trouve essentiellement sur le plateau landais et dans le massif pyrénéen, de même qu'à l'est des collines et plateaux agricoles des pays de l'Adour. On peut la trouver plus sporadiquement en fréquences importantes sur les plateaux calcaires à vocation agricole du nord de la Garonne, de même qu'en Dordogne.

Sans surprise, le meilleur modèle trouve l'espèce plus fréquente quand les proportions en zones humides sont plus importantes. Elle semble, par contre, moins affectionner la forêt de conifères, et moins sensible à la diversité des sols. Sa bonne présence sur le plateau landais ne serait donc pas due à la présence de la forêt de pins maritimes mais plutôt aux nombreux cours d'eau qui la traversent, notamment sur le réseau hydrographique de la Midouze dont la qualité de l'eau est assez bonne, comme en témoigne la présence d'Ecrevisse à pattes blanches (FSD du site N2000 « FR7200722 - Réseau hydrographique des affluents de la Midouze »). Elle est également plus fréquente en altitude, ce qui se comprend vu son écologie et la qualité supérieure des cours d'eau de montagne même si elle est capable d'adapter son régime alimentaire en fonction de l'environnement exploité (Castién, 1995 ; Lugon-Moulin, 2003).

Le gros patch de fréquence prédite importante situé au centre de la carte coïncide avec le camp militaire de Captieux correspondant à la codification d'habitat CORINE « 322 » (Landes et broussailles) sélectionné positivement par la Crossope aquatique. Cependant la sélection de cet habitat n'est pas due à un point proche du camp où la Crossope serait fréquente car aucun point de ce type n'existe dans les 2 km autour du camp. La relation avec les landes et broussailles est donc bien réelle et vient de relations entre d'autres multiples points et cet habitat ailleurs.

Notre modèle explique 57.2% de la variance avec 4 variables paysagères et 4 variables édaphiques (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est très satisfaisant et notre meilleur modèle.

### *La Crocidure des jardins*

Cette espèce affectionne les milieux ouverts de plaine (jardins, haies) et peut se rencontrer à proximité des constructions (Lugon-Moulin, 2003). On peut aussi la rencontrer sur les côtes (Pernetta, 1973) et dans les dunes, ou encore dans les forêts pour autant qu'elles ne soient pas denses (Lugon-Moulin, 2003). On peut également la retrouver sur des zones de pinèdes, deux ans après destruction par le feu (Haim *et al.* 1997). Elle préfère les lieux chauds et secs si bien qu'on ne la rencontre guère en altitude (jusqu'à 1600 m mais rare même au-delà de 1000 m).

En Aquitaine, cette musaraigne se trouve majoritairement sur le plateau landais dans un triangle délimité par le littoral, la Leyre au nord et l'Adour et la Midouze au sud. Elle est aussi présente mais en proportions moindres dans le Médoc, la Dordogne, le Massif pyrénéen et les coteaux de Chalosse.

Curieusement, alors qu'elle est assez présente sur le littoral, le modèle donne une relation négative assez forte entre les fréquences de musaraignes des jardins et les surface en plages, dunes et sables. Cette musaraigne n'apprécierait pas non plus les prairies ni la diversité paysagère (Tableau V, Annexe 1). Par contre, elle serait plus fréquente sur du regosol eutrique constitué de sables côtiers et présents sur le littoral, ce qui expliquerait les plus fortes fréquences trouvées dans la carte prédictive sur la côte sableuse.

Notre modèle explique 26% de la variance avec 3 variables paysagères et 1 variable édaphique (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est assez satisfaisant bien que 74% de la variance reste à expliquer. Parmi ceux-ci l'histoire de colonisation post-glaciaire de l'espèce (Dubey *et al.* 2006) pourrait expliquer sa présence importante sur le littoral de même que la compétition possible avec la Crocidure musette (Kraft, 2000) pourrait empêcher une colonisation plus étendue à l'est et au sud de la région.

### *Cartes des rongeurs plus ou moins liés aux cultures*

#### *Le Rat des moissons*

Primitivement habitant des roselières (phragmitaies, scirpaies...), il s'est adapté à la vie dans les cultures céréalières et les hautes herbes, y compris en lisière de boisements (Le Louarn et Quéré, 2003).

En Aquitaine, on le trouve un peu partout sur le territoire avec des fréquences moindres dans les Pyrénées-Atlantiques et supérieures sur le plateau landais et notamment sur le littoral.

Parmi les variables paysagères que le meilleur modèle a sélectionnées, on trouve la proportion en plans d'eau et la taille moyenne du patch d'habitat, les fréquences du rat des moissons augmentant avec ces deux variables. Etant donnée son affinité envers les champs de maïs qui représentent souvent des patches de cultures très importants sur le plateau landais, la sélection de cette dernière variable n'est pas étonnante. En revanche, la préférence des milieux proches des plans d'eau n'était pas connue mais cette mise en évidence est peut-être due au grain de notre variable paysagère (25ha).

Concernant les sols, il semble plus fréquent sur trois types différents : le cambisol spodo-dystrique, humide et composé de grès, présent autour du lac d'Hourtin-Carcans dans le Médoc, l'histosol eutrique composé d'alluvions fluviaux, présent le long des principaux cours d'eau aquitains, sauf sur la Leyre et le littoral au nord de l'Adour, et le vertisol chromique composé de calcaire crayeux, présent sur la vallée de l'Isle et de la Rizonne en Dordogne. Ces préférences expliquent aisément les fréquences supérieures attendues sur la carte de prédiction (Annexe 1).

Notre modèle explique 32.7% de la variance avec 2 variables paysagères et 3 variables édaphiques (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est assez satisfaisant bien que 67% de la variance reste à expliquer. L'échantillon de départ était de 168 points, ce qui semble quand même assez restreint pour un tel territoire. Un effort plus marqué d'échantillonnage sur cette espèce ou des variables environnementales plus fines permettraient peut-être d'améliorer la cartographie de l'espèce. Du cokrigeage tenant compte de l'auto-corrélation spatiale donnerait également sûrement un meilleur rendu car il aurait mis en valeur le plateau landais plutôt que les vallées alluviales.

#### *La Souris domestique*

Les populations commensales circulent dans les constructions, les sols, les céréales, les entrepôts (Le Louarn et Quéré, 2003). Les populations sauvages vivent dans les zones littorales assez humides, les cultures irriguées, les bordures d'étangs d'eau douce, les phragmitaies mais aussi les bois de chênes verts (Le Louarn et Quéré, 2003).

En Aquitaine, la Souris domestique est présente sur tout le territoire.

Parmi les variables paysagères sélectionnées positivement par le modèle, il y a les espaces verts urbains, les vergers et les zones d'extraction de matériaux (carrières), toutes trois liées à l'homme et les surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels.

Même si, écologiquement parlant, la préférence de certains sols n'a pas beaucoup de pertinence pour cette espèce non fouisseuse, on la retrouve plus fréquemment sur 3 types de sols différents : le cambisol dystrique présent tout autour du plateau landais et notamment en Dordogne, le podzol leptique, caractéristique du plateau landais et le cambisol gleyique présent sur le Pays basque près de la Nive.

Notre modèle explique 25.3% de la variance avec 4 variables paysagères et 3 variables édaphiques (Annexe 1 et Tableau V), ce qui est assez satisfaisant bien que 75% de la variance reste à expliquer. Parmi ces variables, la compétition avec le Mulot sylvestre serait à prendre en compte, notamment lors de la colonisation en extérieur de nouveaux habitats (Le Louarn et Quéré, 2003).

## 4.2. Méthode utilisée

Entre notre méthode ignorant les relations spatiales entre les variables et le krigeage qui en tient compte, il est intéressant de peser le pour et le contre dans le cadre d'un rendu cartographique sur la distribution des espèces.

Les avantages du krigeage avec ARCGIS et R:

- Il prend en compte l'auto-corrélation spatiale des données et donne un aspect lissé aux cartes de par ce fait (l'intensité diminue avec la distance aux points).
- Il donne des cartes d'erreurs de prédiction associées
- Il est rapide d'exécution (ARCGIS, avec R moins)
- Il permet d'attribuer à une entité (maille de 2x2km) une valeur (avec R)
- Il lisse l'effet de grosses variables (l'effet camp de Captieux n'apparaît plus sur la carte du Campagnol des champs, Figure 6, par exemple)

Les désavantages du krigeage avec ARCGIS et R:

- On ne peut prendre en compte que 3 covariables (ARCGIS)
- Il est long d'exécution surtout quand les variables sont nombreuses (avec R) et ne fonctionne plus passé un certain nombre de variables ou avec trop de zéros dans les variables environnementales
- Il ne permet pas de discrétiser l'espace et de retrouver des valeurs prédites par unité (e.g. maille 2x2km) (avec ARCGIS)
- La valeur prédite avec R est souvent irréaliste (négatives ou bien supérieures au possible)

La méthode de régression multiple pas-à-pas a pour avantage:

- de nous renseigner sur les paramètres sélectionnés pour la construction des cartes de prédiction ce que ne fait pas le krigeage universel ou le cokrigeage (avec ARCGIS : choix de 3 variables, avec R, nombre limité)
- de mieux interpréter les cartes puisqu'on connaît les coefficients attribués à chaque variable environnementale
- d'associer une valeur à une unité cartographique choisie (e.g. maille 2x2km)
- de donner des valeurs prédites interprétables et réalistes.

## 5. Conclusion

La technique de cartographie basée sur la recherche des variables environnementales jouant sur les fréquences d'occurrence des micromammifères dans les pelotes de réjection, testée dans notre étude, a montré des résultats prometteurs et encourageants. Non seulement elle a permis de cartographier convenablement une douzaine d'espèces sur l'ensemble de la région mais en plus, elle a permis de comprendre les facteurs qui expliquaient au moins un quart de la variabilité de représentativité de ces espèces dans les différents secteurs échantillonnés d'Aquitaine. Comparée à une méthode plus usuelle de krigeage, cette méthode prend plus de temps et ne tient pas compte de la structuration spatiale des données de fréquences mais donne toutefois un rendu très similaire, voire plus satisfaisant.

Cette étude a permis une avancée notable dans la connaissance de la distribution des micromammifères en Aquitaine ainsi que des facteurs la régissant malgré son approche macro-écologique (variables au grain assez fort). L'intérêt de l'étude porte principalement sur la faisabilité d'une approche prédictive de la distribution des espèces. Toutefois le pouvoir explicatif de la méthode reste majoritairement inférieur à 50%. L'importance de la granularité des informations prise en compte dans les variables « indépendantes » serait à tester.

Après cette étude centrée sur les espèces, un travail mené au niveau des communautés de micromammifères et d'identification des variables environnementales régissant ces assemblages, déjà entamé, est à approfondir. Il nous permettrait notamment de cartographier les assemblages de musaraignes et de campagnols (composés du plus grand nombre d'espèces), au sein de la région, et selon les grandes écorégions la composant.

## Bibliographie

- BD ALTI**, référentiel du relief sur la France. Disponible sur <http://professionnels.ign.fr/bdalti> consulté en avril 2013.
- Bever, K.** (1983) Zur Nahrung des Hausspitzmaus, *Crocidura russula* (Hermann, 1780), Säugetierkd. Mitt. 31:13-26.
- Bray J.R., Curtis J.T.** 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monograph 27: 325-349.
- Butet, A.** (1990) Régime alimentaire et utilisation de l'espace chez le Mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*). Comparaison avec d'autres micro-rongeurs. In : Les Mammifères dans le bocage. Colloque SFPEM: 24-33.
- Andersson, M., Erlinge, S.** (1977) Influence of predation on rodent populations. *Oikos*, 29: 591-597.
- Castién, E.** (1995) The diet of *Neomys fodiens* in the Spanish Western Pyrenees. *Folia Zool.* 44, pp. 297-303.
- Castién, E. & Gosálbez, J.** (1997) The diet of *Microtus pyrenaicus* (De Selys-Lonchamps) in the western Pyrenees. *Z. Säugetierkunde*, 62 : 152-157.
- Cantoni, D.** (1990) Etude en milieu naturel de l'organisation sociale de trois espèces de musaraignes, *Crocidura russula*, *Sorex coronatus* et *Neomys fodiens* (*Mammalia*, *Insectivora*, *Soricidae*), Thèse de Doctorat, Université de Lausanne.
- Chevan, A. & M. Sutherland,** 1991. Hierarchical partitioning. *The American Statistician*, 45: 90–96.
- Corine Land Cover**, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Disponible sur <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/li/1825/1097/occupation-sols-corine-land-cover.html> consulté le 7 Août 2012.
- De Bruijn, O.** (1979) Voesselocologie van de kerkuil, *Typo alba*, in Nederland. *Limosa*, 52: 91-154.
- Dubey, S., Zaitsev, F., Cosson, J-F, Abdukadier, A., Vogel, P.** (2006) Pliocene and Pleistocene diversification and multiple refugia in a Eurasian shrew (*Crocidura suaveolens* group). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 38: 635–647.
- ESRI** 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fons, R. Grabulosa, I., Feliu, C., Marchand, B., Miquel, J.** (1996) Contribution à l'étude des micromammifères de la chaîne des Pyrénées : Particularités de l'extrême oriental (Massif des Albères). *Orsis* 11: 93-106.
- Haim, A., Rozenfeld, A., Izhaki, I.** (1997) Post-fire response of shrews (*Crocidura suaveolens*) on Mount Carmel, Israël. *Mammalia*, 61, pp. 527-536.
- Genoud, M, Hausser, J.** (1979) Ecologie d'une population de *Crocidura russula* en milieu rural montagnard (*Insectivora*, *Soricidae*), *Rev.Ecol. (Terre Vie)* 33 : 539-554.
- Géroudet, P.** (1978) Les rapaces diurnes et nocturnes d'Europe - Delachaux & Niestlé, Neuchâtel. 426pp.
- Grainger, J.P., Fairley, J.S.** (1978) Studies on the biology of the Pygmy shrew *Sorex minutus* in the west of Ireland, *J. Zool. (London)* 186 : 109-141.
- Habert, M.** (1988) - Fonctionnement des réseaux d'alerte et évolution des densités du Campa-gnol terrestre en France. *EPPO Bull.*, 18: 423-427.
- Hansson, L.**, 1983. Competition between rodents in successional stages of taiga forests: *Microtus agrestis* vs. *Clethrionomys glareolus*. *Oikos*, 40: 258-266.
- Hansson, L.** 1984. Predation as a factor causing extended low densities in microtine cycles. *Oikos*, 43: 255-256.

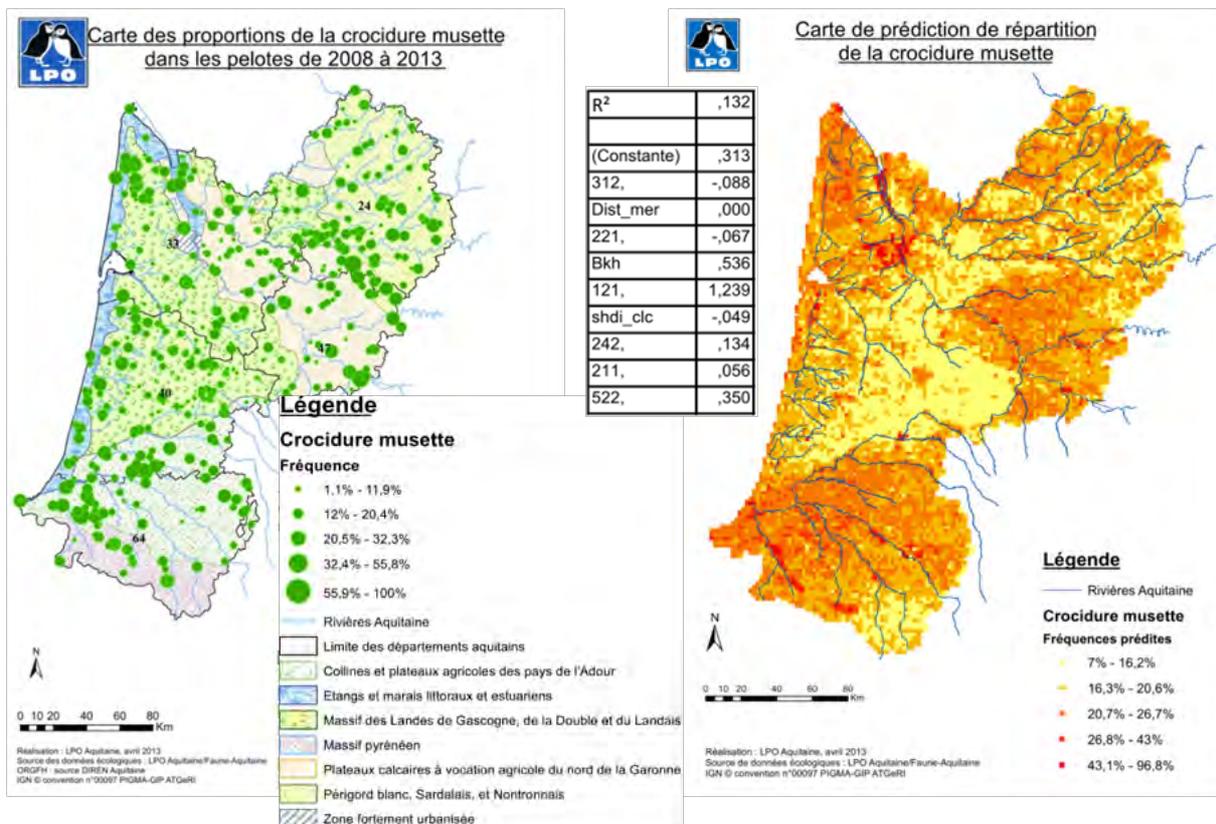
- Hausser, J.** (1978) Répartition en Suisse et en France de *Sorex araneus* L. 1758 et de *Sorex coronatus* Millet, 1828 (*Mammalia insectivora*), *Mammalia* 42, pp. 329-341.
- Henttonen, H.** 1985. Predation Causing Extended Low Densities in Microtine Cycles: Further Evidence from Shrew Dynamics. *Oikos*, 41: 156-157.
- Heydemann, B.** (1960) Zur ökologie von *Sorex araneus* L. und *Sorex minutus* L., *Z. Säugetierkunde*, 25: 24-29.
- Hijmans, R.-J., Cameron, S.-E., Parra, J.-L., Jones, P.-G. and Jarvis A.**, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965–1978 (2005). Published online in Wiley InterScience. DOI: 10.1002/joc.1276.
- INRA Orléans**, 1998. Programme base de données géographique des sols de France (BDGSF). Disponible sur < <http://www.gissol.fr/programme/bdgsf/bdgsf.php> > consulté en avril 2013.
- Indelicato, N.** 2000. Aspects biogéographiques de la distribution des micromammifères dans le Limousin (France). *Ann. Sci. Limousin*, 11: 61-80.
- Indelicato, N.** 2003. Cartographie des micromammifères dans le Limousin (France) par valeurs d'un indice d'abondance. 1-22. Disponible sur <http://pagesperso-orange.fr/nathalie.indelicato/mflcartes.pdf> consulté le 10 août 2012.
- Kraft, R.** (2000) Ehemalige und aktuelle verbreitung von Hausspitzmaus, *Crocidura russula* (Hermann, 1780), une Gartenspitzmaus, *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811), in Bayern. *Bonn. Zool. Beitr.*, 49 : 115-129.
- Le Louarn, H., Quéré, J.-P.**, 2003. Les Rongeurs de France. INRA editions, Paris 2003.
- Lugon-Moulin, N.**, 2003. Les Musaraignes. Editions Porte-Plumes, 2003.
- Montgomery, W.I. (1978)** Studies on the distributions of *Apodemus sylvaticus* (L.) and *A. flavicollis* (Melchior) in Britain. *Mammal. Rev.* 8: 177-184.
- Myllmäki, A.**, 1977. Interactions between the field vole *Microtus agrestis* and its microtine competitors in Central-Scandinavian populations. *Oikos*, 29: 570-580.
- Pascal, M., Pradier, B., Habert, M. & Vallat, E.** (1985) - Campagnol terrestre. Premiers résultats des réseaux d'observations des régions Franche-Comté et Auvergne-Limousin (1983-1984). *La Défense des Végétaux*, 231: 24-31.
- Peltonen, A., Hanski, I.** (1991) Patterns of island occupancy explained by colonization and extinction rates in shrews, *Ecology*, 75, pp. 1698-1708.
- Pernetta, J.C.** (1973) The ecology of *Crocidura suaveolens cassiteridum* (Hinton) in a coastal habitat, *Mammalia* 37: 241-256.
- R Development Core Team** (2006) R, A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna. Available from <http://www.Rproject.org>. Accessed September 2006
- Rossier, O., Gos, P., Hausser, J.** (1992) Répartition, écologie et caryologie de *Sorex araneus* et *Sorex coronatus* dans le Jorat (*Mammalia, Insectivora*), *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 82 : 261-278.
- Ruys, T.** (coord.) 2011. Atlas des Mammifères sauvages d'Aquitaine, Tome 1, Présentation de l'atlas. Cistude nature & LPO Aquitaine - Editions C. Nature, Bordeaux. 75pp.
- Rychlik, L.** (2000) Habitat preferences of four sympatric species of shrews, *Acta Theriol.* 45: 173-190.
- Sheffel, B.I.** (1989) "Long-term and seasonal dynamics of shrews in Central Siberia", *Ann. Zool. Fenn.* 26 : 357-369.
- Sirugue, D., Bollache, L.** (1995) Un cas de mélanisme chez la Crossope aquatique (*Neomys fodiens*) du Morvan, *Arvicola* 7, pp. 4-5.
- Sparti, A.** Genoud, M. (1989) Basal rate of metabolism and temperature regulation in *Sorex coronatus* and *S. minutus* (*Soricidae: Mammalia*), *Comp. Biochem. Physiol.* 92: 359-363.
- SPSS** (*Statistical Package for the Social Sciences*) (SPSS Inc) (<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/statistics/index.html>)

- Sundell, J., Church, C., Ovaskainen, O.** (2012) Spatio-temporal patterns of habitat use in voles and shrews modified by density, season and predators. *J. anim. Biol.* 81: 747-755.
- Taberlet P.**, 1983. Évaluation du rayon d'action moyen de la Chouette effraie, *Tyto alba* (SCOPOLI, 1769), à partir de ses pelotes de réjection. *Terre et Vie*, 38: 171-177.

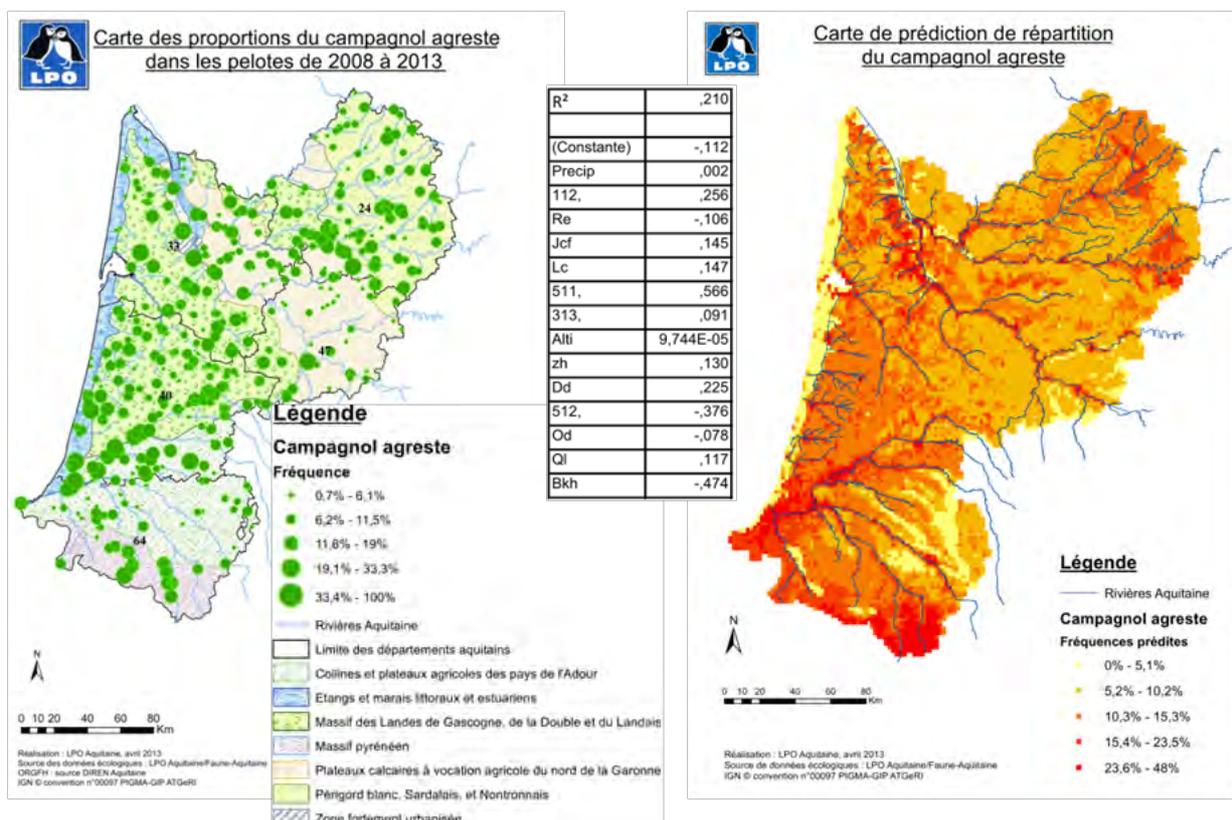
Tables des matières des annexes

Annexe 1 : Cartes des fréquences d'apparition (proportions) et prédites des 12 autres espèces avec tableau indiquant les variables sélectionnées pour bâtir la carte de prédiction .....	II
Annexe 2 : Signification des postes de Corine Land Cover 2006 .....	VIII
Annexe 3 : Signification des identifiants des sols (1974 (modification CEC 1985) FAO-Unesco) ...	IX
Annexe 4 : Répartition des 525 points d'échantillons en fonction des types de sols en Aquitaine	X
Annexe 5 : Phylogénie des micromammifères présents en Aquitaine.....	XI
Annexe 6 : Liste rouge et statuts des espèces de micromammifères présentes en Aquitaine (IUCN) .....	XII
Annexe 7 : Répartition des rongeurs en fonction de la profondeur du sol (en haut) et de la fermeture du milieu (en bas) (H. Le Louarn et J.-P. Quéré) .....	XIII
Annexe 8 : L'autocorrélation spatiale .....	XIV

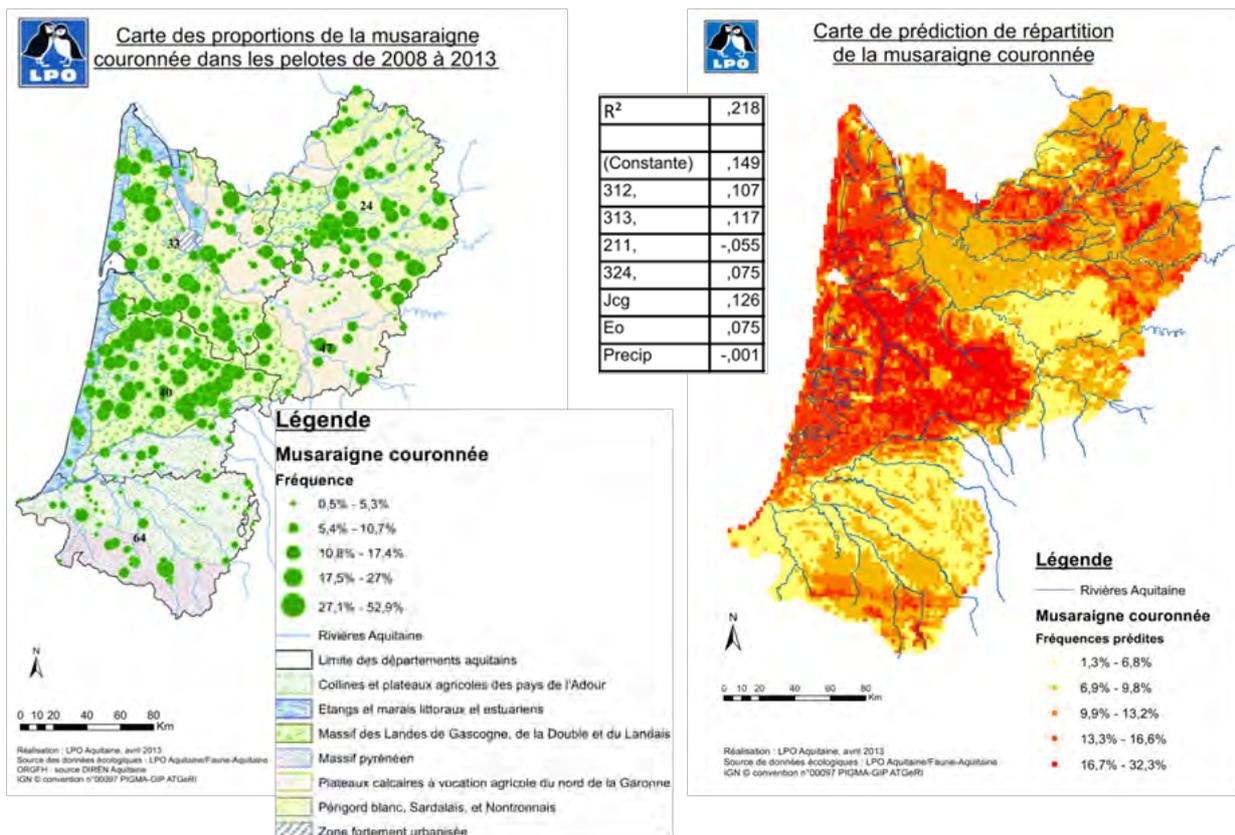
Annexe 1 : Cartes des fréquences d'apparition (proportions) et prédites des 12 autres espèces avec tableau indiquant les variables sélectionnées pour bâtir la carte de prédiction



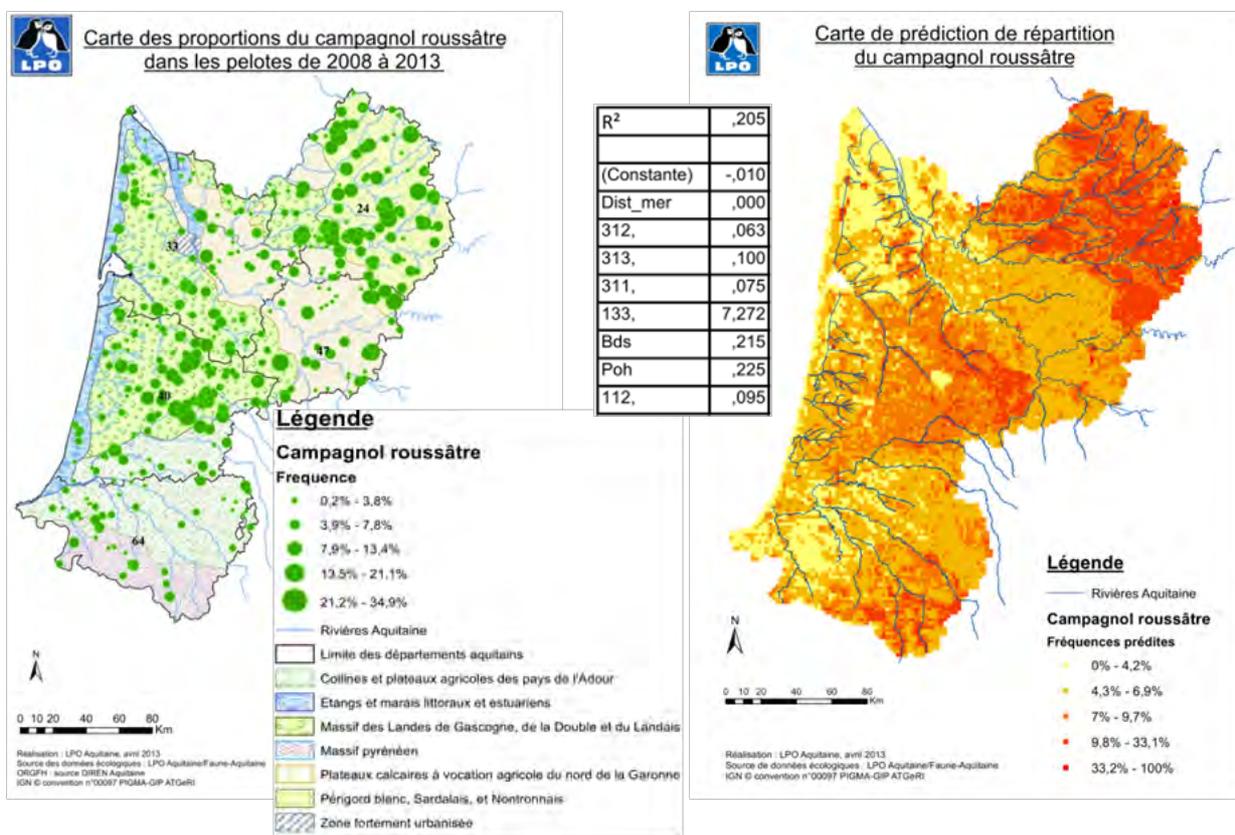
Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Crocidure musette (*Crocidura russula*)



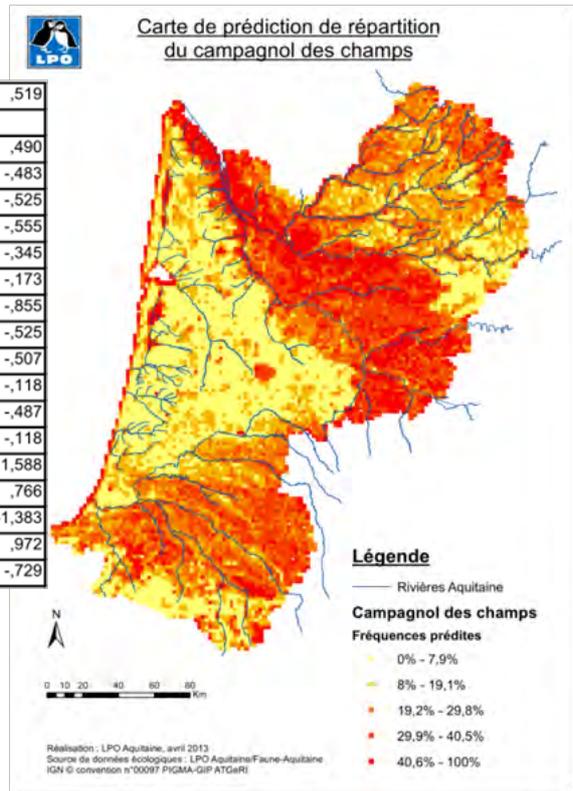
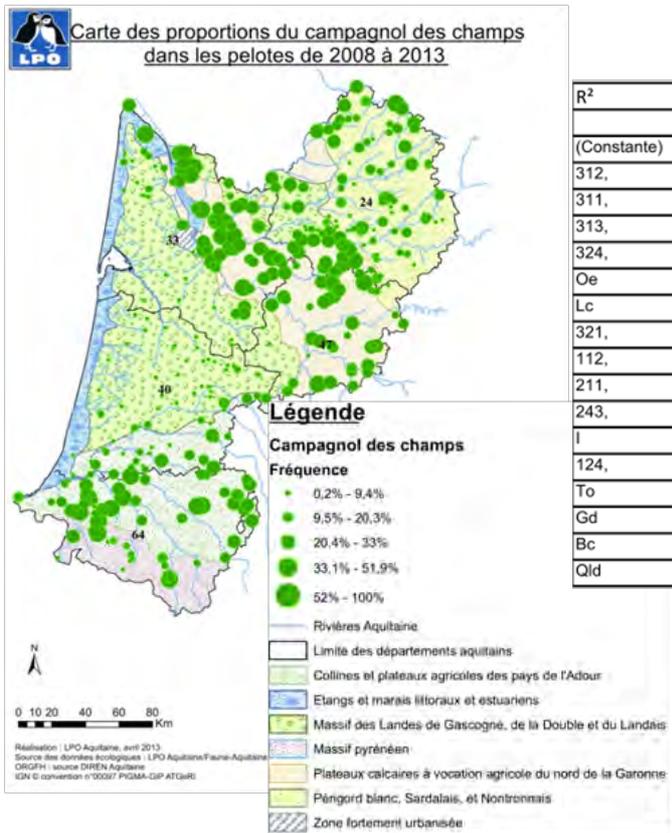
Cartes des fréquences d'apparition et prédites du Campagnol agreste (*Microtus agrestis*)



Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Musaraigne couronnée (*Sorex coronatus*)

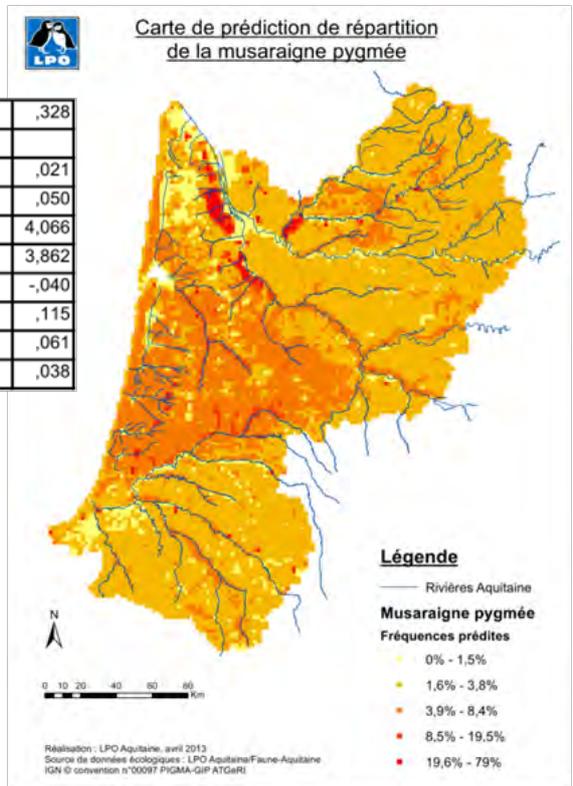
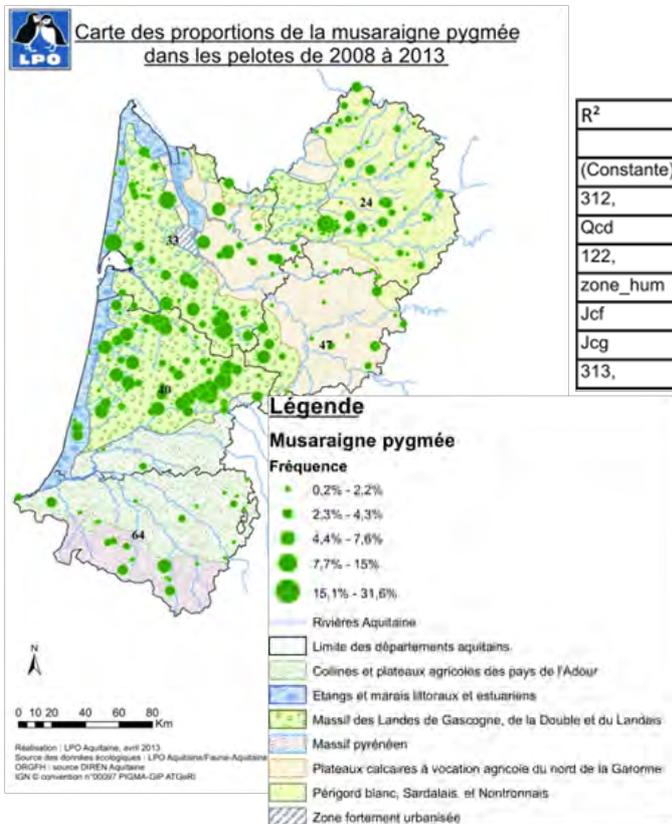


Cartes des fréquences d'apparition et prédites du Campagnol roussâtre (*Clethrionomys*)

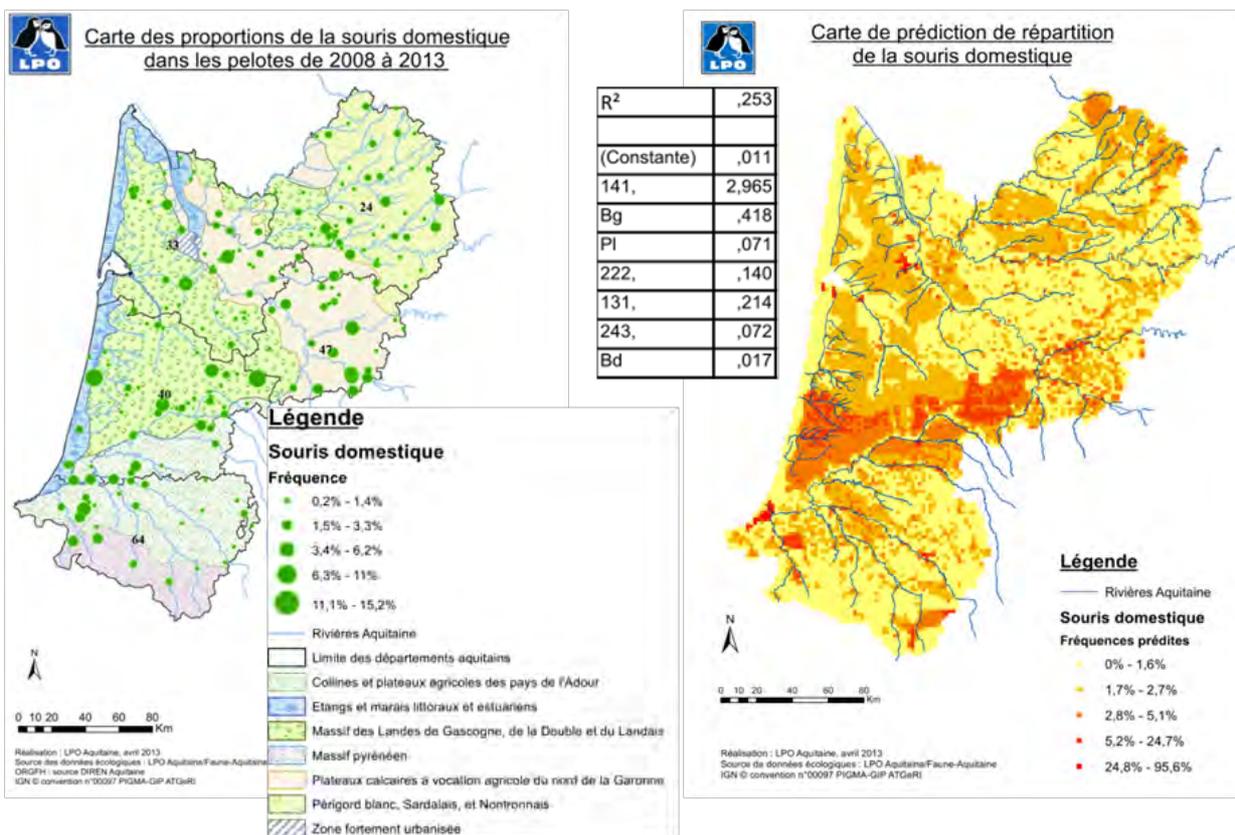


*glareolus*)

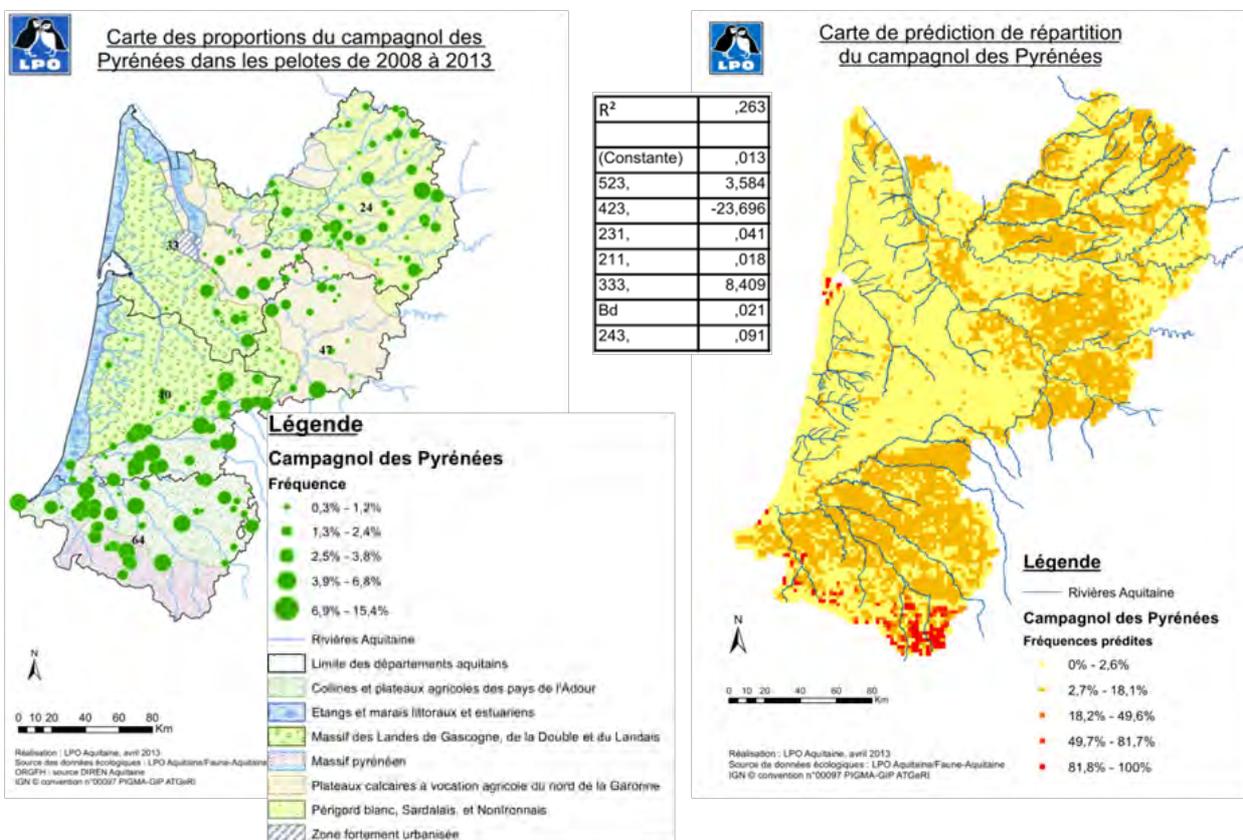
Cartes des fréquences d'apparition et prédites du Campagnol des champs (*Microtus arvalis*)



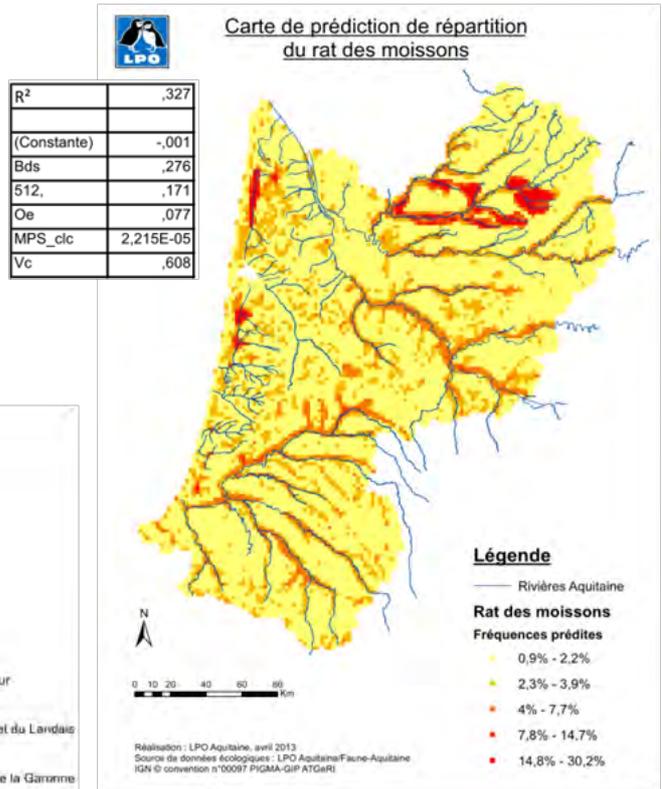
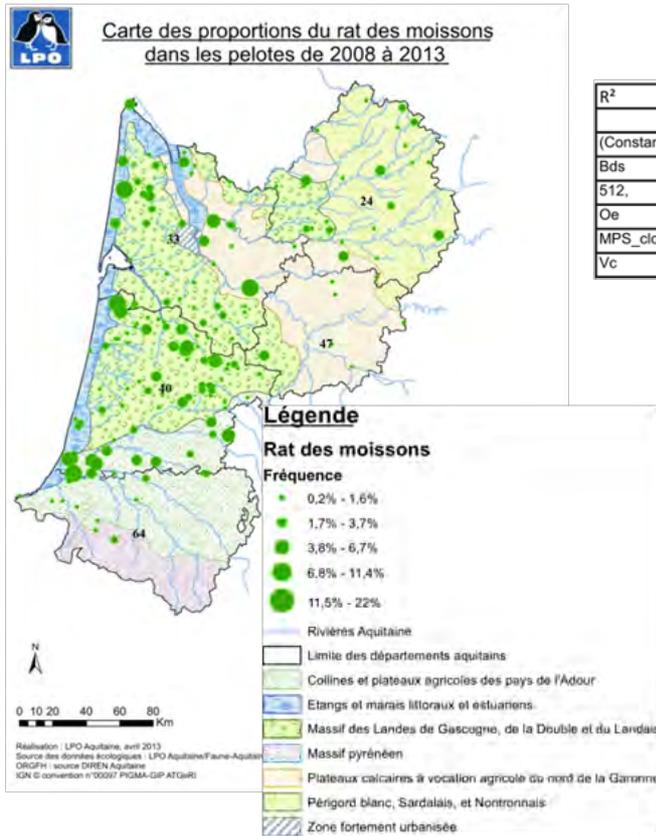
Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Musaraigne pygmée (*Sorex minutus*)



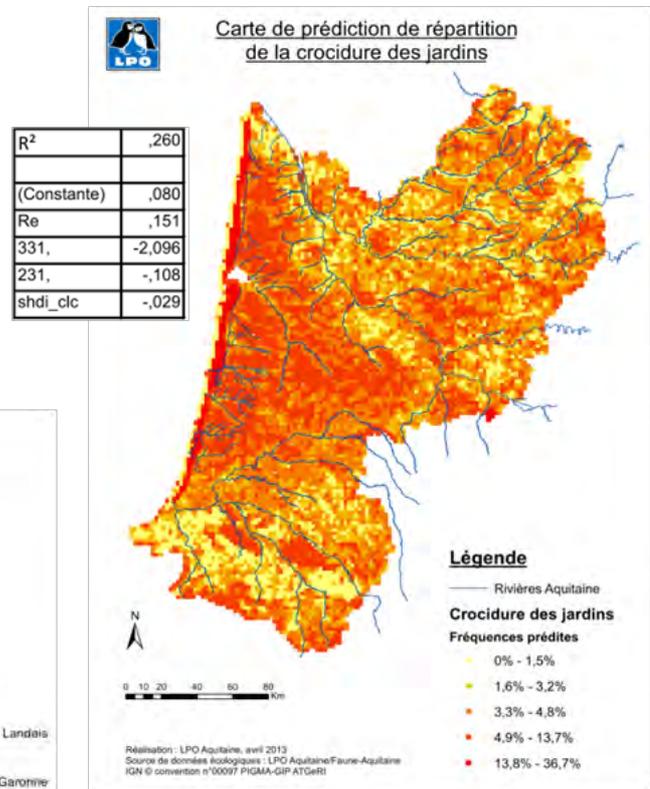
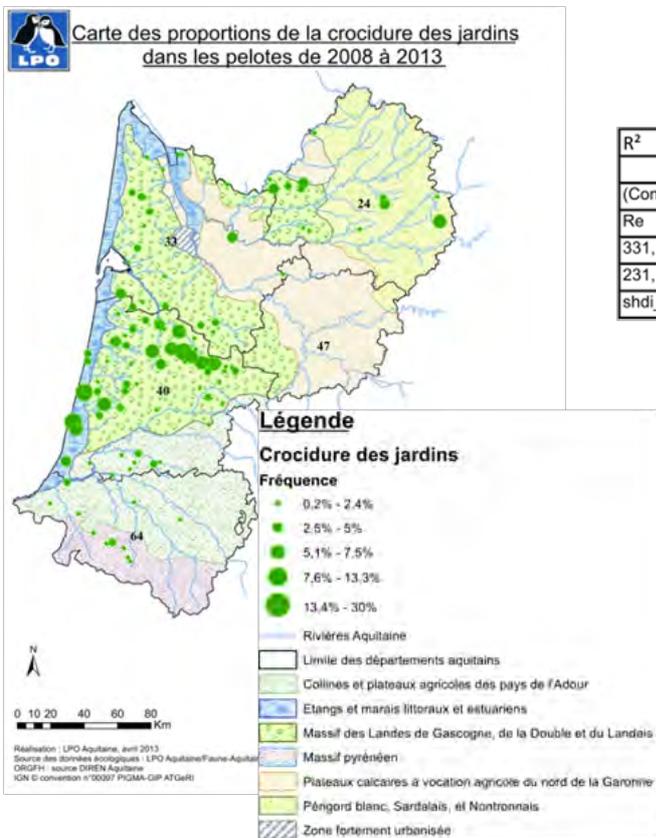
Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Souris domestique (*Mus musculus*)



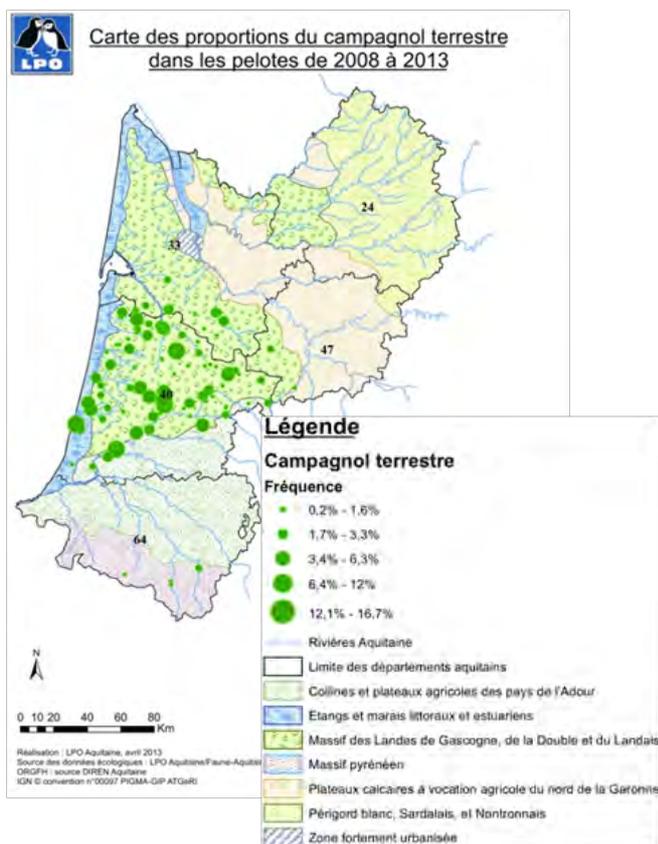
Cartes des fréquences d'apparition et prédites du Campagnol des Pyrénées (*Microtus gerbei*)



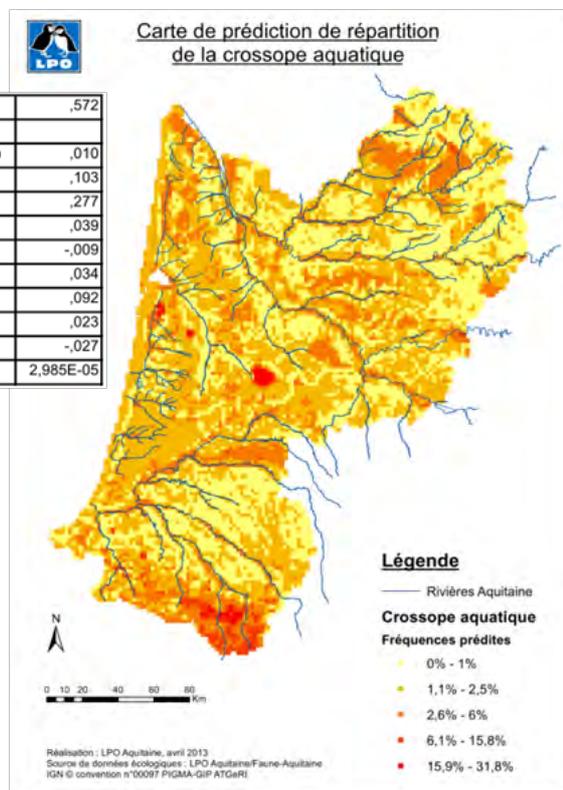
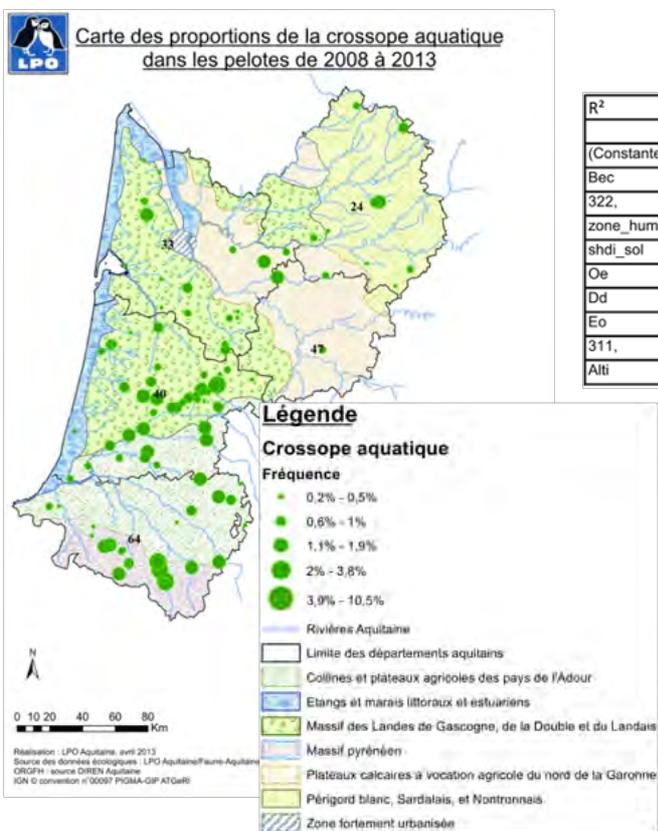
Cartes des fréquences d'apparition et prédites du Rat des moissons (*Micromys minutus*)



Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Crocidure des jardins (*Crocidura suaveolens*)



Cartes des fréquences d'apparition du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*)



Cartes des fréquences d'apparition et prédites de la Crossope aquatique (*Neomys fodiens*)

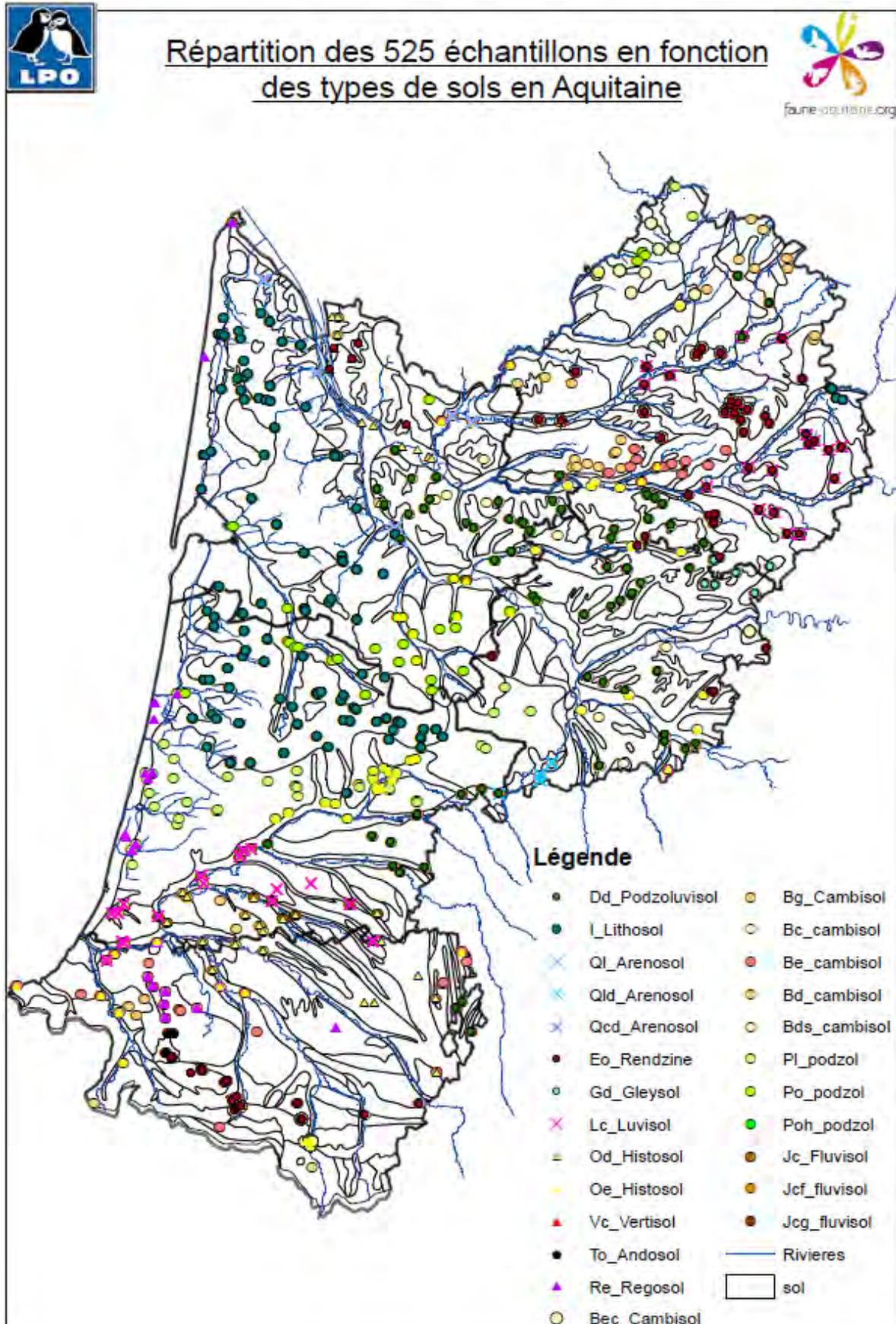
## Annexe 2.: Signification des postes de Corine Land Cover 2006

Code-CLC-Niveau3	Signification
111	Tissu urbain continu
112	Tissu urbain discontinu
121	Zones industrielles et commerciales
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
123	Zones portuaires
124	Aéroports
131	Extraction de matériaux
132	Décharges
133	Chantiers
141	Espaces verts urbains
142	Equipements sportifs et de loisirs
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation
212	Périmètres irrigués en permanence
213	Rizières
221	Vignobles
222	Vergers et petits fruits
223	Oliveraies
231	Prairies
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
244	Territoires agro-forestiers
311	Forêts de feuillus
312	Forêts de conifères
313	Forêts mélangées
321	Pelouses et pâturages naturels
322	Landes et broussailles
323	Végétation sclérophylle
324	Forêt et végétation arbustive en mutation
331	Plages, dunes et sable
332	Roches nues
333	Végétation clairsemée
334	Zones incendiées
335	Glaciers et neiges éternelles
411	Marais intérieurs
412	Tourbières
421	Marais maritimes
422	Marais salants
423	Zones intertidales
511	Cours et voies d'eau
512	Plans d'eau
521	Lagunes littorales
522	Estuaires
523	Mers et océans

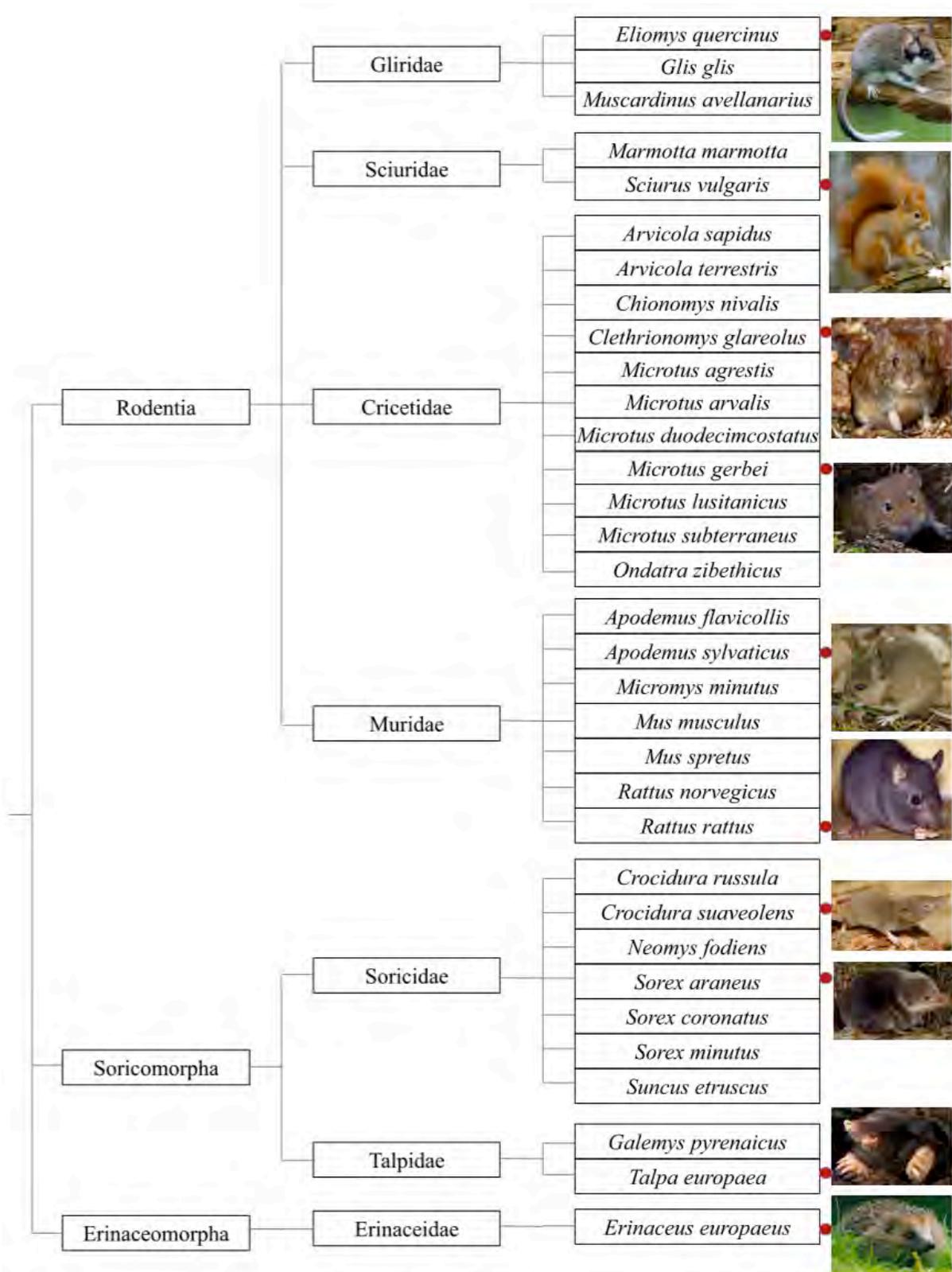
## Annexe 3 : Signification des identifiants des sols (1974 (modification CEC 1985) FAO-Unesco)

	Sol	Matériau de base	Couche imperméable	Texture surface	Pente	Humidité du sol (moyenne)	Prof. des racines	Limitation de l'usage agricole
Bc	Chromic Cambisol	Schistes	Ø à moins de 150 cm	Fin	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Bcc	Calcario-Chromic Cambisol	Calcaire dur	Ø à moins de 150 cm	Moyen	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Bd	Dystric Cambisol	Shistes verts	Entre 80 et 150 cm	Moyen-fin	15 à 25%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 20 et 40 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Bds	Spodo-Dystric Cambisol	Grès	A moins de 40 cm	Moyen	8 à 15%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 60 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Be	Eutric Cambisol	Basalte	Ø à moins de 150 cm	Fin	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Bec	Calcario-Eutric Cambisol	Grès calcaire	Ø à moins de 150 cm	Fin	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Beg	Gleyo-Eutric Cambisol	Matériaux limoneux	A moins de 40 cm	Moyen-fin	8 à 15%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 40 et 60 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Bg	Gleyic Cambisol	Schistes	Entre 80 et 150 cm	Moyen	8 à 15%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Bh	Humic Cambisol	Schistes	Ø à moins de 150 cm	Moyen	15 à 25%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 20 et 40 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Bk	Calcic Cambisol	Marnes schisteuses	Ø à moins de 150 cm	Fin	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Bkh	Humo-Calcic Cambisol	Calcaire secondaire	Ø à moins de 150 cm	Moyen-fin	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Pas de limitation
D	Podzoluisol	Couverture de loess mince	Entre 40 et 80 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Dd	Dystric Podzoluisol	Loam éolien	Entre 40 et 80 cm	Moyen	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
De	Eutric Podzoluisol	Matériaux limoneux	Entre 40 et 80 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Dg	Gleyic Podzoluisol	Loam éolien	Entre 40 et 80 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Eo	Orthic Rendzina	Craie secondaire	Ø à moins de 150 cm	Fin	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 20 et 40 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Gd	Dystric Gleysol	Terrasses	Ø à moins de 150 cm	Moyen	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Ge	Eutric Gleysol	Vieux loam	Entre 80 et 150 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
I	Lithosol	Grès	Ø à moins de 150 cm	Grossiers	> 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 20 et 40 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Ic	Calcaric Lithosol	Grès calcaire	Ø à moins de 150 cm	Fin	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 20 et 40 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Id	Dystric Lithosol	Schistes	Ø à moins de 150 cm	Moyen	> 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 20 et 40 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Ie	Eutric Lithosol	Basalte	Ø à moins de 150 cm	Moyen	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 20 et 40 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Jc	Calcaric Fluvisol	Colluvion	Ø à moins de 150 cm	Moyen	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Jcf	Fluvi-Calcaric Fluvisol	Alluvion fluviale	Ø à moins de 150 cm	Moyen	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Jcg	Gleyo-Calcaric Fluvisol	Alluvion fluviale	Entre 80 et 150 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Saline
Je	Eutric Fluvisol	Alluvions estuarien/marin	Entre 80 et 150 cm	Fin	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Saline
La	Albic Luvisol	Formations siderolith	Ø à moins de 150 cm	Grossiers	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Lc	Chromic Luvisol	Argile résiduelle	Ø à moins de 150 cm	Moyen-fin	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 40 et 60 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Lg	Gleyic Luvisol	Micaschistes	Entre 40 et 80 cm	Moyen-fin	8 à 15%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 60 et 80 cm	Fragique
Lo	Orthic Luvisol	Micaschistes	Entre 40 et 80 cm	Moyen-fin	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 60 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Od	Dystric Histosol	Matières organiques	Entre 80 et 150 cm	Pas de texture	0 à 8%	Humide à moins de 40 cm (>11 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Oe	Eutric Histosol	Alluvion fluviale	Entre 80 et 150 cm	Pas de texture	0 à 8%	Humide à moins de 40 cm (>11 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Pl	Leptic Podzol	Gneiss	Ø à moins de 150 cm	Moyen	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Entre 60 et 80 cm	Graveleux (diam<7,5 cm)
Po	Orthic Podzol	Grès	Entre 40 et 80 cm	Grossiers	8 à 15%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 40 et 60 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Pof	Ferro-Orthic Podzol	Granite	Ø à moins de 150 cm	Grossiers	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Poh	Humo-Orthic Podzol	Sables éoliens	Entre 80 et 150 cm	Grossiers	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 60 et 80 cm	Pas de limitation
Qc	Cambic Arenosol	Basalte	Entre 80 et 150 cm	Moyen	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Qcd	Dystri-Cambic Arenosol	Terrasses	Ø à moins de 150 cm	Grossiers	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Qcg	Gleyo-Cambic Arenosol	Matériaux sableux	Entre 40 et 80 cm	Grossiers	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Ql	Luvic Arenosol	Matériaux sableux	Entre 80 et 150 cm	Grossiers	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Qld	Dystri-Luvic Arenosol	Sables tertiaires	Entre 80 et 150 cm	Grossiers	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
Re	Eutric Regosol	Sables côtiers	Ø à moins de 150 cm	Moyen	15 à 25%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pas de limitation
To	Ochric Andosol	Basalte	Ø à moins de 150 cm	Moyen	8 à 15%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Graveleux (diam<7,5 cm)
U	Ranker	Schistes	Ø à moins de 150 cm	Moyen	> 25%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Entre 20 et 40 cm	Lithique (cohérente et dure, <50 cm)
Vc	Chromic Vertisol	Calcaire crayeux	Ø à moins de 150 cm	Moyen	0 à 8%	Ø à moins de 80 cm (>3mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)
Wd	Dystric Planosol	Formations siderolith	A moins de 40 cm	Moyen	0 à 8%	Humide à moins de 80 cm (3 à 6 mois)	Ø entre 0 et 80 cm	Pierreux (diam>7,5 cm, impraticable)

Annexe 4 : Répartition des 525 points d'échantillons en fonction des types de sols en Aquitaine



Annexe 5 : Phylogénie des micromammifères présents en Aquitaine

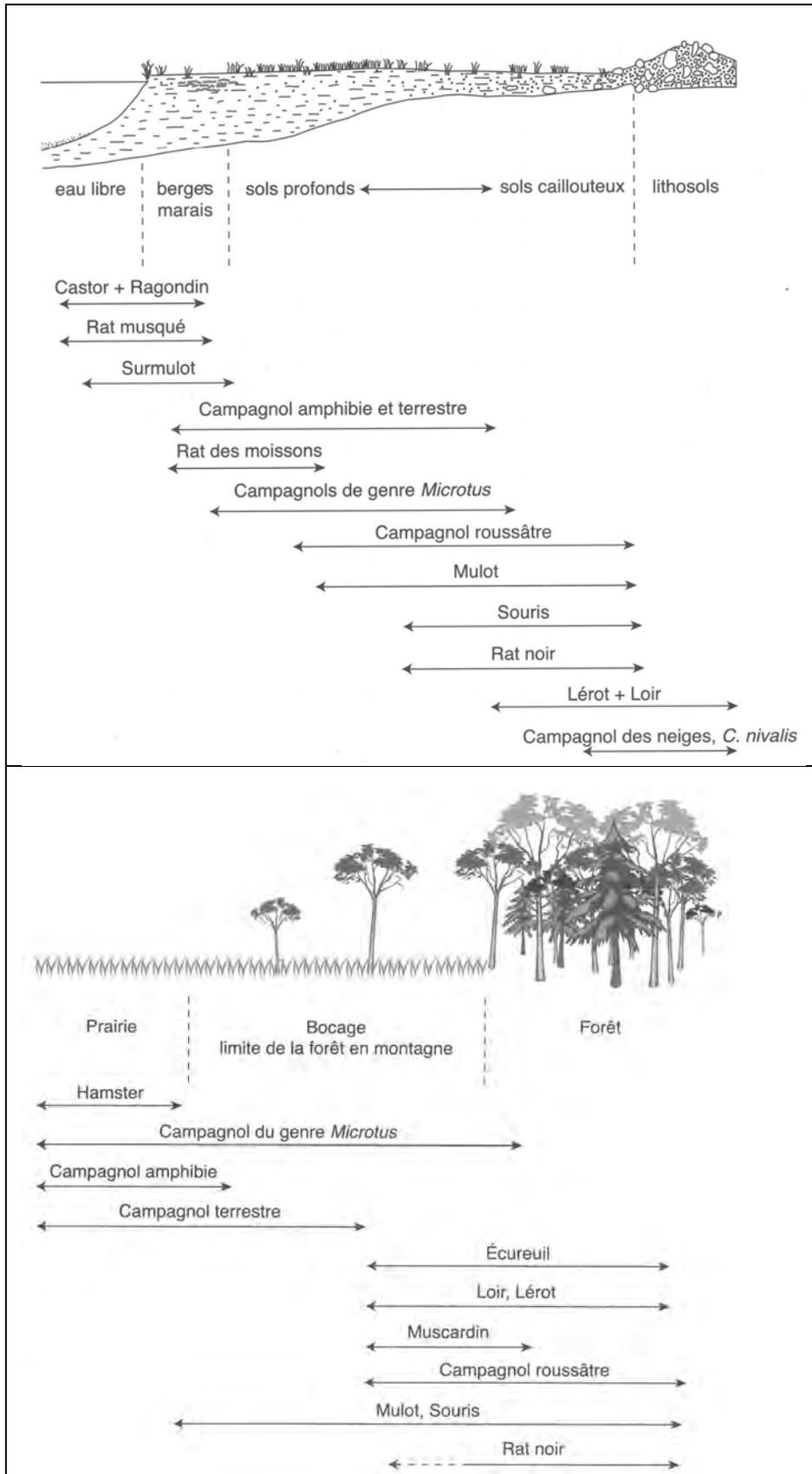


## Annexe 6 : Liste rouge et statuts des espèces de micromammifères présentes en Aquitaine (IUCN)

Ordre	Nom scientifique	Nom commun	Catégorie liste rouge France
Rongeurs	<i>Arvicola sapidus</i>	Campagnol amphibie	Quasi menacée
Soricomorphes	<i>Crocidura suaveolens</i>	Crocidure des jardins	Quasi menacée
Soricomorphes	<i>Galemys pyrenaicus</i>	Desman des Pyrénées	Quasi menacée *
Rongeurs	<i>Marmota marmota</i>	Marmotte des Alpes	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Sciurus vulgaris</i>	Ecureuil roux	Préoccupation mineure *
Rongeurs	<i>Eliomys quercinus</i>	Lérot	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Glis glis</i>	Loir gris	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Muscardinus avellanarius</i>	Muscardin	Préoccupation mineure *
Rongeurs	<i>Arvicola scherman</i>	Campagnol fouisseur	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Chionomys nivalis</i>	Campagnol des neiges	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Clethrionomys glareolus</i>	Campagnol roussâtre	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus agrestis</i>	Campagnol agreste	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus arvalis</i>	Campagnol des champs	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus duodecimcostatus</i>	Campagnol provençal	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus lusitanicus</i>	Campagnol basque	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus pyrenaicus</i>	Campagnol des Pyrénées	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Microtus subterraneus</i>	Campagnol souterrain	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Apodemus flavicollis</i>	Mulot à collier	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Apodemus sylvaticus</i>	Mulot sylvestre	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Micromys minutus</i>	Rat des moissons	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Mus musculus</i>	Souris grise	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Mus spretus</i>	Souris d'Afrique du Nord	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Rattus rattus</i>	Rat noir	Préoccupation mineure
Erinacéomorphes	<i>Erinaceus europaeus</i>	Hérisson d'Europe	Préoccupation mineure *
Soricomorphes	<i>Crocidura russula</i>	Crocidure musette	Préoccupation mineure
Soricomorphes	<i>Neomys fodiens</i>	Crossope aquatique	Préoccupation mineure *
Soricomorphes	<i>Sorex coronatus</i>	Musaraigne couronnée	Préoccupation mineure
Soricomorphes	<i>Sorex minutus</i>	Musaraigne pygmée	Préoccupation mineure
Soricomorphes	<i>Suncus etruscus</i>	Pachyure étrusque	Préoccupation mineure
Soricomorphes	<i>Talpa europaea</i>	Taupe d'Europe	Préoccupation mineure
Rongeurs	<i>Arvicola terrestris</i>	Campagnol terrestre	Données insuffisantes
Soricomorphes	<i>Sorex araneus</i>	Musaraigne carrelet	Données insuffisantes
Rongeurs	<i>Ondatra zibethicus</i>	Rat musqué	Non applicable
Rongeurs	<i>Rattus norvegicus</i>	Rat surmulot	Non applicable
Rongeurs	<i>Myocastor coypus</i>	Ragondin	Non applicable

\* espèce protégée (Arrêté ministériel du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (J.O du 10/05/2007))

Annexe 7 : Répartition des rongeurs en fonction de la profondeur du sol (en haut) et de la fermeture du milieu (en bas) (H. Le Louarn et J.-P. Quéré)



□

### Annexe 8 : L'autocorrélation spatiale

L'autocorrélation spatiale est la propriété sous-jacente des données qui permet l'utilisation de certaines techniques d'interpolation. Dans ce cas, on se sert de l'autocorrélation pour prédire au mieux les valeurs d'une variable dans l'espace. Cette technique suppose de modéliser l'autocorrélation spatiale afin de produire des interpolations précises et non biaisées. Une technique pertinente pour réaliser ce type d'interpolation est le krigeage. Cette fonction respecte au mieux la structure d'autocorrélation spatiale des données pour effectuer des prédictions.

Soit  $Z(s)$  un processus gaussien stationnaire (c'est à dire dont l'espérance ne dépend pas de l'emplacement ( $s$ ), de moyenne  $\mu$ , de variance  $\sigma^2$ . On choisit de l'écrire sous la forme :  $Z(s) = \mu + e(s)$ .

Où  $\mu$  est l'espérance (moyenne) de  $Z$  et  $e(s)$  le processus gaussien d'espérance nulle en tout point  $s$ . Soit  $s_0$  un point où la valeur prise par  $Z$  est inconnue. On suppose que  $Z$  a fait l'objet d'une campagne de mesures qui a permis de construire un variogramme empirique, puis de modéliser ce variogramme. L'autocorrélation spatiale de  $Z$  est alors considérée comme connue, sous la forme d'une fonction de la distance entre les observations seulement. Cette autocorrélation spatiale est représentée par la matrice:

$$V = \begin{pmatrix} \sigma_{e(s_1)}^2 & cov(e(s_1), e(s_2)) & \dots & cov(e(s_1), e(s_n)) \\ cov(e(s_2), e(s_1)) & \sigma_{e(s_2)}^2 & \dots & cov(e(s_2), e(s_n)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ cov(e(s_n), e(s_1)) & \dots & \dots & \sigma_{e(s_n)}^2 \end{pmatrix}$$

On connaît également (comme sont connues les distances entre les points d'observations et le point où l'on souhaite faire la prédiction) le vecteur :  $v_o = [cov(e(s_0), e(s_1)) \dots cov(e(s_0), e(s_n))]$ . Ce vecteur  $v_o$  respecte le modèle de variogramme calculée préalablement. On obtient un estimateur de  $Z(s_0)$ :

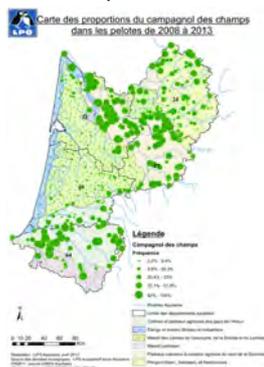
$$\hat{Z}(s_0) = \mu + \hat{e}(s_0).$$

L'estimation de  $\hat{e}(s_0)$  en utilisant la matrice de covariance entre les points et la transposée du vecteur  $v_o$ .  
 $\hat{e}(s) = v'_o V^{-1}e(s)$

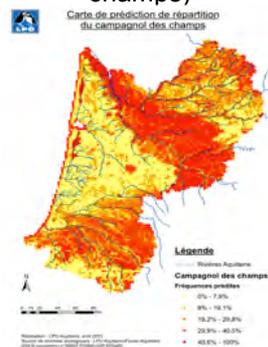
Autocorrélation spatiale



Répartition discrète des points



Interpolation (fréquence du campagnol des champs)



□

**Annexe 8 (suite)****Le krigeage**

**Le co-krigeage :** Dans le cas du co-krigeage, il est nécessaire d'élaborer un modèle structural ou variographique multivariable décrivant à la fois la corrélation spatiale de chacune des variables considérées séparément (variable d'intérêt : l'abondance d'une espèce – variable auxiliaire : ex. la proportion de terres agricoles) et leur corrélation conjointe encore dénommée corégionalisation. Cela suppose l'existence d'un lien direct et linéaire de type positif entre les deux variables. La mise en œuvre du co-krigeage implique ainsi de modéliser les variogrammes simples et croisés des variables d'intérêt et auxiliaire afin de les entrer dans le système de co-krigeage.

**Application :** Les cartes faites en co-krigeage (Figures 4 à 8) ont été faites sur ArcGis 10. Il suffit d'incorporer un fichier avec les valeurs de fréquence des micromammifères ou de la richesse spécifique par point avec les coordonnées correspondantes. Puis, il faut donner comme co-variables, par exemple, les données CORINE landcover sur la région (3 covariables max possibles). ArcGis va effectuer les opérations décrites ci-dessus et rendre une cartographie des variations d'abondance ou de richesse selon la co-variation de ces variables avec les données sur l'occupation du territoire de CORINE.

**Le krigeage universel :** Le krigeage universel va tenir compte de la structuration spatiale des données mais également des relations linéaires de la variable d'intérêt (ex : abondance d'une espèce) avec les variables susceptibles d'influencer cette abondance (ex : proportion de différents types d'habitat).

**Application :** Ce krigeage universel peut s'effectuer à la main sous R avec le Package gstat (Figure 9). Il est très gratifiant de travailler ainsi car on peut construire et visualiser soi-même les semi-variogrammes des espèces et déterminer les variables explicatives soi-même.

EX :Fichier d'entrée :

NUMNAT	N1	X	Y	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
770018	29.36	619100	2452200	0.02	0.63	0.02	0.05	0.05	0.24	0.00
770020	26.03	623100	2452200	0.28	0.53	0.03	0.08	0.05	0.04	0.00
770021	37.47	625100	2452200	0.09	0.46	0.02	0.06	0.05	0.29	0.00
770038	26.70	619100	2450200	0.05	0.85	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00
770039	25.93	621100	2450200	0.06	0.72	0.03	0.06	0.04	0.07	0.00
770040	24.09	623100	2450200	0.01	0.79	0.03	0.03	0.05	0.09	0.00
770101	31.73	653100	2446200	0.07	0.85	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00
770123	37.95	653100	2444200	0.01	0.91	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00
770127	82.01	661100	2444200	0.33	0.40	0.03	0.04	0.02	0.09	0.08
770147	68.19	653100	2442200	0.29	0.67	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00

NUMNAT = numéro des échantillons, N1=richesse spécifique, X et Y= coordonnées, H1=proportion de l'habitat 1 (ex : Forêt) etc...Ici 7 types d'habitats sont utilisés en fonction de leur importance pour les micromammifères. Fichier de sortie :

NUM	X	Y	var1.pred	var1.var
1	653100	2456200	124.8707361	661.476522
2	655100	2456200	47.16040307	225.3934051
3	657100	2456200	77.26724335	287.8033834
4	659100	2456200	128.5436537	767.008134
5	621100	2454200	41.79440054	206.4037038
6	623100	2454200	32.293402	179.2837308
7	625100	2454200	142.4133066	1139.853596

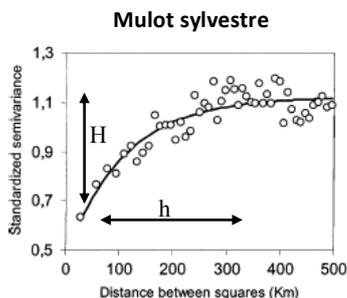
NUM=un numéro attribué d'office par R, var1.pred = variable d'intérêt prédite sur la maille considérée, var1.var = variance associée à cette estimation.

Commandes pour effectuer un krigeage universel de la richesse spécifique N1 :

```
d<-read.table("akrigerNmicrom.txt",h=T)
attach(d)
d3<-read.table("RESKRIGUNIV.txt",h=T) *** habitat sur tous la grille 2x2km d'Aquitaine**
attach(d3)
names(d)
[1] "NUMNAT" "X" "Y" "N1"
[9] "H1" "H2" "H3" "H4" "H5" "H6" "H7"
Vgstat<-variogram(N1~H1+H2+H3+H4+H5+H6+H7,loc=~X+Y,d,100000,100000/100000)
plot(Vgstat)
Vgm<-vgm(1000,model="Exp",60000,10)
plot(Vgstat,Vgm)
F<-fit.variogram(Vgstat,Vgm)
KRIG<-krige(N1~H1+H2+H3+H4+H5+H6+H7,loc=~X+Y,d,d3,model=F)
[using universal kriging]
> write.table(KRIG,file="C:\Mes documents",sep="o")
```

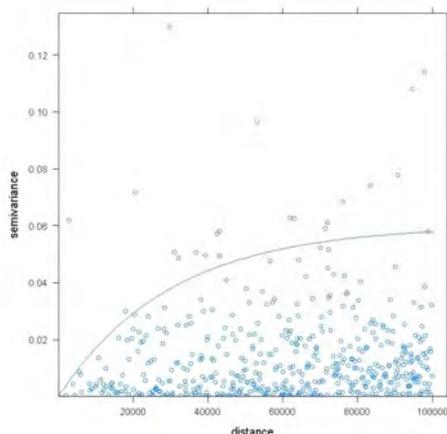
On récupère ainsi les données dans le fichier où se trouvent les fichiers d'entrée. Pour le passage à la cartographie, il suffit d'incorporer un fichier excel sous ARCGIS et de déterminer la légende graduée à partir de la variable prédite (var1.pred).

Le semi-variogramme : Il décrit le lien spatial entre les données. Cette fonction reflète la variance de la valeur d'une variable entre les points en fonction de leur distance.



Semi-variogramme des fréquences du Mulot sylvestre.

La forme du semi-variogramme renseigne sur la magnitude de l'autocorrélation spatiale (donnée par la distance H), et sur sa distance caractéristique (donnée par h). Au-delà de cette distance les points sont spatialement indépendants.



Exemple de semi-variogramme pour le Mulot sylvestre:

