

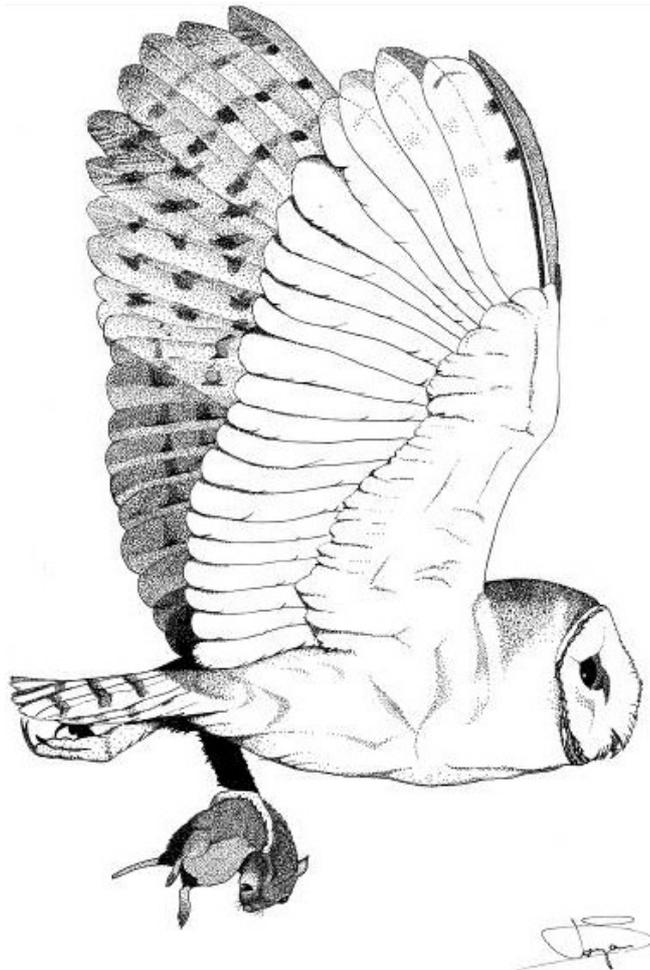
Université Joseph-Fourier – UFR de Biologie

2231 rue de la Piscine – BP 53
38041 GRENOBLE CEDEX 9

Master 2ème Année Pro
Parcours Biologie Écologie Environnement

Quentin LELIEVRE

Nouvelle approche de la biogéographie de plusieurs espèces de micromammifères en Loire-Atlantique (44) au travers des pelotes de réjection de la Chouette effraie, *Tyto alba* (Scopoli, 1769).



Stage effectué du 01/02/2012 au 30/09/2012

Groupe Naturaliste de Loire-Atlantique

9 rue de Nantes

44830 BOUAYE

Sous la direction de Frédéric Touzalin et de Didier Montfort



COMMENTAIRES

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Willy Maillard, président du Groupe Naturaliste Loire-Atlantique, pour avoir accepté ma candidature au sein de l'association.

Je ne pourrais également commencer ce mémoire sans remercier Frédéric Touzalin et Didier Montfort à l'origine de ce travail. En tant que maîtres de stage, ils se sont toujours montrés à l'écoute et très disponibles. Je les remercie pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils m'ont consacré et sans lesquels ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

J'adresse un vive remerciement à Thomas Radigois, Didier Cleva, Jacques Lemoire, Steve Gantier, Willy Raitière, Yann Brilland, Patrice Ouvrard, Guillaume Cochard, Aurélia Lachaux et Alexis Viaud pour leur participation à cette étude, en acceptant de prospecter de nouveaux secteurs, de récolter sur plusieurs sites les précieuses pelotes et pour le "dépiantage" d'un grand nombre de ces dernières.

Je remercie Alain Chalopin et Olivier Clément de la Fédération Régionale des Chasseurs des Pays de la Loire (FDC PDL) qui nous ont facilité l'accès aux données de vectorisation des haies de Loire-Atlantique.

Un grand merci à Géraldine Dupé, chef de l'unité PAC à la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Loire-Atlantique (DDTM 44), pour nous avoir permis et facilité l'accès aux données d'occupation des sols de Loire-Atlantique issues des déclarations PAC.

Ce travail n'aurait également pas vu le jour sans les financements accordés par la DREAL des Pays de la Loire, un grand merci à eux.

Mes remerciements vont également au Groupe Mammalogique Breton (GMB) et leurs adhérents pour leur participation financière à ce projet, l'obtention de données sur le département et plus particulièrement à Catherine Caroff, chargée de mission "sensibilisation et médiation", pour nous avoir consacré un article dans Mammi'Breizh, le bulletin de liaison et d'information du GMB sur les mammifères de Bretagne.

Je tiens à dire un grand merci à Guiguite Plaud, à Aurélia Lachaux et à Cathy Radigois pour les délicieux repas qui m'ont été offerts lors des nos réunions micromammalogiques.

Merci à toutes celles et ceux qui ont accepté que je fouille dans leurs greniers, combles, ruines...

Sans omettre de remercier les chouettes effraies, principales collaboratrices de ce travail en nous offrant, au travers des pelotes de réjection, le matériel nécessaire.

Et enfin, je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail et dont les noms n'apparaissent pas ci-dessus.

AVANT-PROPOS

Le Groupe Naturaliste Loire-Atlantique (GNLA) est une association à but non lucratif régie par la loi du 1er juillet 1901.

L'association créée en janvier 2004 a pour objectifs précis de constituer une base de données naturalistes sur la Loire-Atlantique, dans un esprit associatif, apolitique et avec une approche pluridisciplinaire. L'idée directrice est que la protection de la nature passe avant tout par une bonne connaissance des espèces animales et végétales, puis par une orientation de la gestion des espaces naturels en conséquence.

Pour y parvenir, l'association multiplie les échanges entre naturalistes dans le département au travers de bulletins, chroniques, réunions et sorties. La formation de naturalistes constitue un de ses piliers fondamentaux pour motiver le bénévolat qui est la base de son fonctionnement.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	1
1 – Le secteur d'étude et ses spécificités.....	3
1.1 – Situation géographique.....	3
1.1.1 – Contexte hydrographique.....	4
1.1.2 – Le relief.....	4
1.2 – Situation géologique.....	4
1.3 – Situation météorologique.....	4
1.4 – Contexte paysager	5
1.4.1 – Description sommaire des principales entités paysagères.....	5
1.4.1.1 – Les paysages ligériens.....	5
1.4.1.2 – Les paysages de plateaux.....	6
1.4.1.3 – Les paysages littoraux et de marais.....	8
1.4.1.4 – Les milieux urbanisés.....	8
1.4.2 – Synthèse et intérêts micromammalogiques.....	8
2 – Matériel et méthode : acquisition et traitement des données.....	9
2.1 – Les pelotes de réjection, historique et fondement de la méthode	9
2.1.1 – Généralités.....	9
2.1.2 – Les pelotes de réjection.....	10
2.1.3 – Comportement de chasse de la Chouette effraie.....	10
2.1.4 – Régime alimentaire de l'effraie	11
2.1.5 – Domaine vital de la Chouette effraie.....	11
2.2 – Acquisition du matériel et des données.....	12
2.2.1 – Récolte des pelotes et inventaire des espèces.....	12
2.2.1.1 – La récolte des pelotes de réjection.....	12
2.2.1.2 – Identification et dénombrement des micromammifères.....	12
2.2.1.3 – Dénombrement des micromammifères.....	13
2.2.2 – Les descripteurs du milieu.....	14
2.2.2.1 – Liste des sites retenus.....	14
2.2.2.2 – Description des huit sites : les descripteurs de milieu.....	15
2.2.2.3 – Description paysagère succincte des sites.....	15
2.3 – Traitement des données.....	17
2.3.1 – Biogéographie des espèces.....	18

2.3.2 – Modèle d'estimation de l'occurrence et de la richesse des espèces de micromammifères.....	18
2.3.2.1 – Processus de détection.....	19
2.3.2.2 – Processus écologiques.....	19
2.3.2.3 – Estimation de la Richesse Spécifique par augmentation des données...	19
2.3.2.4 – Cortèges d'espèces.....	20
2.3.2.5 – Analyse bayésienne appliquée aux données.....	20
2.3.3 – Estimation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des espèces.	21
2.3.3.1 – Estimation des paramètres de dynamique de l'occupation.....	21
3 – Résultats.....	22
3.1 – Généralités.....	22
3.2.1 – Répartition par site	22
3.3 – Estimation de la richesse spécifique.....	22
3.3.1 – Richesse spécifique des 8 sites étudiés.....	22
3.3.2 – Richesse spécifique des cortèges d'espèces par site.....	23
3.4 – Probabilités d'occurrence des espèces par variable.....	23
3.5 – Dynamique de population (colonisation, survie, similarité...).....	26
3.5.1 – Survie locale.....	27
3.5.2 – Colonisation locales.....	27
3.5.3 – Similarité des communautés.....	27
4 – Discussion.....	28
4.1 – Analyses des richesses spécifiques.....	28
4.2 - Probabilités d'occurrence des espèces par variable.....	30
4.3 – Dynamique de population.....	31
4.4 – Approche de la répartition des espèces.....	31
4.5 - Intérêt et limite de la biogéographie.....	33
4.6 - Limites de la méthodologie.....	34
4.7 - Perspectives en matière de gestion.....	35
5 – Conclusion.....	38
Références bibliographiques	
Index des illustrations	
Annexes	

GLOSSAIRE

- BD MOS : Base de données des Modes d'Occupation des Sols.
- BOIRES : nom donné, dans les départements de Maine-et-Loire (49) et de la Loire-Atlantique, aux anses, bras ou petits golfes de la Loire.
- CALVARIUM : désigne un crâne sans mandibule ou sans mandibule et sans face.
- CGDD : Commissariat général au développement durable, service d'observation et des statistiques.
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.
- DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer.
- GEOPAL : Portail Géographique des Pays de la Loire.
- GIP Loire-Estuaire : Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire.
- IGN : Institut national de l'information géographique et forestière.
- INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques.
- PAC : Politique Agricole Commune.
- PROBABILITE D'OCCURRENCE : la probabilité d'occurrence d'une espèce est la probabilité pour que cette espèce soit capturée par la Chouette effraie. Elle reflète son abondance dans le milieu. Nommée également probabilité d'occupation.
- RAGOSSE : terme utilisé localement ou régionalement (Bretagne, Pays de Loire...) pour désigner un arbre taillé en têtard.
- RIPISYLVE: désigne l'ensemble des formations boisées, arborescentes, arbustives et buissonnantes présentes sur les rives d'un cours d'eau.
- RPG : Référentiel Parcellaire Graphique.
- SoES : Service de l'observation et des statistiques.

GLOSSAIRE DES NOMS D'ESPÈCES

MYOMORPHES

- Campagnol des champs : *Microtus arvalis* (Pallas, 1778),
- Campagnol agreste : *Microtus agrestis* (Linnaeus, 1761),
- Campagnol roussâtre : *Myodes glareolus* (Schreber, 1780),
- Campagnol de gerbe : *Microtus pyrenaicus gerbei* (De Séllys-Longchamps, 1847),
- Campagnol souterrain : *Microtus subterraneus* (De Séllys-Longchamps, 1836),
- Campagnol amphibie : *Arvicola sapidus* (Miller, 1908),
- Rat musqué : *Ondatra zibethicus* (Linnaeus, 1766).
- Mulot sylvestre : *Apodemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758),
- Mulot à collier : *Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834),
- Rat des moissons : *Micromys minutus* (Pallas, 1771),
- Souris grise domestique : *Mus musculus domesticus* (Rutty, 1772),
- Rat surmulot : *Rattus norvegicus* (Berkenhout, 1769),
- Rat noir : *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758).

SORICOMORPHES

- Crocidure des jardins : *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811),
- Crocidure musette : *Crocidura russula* (Hermann, 1780).
- Musaraigne couronnée : *Sorex coronatus* (Millet, 1828),
- Musaraigne pygmée : *Sorex minutus* (Linnaeus, 1766),
- Musaraigne carrelet : *Sorex araneus* (Linnaeus, 1658),
- Crossope aquatique : *Neomys fodiens* (Pennant, 1771),
- Crossope de Miller : *Neomys anomalus* (Cabrera, 1907).
- Taupe d'Europe : *Talpa europaea* (Linnaeus, 1758).

SCIUROMORPHES

- Léroty : *Eliomys quercinus* (Linnaeus, 1766),
- Muscardin : *Muscardinus avellanarius* (Linnaeus, 1758)
- Écureuil roux : *Sciurus vulgaris* (Linnaeus), 1758.

HISTRICOMORPHES

- Ragondin : *Myocastor coypus* (Molina, 1782).

INTRODUCTION

Comme le souligne la Commission Européenne («La biodiversité, notre assurance-vie et notre capital naturel : stratégie de l'UE à l'horizon 2020», Bruxelles 3 mai 2011) et comme l'a rappelé le Grenelle de l'Environnement, la biodiversité est en danger. De nombreuses espèces animales et végétales ont atteint un niveau proche de l'extinction, et certaines ont même disparu [CGDD*, 2010].

Une part importante de l'avenir de la biodiversité se joue dans les paysages agricoles [MILLÁ DE LA PEÑA *et al.*, 2003]. En Europe, près des deux tiers des territoires sont exploités par l'agriculture dont un cinquième de manière intensive, aujourd'hui sans réelles contraintes environnementales [OUIN *et al.*, 1999]. Depuis les années 50, des changements profonds des pratiques agricoles ont entraîné de profondes modifications de l'utilisation des terres ainsi que de la structure des paysages et de leur composition [MICHEL *et al.*, 2006 ; OUIN *et al.*, 1999]. Cette évolution a conduit à l'homogénéisation des paysages et la banalisation des habitats : élargissement de la superficie moyenne des parcelles, augmentation des surfaces cultivées, réduction drastique des composantes fixes et permanentes (bois, haies, talus, prairies naturelles...), simplification excessive des assolements,, etc. [BUTET *et al.*, 2006, a].

La perte d'hétérogénéité des paysages provoquée par ces pratiques agricoles destructrices (accroissement du machinisme, produits chimiques suremployés...), doublées d'une urbanisation galopante, a largement et souvent dramatiquement contribué à la réduction de l'ensemble des populations de rongeurs et d'insectivores [GOMES *et al.*, 2011].

Les micromammifères, très abondants dans les paysages agricoles [BUTET *et al.*, 2006, b], et en particulier dans les agro-écosystèmes pastoraux, représentent la base de l'alimentation de nombreux prédateurs [PANZACCHI *et al.*, 2010]. Ils influencent directement leur diversité et leur abondance [BUTET *et al.*, 2006, a]. Bien que trop souvent considérés comme des ravageurs des cultures à part entière [MILLÁ DE LA PEÑA *et al.*, 2003], ce sont des indicateurs particulièrement utiles pour appréhender l'état de santé environnementale des milieux, la biodiversité et les réponses aux changements d'ordre agricole [MORO *et GADAL*, 2007 ; GOMES *et al.*, 2011]. Les enjeux de conservation de ces espèces dépassent donc l'objectif du simple maintien de la diversité micromammalogique.

L'objectif de "stopper" la perte de biodiversité en 2010 est loin d'avoir été atteint. Alors qu'environ seulement 13 % des espèces existantes seraient décrites [Global Biodiversity, 1992], la répartition précise des pourcentages selon les différentes approches taxonomiques est mal connue. Dans l'hypothèse où l'on ne peut pas agir directement et globalement sur l'ensemble des menaces, il est primordial d'au moins bien connaître la biogéographie et la répartition des espèces et des peuplements pour les préserver au mieux.

Depuis les années 1970, plusieurs études biogéographiques sur les micromammifères ont cherché à déterminer les facteurs environnementaux responsables de la répartition des espèces [TREUSSIÉ, 1976 ; SPITZ, 1981 ; TABERLET, 1982 ; LIBOIS *et al.*, 1983 , MILLÁ DE LA PEÑA *et al.*, 2003 ; INDELICATO, 2000]. En Loire-Atlantique, la seule étude de ce type a été réalisée par TOUZALIN F. à l'échelle départementale et remonte à 2003, avec l'étude biogéographique des micromammifères envisagée à partir de l'analyse des pelotes de réjections de l'Effraie des clochers.

L'Atlas des mammifères de Loire-Atlantique remonte quant à lui, à 1988 [SAINT-GIRONS et al., 1988]. L'élaboration de la Liste rouge régionale des espèces de mammifères menacés des Pays de la Loire [MARCHADOUR (COORD.), 2009] a fait apparaître un manque de connaissances patent au sujet des micromammifères lequel rend inévitablement fragiles et incomplètes les propositions de protection et de gestion de leurs habitats. La conservation des espèces patrimoniales et menacées de la région, et donc de la Loire-Atlantique, telles que *C.suaveolens*, ou *M.p.gerbei*, nécessite une meilleure connaissance de leurs *preferenda* écologiques et des facteurs environnementaux responsables des variations de leurs abondances.

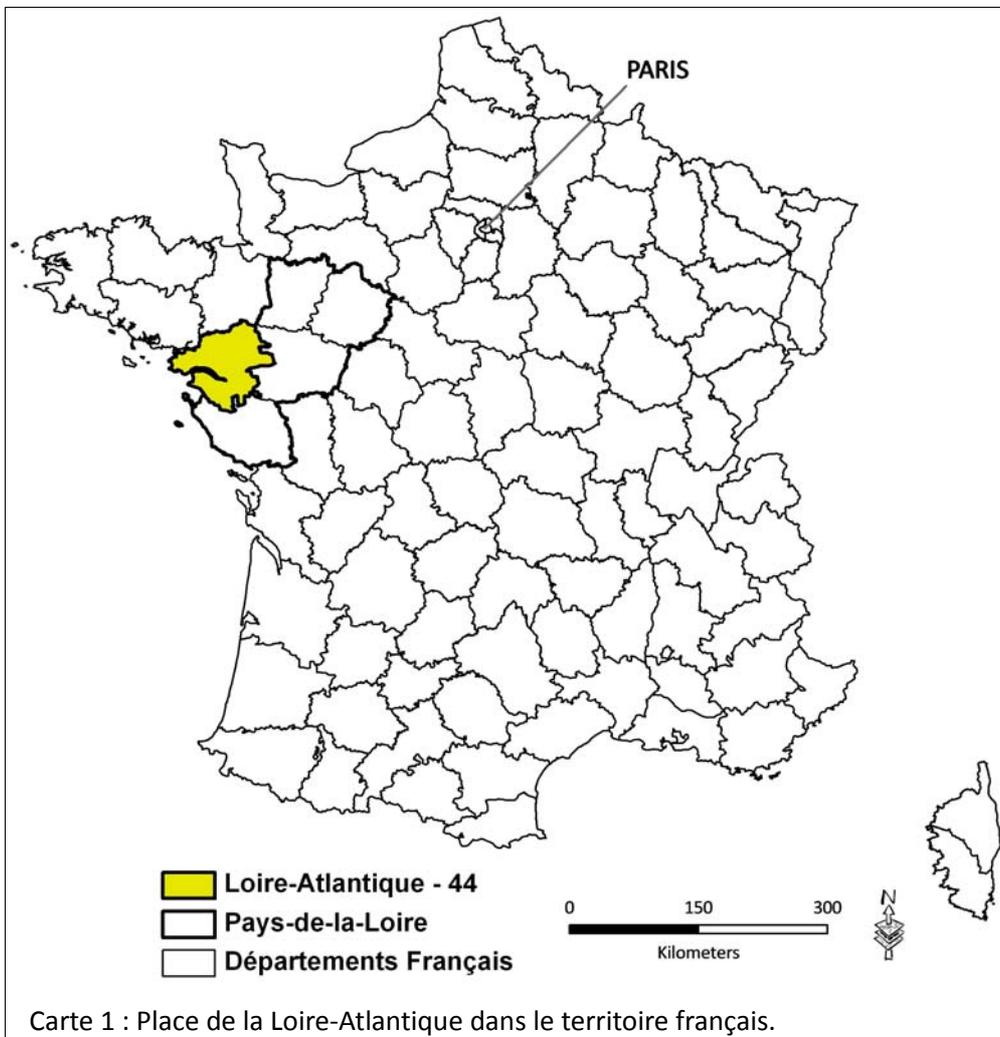
C'est dans cet esprit d'une part, dans le contexte d'autre part, d'inventaires mammalogiques en cours dans les départements limitrophes (destinés aux futurs Atlas breton et Atlas vendéen), et à l'occasion enfin de la mise en place d'inventaires communaux, que le GNLA a décidé, en 2011, d'actualiser le travail de TOUZALIN (2003) en Loire-Atlantique. L'enjeu est de faire progresser et d'améliorer les connaissances sur ce groupe de petits mammifères. Le travail porte sur une période d'un an, de septembre 2011 à septembre 2012.

En 2003, les objectifs de TOUZALIN étaient d'établir la carte de répartition des micromammifères locaux et d'approfondir les connaissances écologiques relatives à ces espèces. Le travail biogéographique présenté dans ce mémoire a pour but : (i) approcher la répartition des micromammifères de Loire-Atlantique, (ii) d'évaluer la diversité en espèces en relation avec leur milieu, (iii) de dégager les mesures de gestions (notamment en matière de pratiques agricoles) susceptibles de maintenir ou de promouvoir cette diversité.

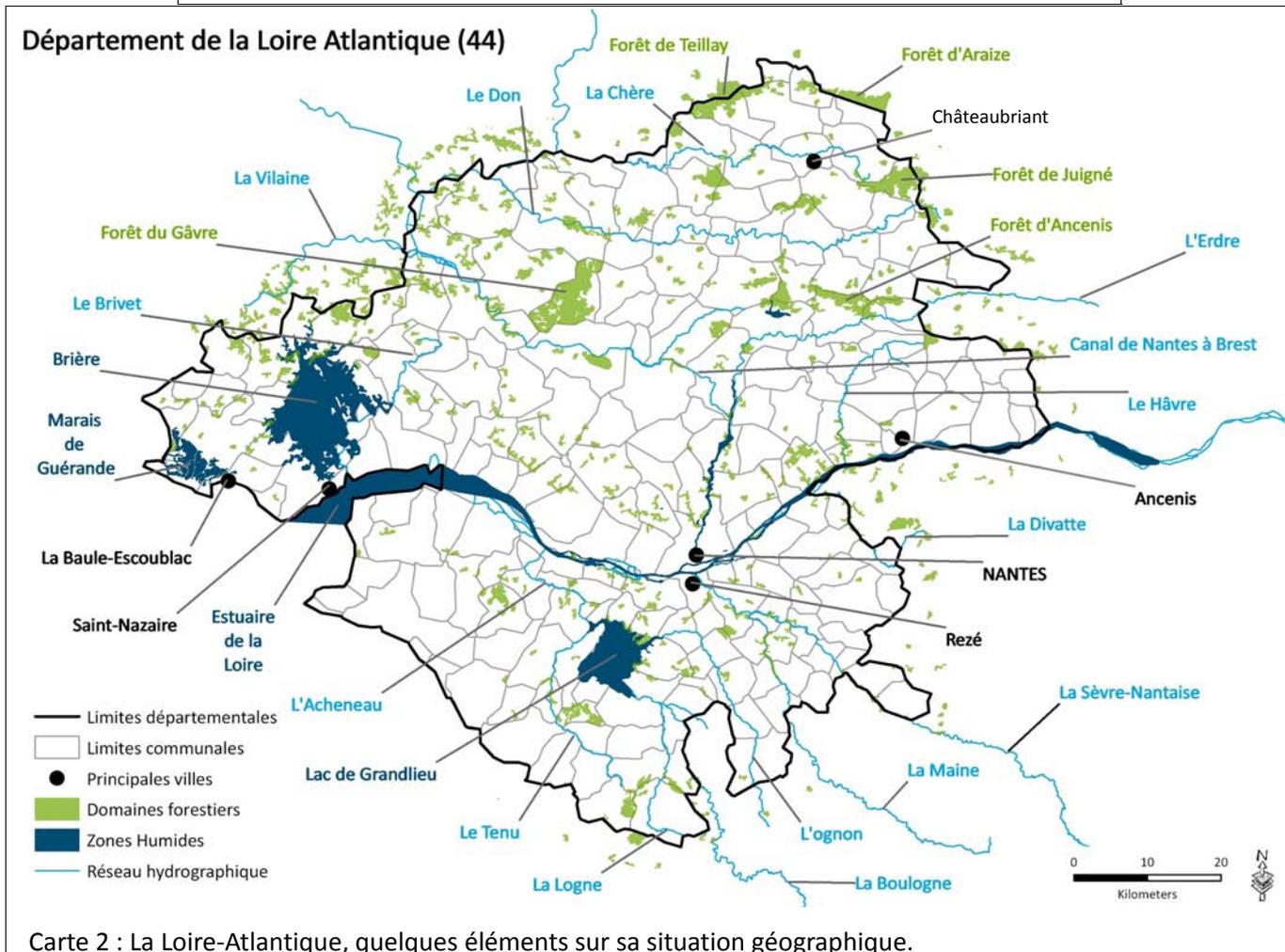
La méthode retenue pour inventorier les micromammifères est indirecte et le protocole suivi est le même que celui adopté dans l'étude menée par TOUZALIN (2003) pour permettre la comparaison des résultats. L'approche s'est faite par dissection de pelotes de réjection de *Tyto alba* (Effraie des clochers). Cette méthode, largement utilisée [Saint-Girons, 1968 ; SPITZ, 1981 ; LIBOIS et al., 1983], possède l'avantage d'être non invasive, car basée sur l'identification de calvaria*, et d'être plus beaucoup fiable du point de vue de l'identification que l'observation directe des proies vivantes. De plus, la Chouette, par l'opportunisme et l'éclectisme qu'elle affiche dans sa chasse, capture un échantillon considéré généralement comme suffisamment représentatif des populations locales de micromammifères.

Les résultats attendus sont (i) d'estimer la richesse spécifique à l'échelle des différents sites étudiés et à l'échelle du département. Pour chaque espèce il s'agira (ii) d'identifier les variables environnementales liées à la composition des communautés, et (iii) de définir les *preferenda* écologique (probabilité d'occupation d'un site en fonction de ces différentes covariables environnementales). Il est également prévu (iv) de décrire les similarités des communautés des différents sites entre eux et enfin (v) de calculer les paramètres vitaux (colonisation, extinction et survie) des communautés sur un pas de temps de 10 ans.

Les connaissances sur la répartition des espèces sont en constante évolution et l'analyse des pelotes de réjection n'étant pas terminée, ce travail ne rendra compte que de l'avancée des connaissances acquises jusqu'en septembre 2012. Il est prévu qu'il soit complété et poursuivi par la suite, selon le même déroulé méthodologique, et avec le même encadrement (Touzalin et Montfort, GNLA).



Carte 1 : Place de la Loire-Atlantique dans le territoire français.



Carte 2 : La Loire-Atlantique, quelques éléments sur sa situation géographique.

1 – LE SECTEUR D'ÉTUDE ET SES SPÉCIFICITÉS

Étudier la biogéographie de plusieurs espèces de micromammifères, qu'il s'agisse de préciser leur répartition, d'évaluer leur diversité spécifique en relation avec leur milieu ou d'identifier des variables d'habitat liées à la composition des communautés, nécessite de décrire la situation générale de la Loire-Atlantique. Préciser le cadre écologique et géographique de cette étude s'impose donc pour mieux appréhender les contraintes et les grands traits environnementaux qui influencent la micromammafaune. Les informations présentées ci-après proviennent en grande partie du chapitre consacré à ce sujet par le Professeur Dupont dans son remarquable "Atlas floristique de la Loire-Atlantique et de la Vendée" [DUPONT, 2001].

1.1 – SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Située *grosso modo* au centre de la façade atlantique de la France, le département de la Loire-Atlantique doit son nom au fleuve éponyme qui le traverse d'est en ouest, et à sa situation géographique sur le littoral de l'Océan Atlantique. Bien qu'historiquement rattaché à la Bretagne, il appartient désormais à la région des Pays de la Loire (cf. Carte 1).

La Loire-Atlantique est bordée à l'ouest par l'Océan Atlantique, au nord par le Morbihan (56) et l'Ille-et-Vilaine (35), à l'est par le Maine-et-Loire (49), et au sud par la Vendée (85). La Loire-Atlantique couvre 6 815 km² [IGN* GEOFLA®, 2005], répartie en 221 communes peuplées d'environ 1 226 358 habitants [INSEE*, RECENSEMENT 2009].

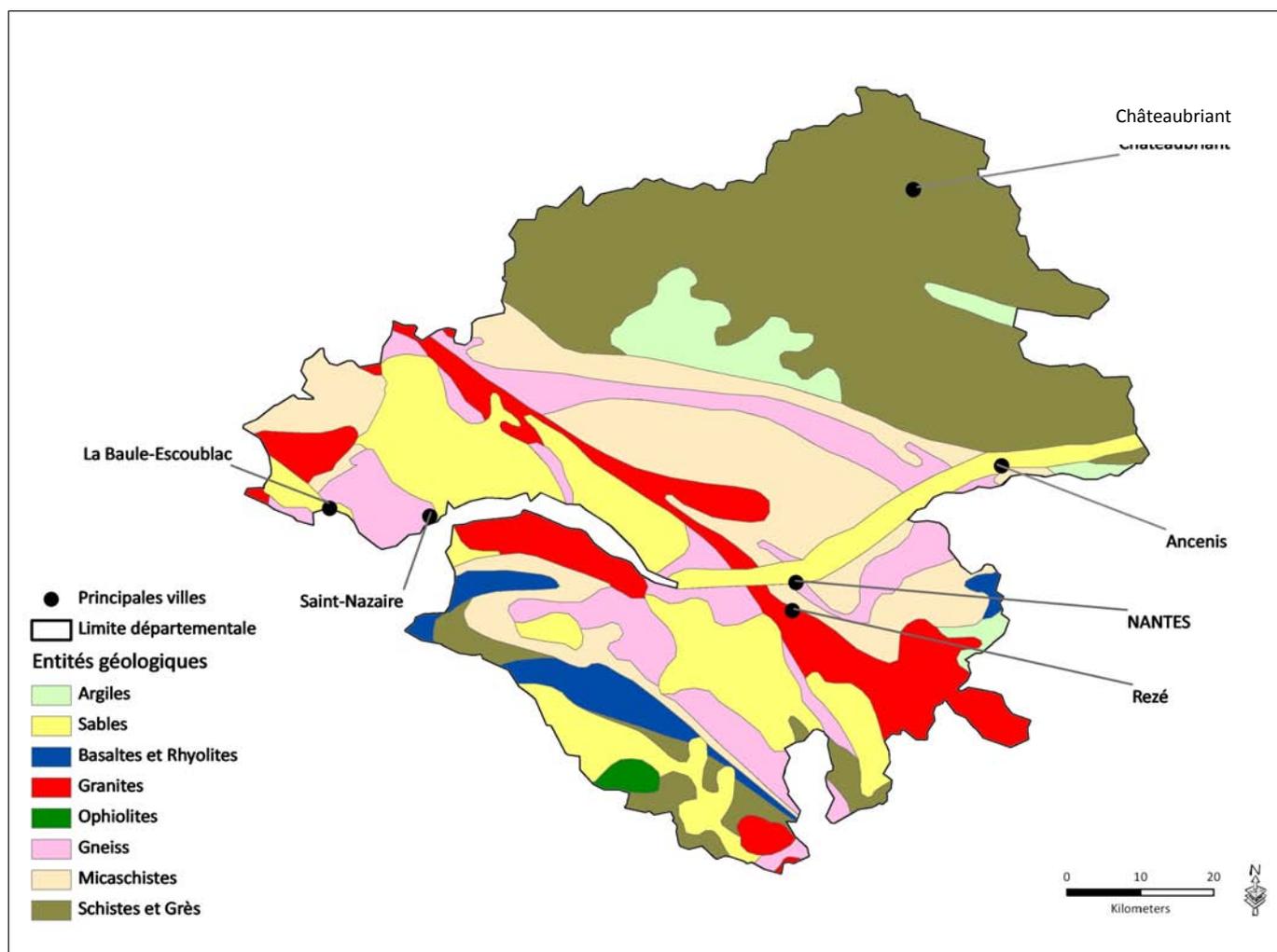
Sa position en façade atlantique influence fortement sa morphologie, son climat, son hydrographie et sa biogéographie.

1.1.1 – CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

La Loire-Atlantique possède un réseau hydrographique important qui couvre une très grande partie du territoire (cf. Carte 1). La voie d'eau essentielle est la Loire qui traverse ce département d'est en ouest sur environ 100 km. Son cours est parsemé de nombreuses îles et bancs de sable issus de la sédimentation. Ces îles, "continentalisées" ou non, sont essentiellement vouées à l'élevage bovin et à la fauche et offrent ainsi aux micromammifères des habitats prairiaux préservés [GIP LOIRE ESTUAIRE, 2012].

Une des principales originalités de la Loire-Atlantique sont ses zones humides. Elles sont constituées de marais salés dont les plus importants sont Guérande et le marais Breton (~35 000 ha), de marais subhalophiles avec l'estuaire de la Loire et les prairies inondables du lit majeur (~10 000 ha), de marais dulçaquicoles formés en grande partie par les marais de Grande Brière et du bassin du Brivet (~20 000 ha), les marais de Vilaine au nord-ouest du département, les marais de Goulaine et ceux de l'Erdre, respectivement à l'est et au nord de Nantes, sans oublier le lac de Grand-Lieu et ses abords.

En raison de son faible relief et de nombreux aménagements d'assainissement et de gestion des eaux, ce département connaît des situations d'étiages prononcés en été et d'inondations locales en hiver. Ces fluctuations hydrauliques récurrentes sont à l'origine de bouleversements fréquents, souvent annuels, pour la microfaune locale, et ce dans plusieurs vastes zones du département.



Carte 3 : Carte lithologique simplifiée de la Loire-Atlantique (modifiée d'après BRGM 1/1 000 000)

Il est important de noter que la baisse de la ligne d'eau de la Loire est responsable de l'assèchement progressif de larges surfaces de zones humides riveraines dont les impacts négatifs sur la microfaune inféodées aux zones humides peuvent être conséquents [TOUZALIN, 2003].

1.1.2 – LE RELIEF

Il n'y a pas beaucoup à dire sur le relief globalement peu marqué de la Loire-Atlantique. La configuration générale de ce département est principalement planitiare et le point culminant n'atteint pas 120 mètres. La Loire-Atlantique est le département qui possède l'altitude maximale la moins élevée de France. La presque totalité du département se situe à des hauteurs comprises entre 50 et 100 mètres d'altitude et à moins de 50 mètres sur le littoral.

Cependant, dans le détail, la présence de roches de duretés différentes et l'encaissement de nombreuses rivières entraînent localement une grande diversité topographique.

De ce faible relief et de plusieurs singularités géologiques (cf. *infra*) sont nés un réseau hydrographique dense et une importante superficie de zones humides.

1.2 – SITUATION GÉOLOGIQUE

L'objectif ici n'est pas de retracer précisément l'histoire géologique de la Loire-Atlantique depuis l'ère primaire à nos jours mais d'esquisser les grandes lignes de la géologie actuelle.

La totalité de la Loire-Atlantique appartient au Massif armoricain formé il y a plus de 540 millions d'années aux temps précambriens. Il y a environ 250 millions d'années, ce massif se présentait comme une importante chaîne de montagnes. Il s'est démantelé et arasé durant une quarantaine de millions d'années à la suite de plissements multiples et de long phénomènes d'érosion.

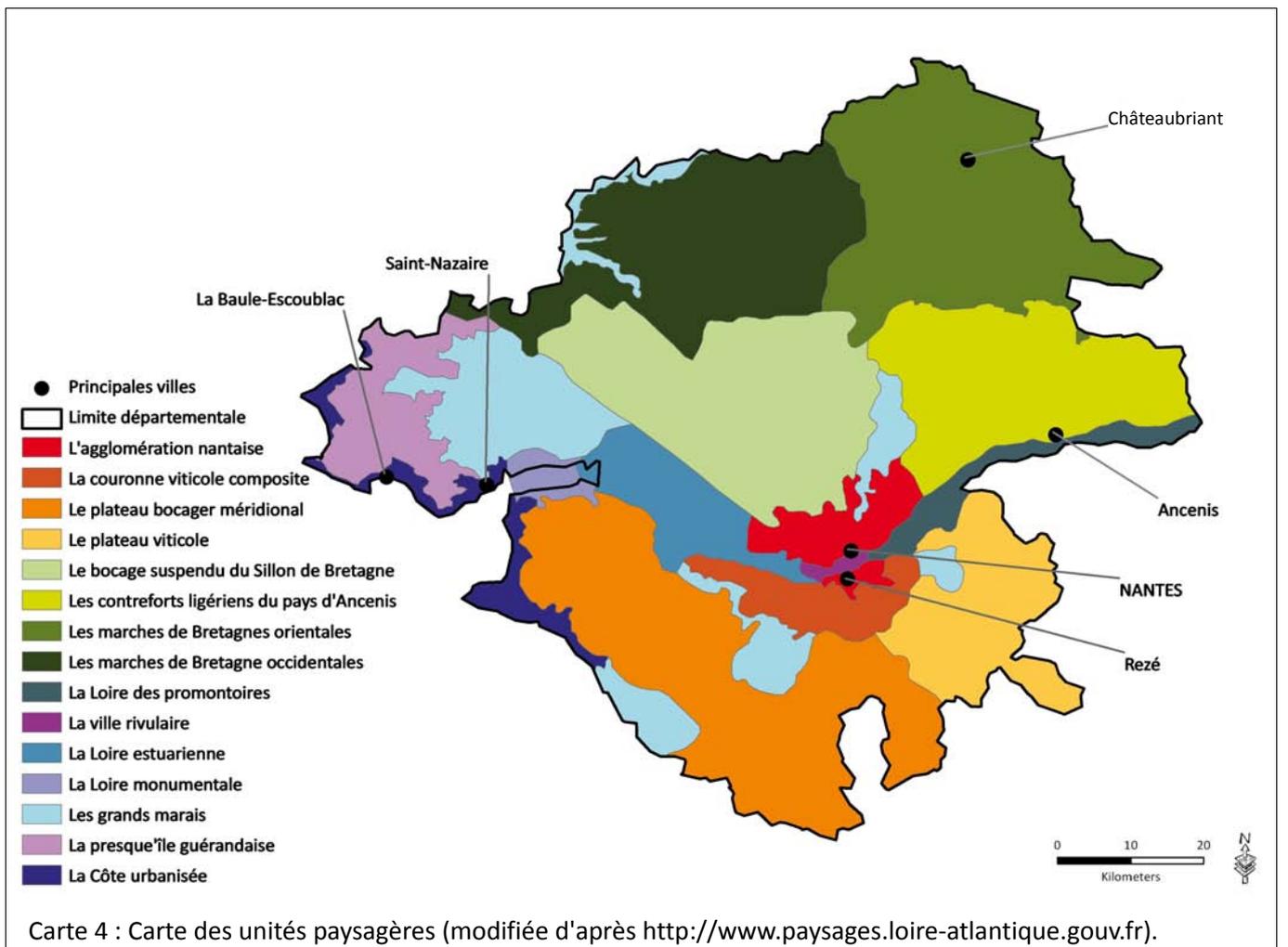
Deux domaines géologiques dont l'évolution semble avoir été différente caractérisent le socle rocheux du département [LARDEUX, 1996 *IN* DUPON, 2001] :

- x le domaine "centre armoricain" au nord, avec des affleurements de schistes, de grès et d'argiles près de Châteaubriant (cf. Carte 3),
- x le domaine ligérien plus complexe, car composé d'environ six unités structurales séparées par des failles avec des micaschistes, des gneiss et des sables dans les grandes zones de bas relief (cf. Carte 3).

L'évolution du Massif armoricain est à l'origine de la formation de milieux spécifiques du département pouvant être responsables de la répartition et du cantonnement de plusieurs espèces de micromammifères aux exigences particulières [TOUZALIN, 2003].

1.3 – SITUATION MÉTÉOROLOGIQUE

La Loire-Atlantique, par sa position géographique, bénéficie d'un climat océanique tempéré avec des hivers doux, des amplitudes thermiques annuelles réduites, des précipitations assez bien réparties. Il n'y a que dix degrés d'écart entre la moyenne des températures minimales annuelles et celle des maximales annuelles. Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 11,7°C et 12,7°C sur tout le département.



Des différences assez sensibles se notent néanmoins selon les secteurs avec l'atténuation du caractère atlantique d'ouest en est, et de l'influence méridionale du sud vers le nord. Le relief, quoique peu marqué, influence les précipitations. Il en ressort que le nord Loire est moins arrosé que le sud Loire.

Il est cependant compliqué de distinguer véritablement des zones marquées par de véritables influences climatiques. Les quelques différences qui ressortent ne sont que des nuances non significatives, pas ou peu susceptibles d'influencer ici la biogéographie des micromammifères [TOUZALIN, 2003].

1.4 – CONTEXTE PAYSAGER

1.4.1 – DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPALES ENTITÉS PAYSAGÈRES

En 2011, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL*) de Loire-Atlantique ainsi que la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) mettent à disposition du grand public un Atlas des paysages du département, source privilégiée pour la compréhension des territoires. Il s'agit ici de paysages au sens géographique et non écologique. L'étude des paysages de la Loire Atlantique a consisté en un découpage du département en 15 grandes unités de paysages, regroupées en quatre familles : les paysages de plateaux, les paysages ligériens, les paysages littoraux et de marais, les paysages urbains (cf. Carte 4).

1.4.1.1 – LES PAYSAGES LIGÉRIENS

LA LOIRE DES PROMONTOIRES

En affrontant les schistes et les granits avant l'estuaire, la Loire offre des promontoires rocheux et des coteaux marqués qui dominant le fleuve. Ces derniers sont boisés et ponctués de quelques parcelles viticoles. De nombreuses îles parsèment le fleuve (cf. Annexe I-a). Les fonds de vallée sont dominés par des prairies et prés-marais inondables, souvent accompagnés d'un réseau haies d'arbres têtards et de peupleraies. Les affluents de la Loire forment des vallons encaissés et enserrés par un bocage typique, articulé autour de fossés et de boires*. L'agriculture présente y est diversifiée. L'élevage, accompagné de cultures céréalières, sont présentes dans le val de Loire. Les hauts de coteau sont souvent réservés à la viticulture, tandis que le maraîchage est de plus en plus présent sur les rives de la Loire en amont de Nantes. Cette nouvelle tendance contemporaine grignote petit à petit le bocage au profit de zones extrêmement banalisées sur la plan micromammalogique. Ce phénomène est en outre renforcé par une urbanisation diffuse accrue.

LA LOIRE ESTUARIENNE

Le paysage est marqué par de grandes pâtures et prairies de fauche inondables, caractérisées par une riche végétation de milieux humides. Ces prairies sont le plus souvent cloisonnées par des haies de saules et de frênes têtards. Les pâtures ouvertes sont encadrées par les terres hautes des coteaux, bocagères et plus "fermées". D'immenses vasières intertidales occupent les berges sud du fleuve, celles du nord de l'estuaire ayant progressivement été remplacées par les terminaux industrialo-portuaires du Grand Port Maritime Nantes-Saint Nazaire.

Les pressions résidentielles et industrielles très fortes mitent progressivement le territoire et la surface agricole vouée à l'élevage diminue progressivement. La déprise agricole engendre une gestion moindre des marais et conduit progressivement à la fermeture des paysages. De surcroît le développement du maraîchage sur les rives sud, moins industrialisées, est notable.

LA LOIRE MONUMENTALE

À l'approche de l'estuaire externe l'espace fluvial s'élargit très fortement (cf. Annexe I-c). Quelques zones de marais, quadrillées par des canaux et fossés, sont présentes en arrière du bourrelet rivulaire ou au-delà de la façade portuaire. Ces marais, partiellement immergés en hiver, restent inconstructibles et résistent à l'urbanisation. Les prairies de pâture sont le plus souvent encadrées de bandes de roseaux, parfois très importantes.

1.4.1.2 – LES PAYSAGES DE PLATEAUX

BOCAGE SUSPENDU DU SILLON DE BRETAGNE

Le paysage est celui d'un plateau bocager semi-ouvert, cadré par d'importants "verrous boisés (cf. Annexe I-d), légèrement incliné vers le nord-est où l'eau a sculpté de petits vallons humides et fermés, où se mélangent les chênes, les aulnes, les saules et les frênes souvent conduits en têtards. Le maillage bocager, encore assez bien préservé, est plus ou moins aéré ou condensé selon l'alternance des pâtures ou des cultures.

Une urbanisation de plus en plus importante s'observe le long du réseau viaire à la sortie des bourgs. Cette évolution est en partie responsable de l'apparition, de plus en plus fréquente, de zones de bocage dégradé et de l'enfrichement d'anciennes parcelles agricoles enclavées à l'intérieur des bourgs en développement.

LES MARCHES DE BRETAGNE OCCIDENTALES

Ce paysage est marqué par une trame bocagère ancienne liée à une activité d'élevage importante (cf. Annexe I-e). Quelques rares petites parcelles inondables subsistent en fond de vallée, encadrées par des haies de feuillus taillés en ragosses*, et de conifères (pins, quelques cyprès), ponctués de petits boisements et fourrés de saules ou de frênes têtards.

L'évolution agricole s'est traduite par un éclatement de la maille bocagère, autrefois dense et structurée, et par une ouverture du paysage, à la fois sur de grandes surfaces prairiales et sur d'importantes parcelles de monocultures. Les grands ensembles boisés, dont la forêt du Gâvre, principal massif du département, et quelques reliquats de landes constituent également des éléments forts.

LES MARCHES DE BRETAGNE ORIENTALES

Terroir rural typique, ce paysage tisse à toutes les échelles une trame bocagère encore assez typique (cf. Annexe I-f). Les haies de chênes sur talus forment un tissu bocager dense. Ce dernier suit de grandes ondulations est-ouest, allant des crêtes boisées aux vallons humides. De grands ensembles boisés se sont installés sur ces crêtes aux sols plus pauvres, peu valorisables et rentables pour l'agriculture. Les landes, puis les forêts s'y sont largement développées.

La végétation spécifique des fonds de vallées humides et des prairies inondables épouse également la structuration est/ouest du paysage. Sont présents les saules, les frênes, les noisetiers et les aulnes qui composent l'essentiel de la ripisylve*. Ils laissent place au chêne pédonculé dans les haies bocagères dont le réseau est relativement dense dans les prairies inondables, ou sur les versants plus abrupts des vallées où ils sont ourlés de landes.

LES CONTREFORTS LIGÉRIENS DU PLATEAU D'ANCENIS

Ce paysage agricole ouvert est rythmé par un bocage relictuel (cf. Annexe I-g). Sur l'ensemble du plateau, l'activité agricole intensive prédomine. Les remembrements successifs et les évolutions contemporaines des pratiques agricoles ont remplacé la trame bocagère, autrefois dense, par une vaste mosaïque de cultures ouvertes. Il ne reste de ce bocage que quelques petits boisements, taillis ou fourrés pur l'essentiel, et d'anciennes haies bocagères dont il ne subsiste souvent que l'étage arborescent, voire des arbres isolés. Les milieux prairiaux, parfois inondables, se concentrent quant à eux, autour des vallées encaissées.

COURONNE VITICOLE COMPOSITE

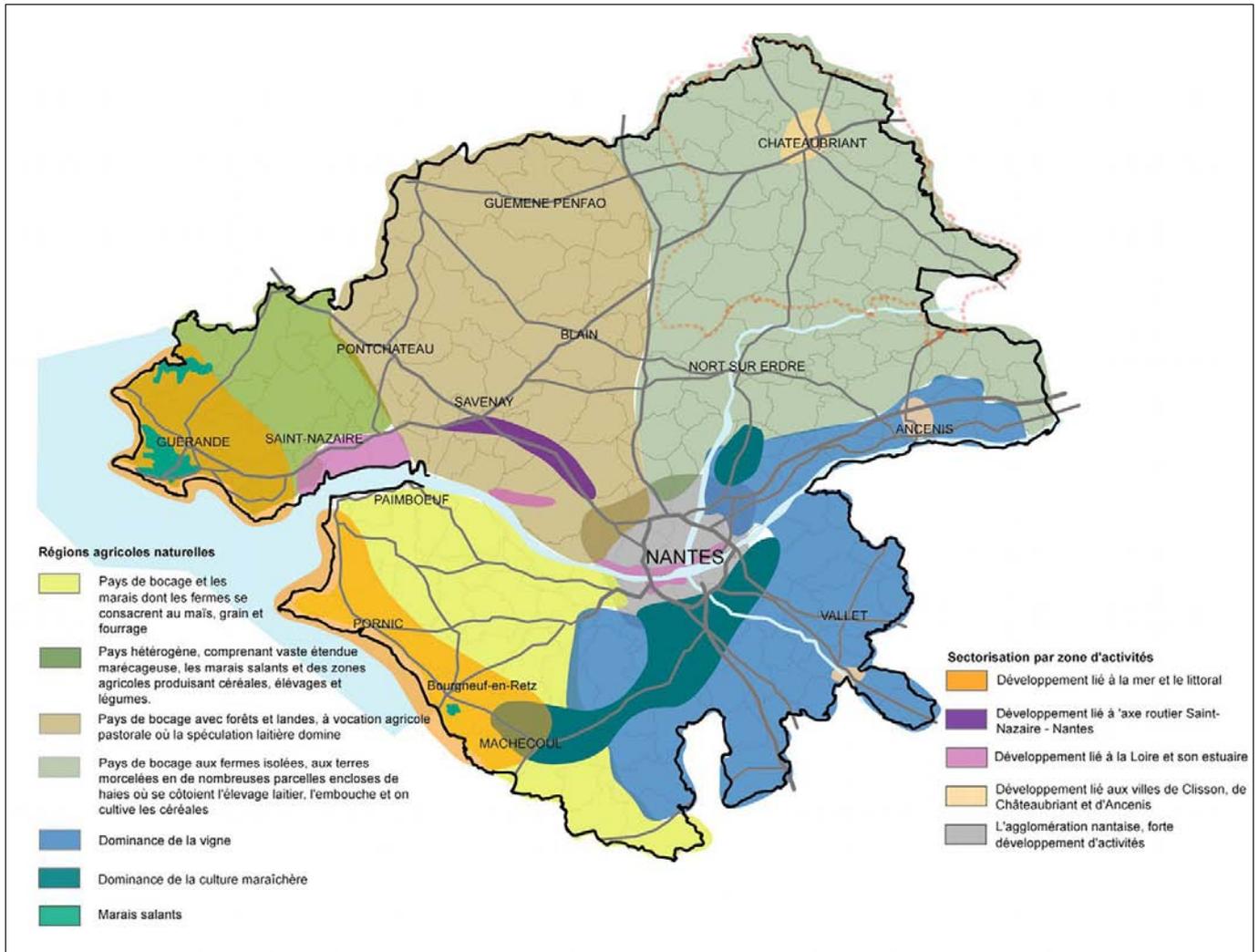
Il s'agit ici d'un paysage de plateau semi-ouvert caractérisé par une activité viticole encore bien présente, et l'existence d'un bocage relictuel formant une mosaïque disparate (cf. Annexe I-h). Ce territoire est également marqué par de nombreuses vallées très encaissées. En limite septentrionale et sur les coteaux des vallées, on retrouve toutefois des paysages bocagers plus ou moins denses. Héritage de l'activité d'élevage bovin, le réseau de haies sur talus structure peu ou prou le paysage, bien que cette trame soit aujourd'hui largement altérée, la maille ayant été notablement élargie, et les haies arasées ou dégarnies pour laisser place à de plus grandes parcelles cultivées.. L'activité maraîchère s'installe progressivement sur l'ensemble de cette unité paysagère et participe à la diminution de l'agriculture extensive, au profit d'une utilisation plus intensive des terres et d'une banalisation drastique de l'écosystème agri-bocager.

LE PLATEAU VITICOLE

Le caractère de ce paysage tient essentiellement à la présence prégnante de la vigne qui met à nu les sols (cf. Annexe I-i). Les grandes parcelles viticoles, ponctuées de petits taillis, alternent avec les vallées aux coteaux boisés escarpés, où apparaissent des affleurements granitiques. L'élevage et les cultures fourragères y sont encore présentes. A l'interface des plateaux bocager et viticole, de nombreuses terres périphériques destinées auparavant à la culture de la vigne, sont désormais vouées au maraîchage.

LE PLATEAU BOCAGER MÉRIDIONAL

Cette entité rassemble presque tous les types de paysages ruraux (cf. Annexe I-j). Ils s'articulent soit autour des vallées, soit le long des grands axes. La trame bocagère, souvent résiduelle, s'articule autour de vastes parcelles de cultures intensives, des lambeaux viticoles, des zones maraîchères, des zones humides et des marais. A noter une diffusion urbaine et des zones d'activités importantes...Si le réseau de haies des vallées est encore très structuré, refermant localement l'espace, il est beaucoup plus distendu sur le plateau où sur les crêtes.



Carte 5 : Carte de synthèse des paysages (Source: <http://www.paysages.loire-atlantique.gouv.fr>).

Si le maillage de cette trame bocagère est aujourd'hui relativement lâche, les haies constituées de leurs quatre étages de végétation sont encore nombreuses, et des chênes de haut jet marquent fortement le paysage. Ce bocage évolue sous la pression de l'agriculture moderne, et tend à s'ouvrir pour laisser place à une mosaïque de cultures céréalières dans lesquelles s'intercalent souvent de grandes parcelles maraîchères. A cette variété paysagère s'ajoute une réelle diversité de marais, de fonds de vallons ou de prairies inondables.

1.4.1.3 – LES PAYSAGES LITTORAUX ET DE MARAIS

LA PRESQU'ÎLE GUÉRANDAISE

Dans les marais de Guérande et du Mès, talus et canaux organisent une succession de bassins destinés à concentrer le sel (cf. Annexe I-k). La trame des talus enherbés qui circonscrivent les étiers et les salines, évoque "l'ossature" du bocage terrestre. Sur les plateaux aux abords des marais, le réseau bocager est encore dense par endroits. On y retrouve une composition mixte de feuillus (chênes pédonculés, chênes verts) et de conifères (pins et cyprès de Lambert) organisés en haies et petits boisements qui referment ponctuellement l'espace. Les prairies de pâtures ont laissé place aux jardins et petits parcs des résidences et des pavillons aujourd'hui très présents en raison de l'essor touristique et balnéaire de ce secteur du département.

LES GRANDS MARAIS

Les grands marais de Loire-Atlantique (Brière, Lac de Grand-Lieu et ses abords, etc.) occupent les terres basses du département (cf. Annexe I-l). Ils sont caractérisés par de grandes étendues d'eau ou de roselières, et de pâtures inondables. Dans les haies cadrant les prairies, les arbres (chênes ou frênes) sont parfois taillés en têtards. L'avenir de ces grands marais est assez incertain. La régression des activités de pâturage, d'exploitation de la tourbe ou du chaume, conduit au comblement progressif et à la fermeture de ces milieux par des formations végétales arborées plus banales.

1.4.1.4 – LES MILIEUX URBANISÉS

La ville rivulaire, l'agglomération nantaise et la côte urbanisée sont regroupées dans cette partie. Il s'agit des surfaces habitées et l'ensemble des infrastructures de transport. Depuis les années 1990, l'urbanisation est en très forte expansion autour des grandes agglomérations, mais également de manière diffuse autour des petites villes et villages.

1.4.2 – SYNTHÈSE ET INTÉRÊTS MICROMAMMALOGIQUES

En résumé, la Loire-Atlantique apparaît comme un département fortement dominé par un bocage autrefois très dense et aujourd'hui fortement dégradé par une agriculture plus intensive, sauf dans de rares secteurs (cf. Carte 5). Ce bocage renferme encore de grands ensembles forestiers tels la forêt du Gâvre, de Juigné, d'Ancenis, etc. La vigne et le maraîchage sont également très présents, avec une diminution de l'activité viticole au profit du maraîchage. Sans oublier la présence des zones humides très bien représentées avec, notamment, les immenses bassins de la Brière et de Grand-Lieu...Tous ces territoires sont en constante évolution, avec une urbanisation croissante qui mite les paysages et grignote les terres agricoles et les milieux naturels.

L'ouverture du bocage consécutive à la destruction de haies et à la disparition des prairies permanentes est préjudiciables aux espèces liées à un couvert végétal conséquent (*M.glareolus*, *M.agrestis*, *subterraneus* et *A.sylvaticus*) [PANZACCHI *et al.*, 2010] au profit des espèces de milieux ouverts, plus communes (*C.russula*, *M.arvalis*). Les grands ensembles boisés, encore bien présents, en particulier en moitié nord du département, sont favorables aux espèces sylvoicoles (*M.glareolus* et *A.sylvaticus*). Quant aux grandes zones humides, marécageuses ou rivulaires (Brière, Grand-Lieu...), elles représentent un atout écologique majeur pour de nombreuses espèces inféodées aux milieux hygrophiles (*N.fodiens*, *S.coronatus*, *minutus* et *A.sapidus*) [TOUZALIN, 2003].

Dans les vignes, l'apparition de nouvelles pratiques avec culture sur sol nu (labour et/ou traitements chimiques) rendent ces surfaces peu attractives pour les micromammifères. Seules quelques espèces très communes et tolérantes y subsistent (*M.arvalis*, *C.russula* et *A.sylvaticus*). Le développement croissant des surfaces maraîchères conduites sous bâches et sous serres transforme de grandes surfaces en milieux presque totalement inhospitalier pour la micromammifère. Les milieux urbanisés sont également peu favorables aux micromammifères, et l'urbanisation affecte négativement l'abondance relative et la richesse spécifique en espèces [TOUZALIN, 2003 ; GOMES *et al.*, 2011]. Ces mêmes auteurs indiquent que la présence de jardins, jardinets, espaces verts et les trames vertes n'offrent des milieux favorables qu'aux espèces à forte plasticité écologique (*C.russula*, *M.arvalis* et *A.sylvaticus*).

Les micromammifères sont d'excellent indicateurs de l'état du milieu [GOMES *et al.*, 2011 ; PANZACCHI *et al.*, 2010 ; PUPILLA ET BERGMANIS, 2010 ; MICHEL *et al.*, 2006]. L'étude et le suivi de la composition des communautés des micromammifères de Loire-Atlantique permettent de mieux mesurer l'impact inévitable de la dégradation du bocage, l'intensification de l'agriculture et de l'urbanisation ces dix dernières années.

2 – MATÉRIEL ET MÉTHODE : ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNÉES

La première étape du travail est la collecte des données micromammalogiques (inventaire des espèces, abondance, occurrence). Elle nécessite de connaître le matériel, ici les pelotes de réjection de la Chouette effraie (*Tyto alba*, SCOPOLI 1769), et la méthodologie adéquate. Ces données permettront d'établir la carte de la richesse spécifique départementale. Ensuite, pour établir la distribution des micromammifères, des cartes de répartition de type présence/absence par site seront réalisées. Des cartes d'estimation de la probabilité d'occurrence* pour chaque espèce seront également envisagées après avoir déterminé cette probabilité sur certains sites grâce à plusieurs descripteurs de milieu. Une évolution décennale sera finalement proposée.

2.1 – LES PELOTES DE RÉJECTION, HISTORIQUE ET FONDEMENT DE LA MÉTHODE

2.1.1 – GÉNÉRALITÉS

L'étude des micromammifères n'est pas évidente. Ils sont souvent crépusculaires ou nocturnes, discrets, et ne se déplacent en majeure partie que sous la protection d'un couvert végétal plus ou moins dense. Plusieurs méthodes d'observation existent, comme le piégeage par exemple [SPITZ, 1965], mais cette méthode très laborieuse et qui nécessite d'importants moyens logistiques, est impossible à utiliser à l'échelle d'un département.

Pour cette étude, c'est l'utilisation des pelotes de réjection de la Chouette effraie qui a été retenue. Cette méthode offre de nombreux avantages [SAINT-GIRON et SITZ, 1978]. La Chouette effraie, commune dans le département, ne consomme essentiellement que des micromammifères qu'elle avale entièrement, à l'exception des grosses proies [DELMEE, 1985 ; LIBOIS *et al.*, 1983 ; PRICAM *et al.*, 1964]. Parmi l'ensemble des rapaces elle semble avoir le régime alimentaire le plus diversifié [LIBOIS *et al.*, 1983]. La Chouette effraie est commensale de l'homme ce qui rend la découverte et la récolte de ces pelotes relativement facile. Elle fréquente les granges et greniers, les combles, les ruines...De plus l'identification des proies est assez facile, grâce notamment aux nombreuses clefs de détermination, récentes et performantes [FCPN, 2012 ; MARCHESI *et al.*, 2008 ; CHARISSOU, 1999]. En somme il n'y a pas de véritables contraintes ou d'inconvénients quant au ramassage des pelotes de l'Effraie.

2.1.2 – LES PELOTES DE RÉJECTION

GUÉRIN (1928) donne une première définition très complète et explicite des pelotes de réjection : *«on désigne sous le nom de pelotes de réjection ces résidus de la digestion des oiseaux, qui, dans certaines espèces ne suivent pas la voie normale d'expulsion. Lorsqu'ils sont agglomérés, un effort du patient leur fait parcourir en sens inverse le trajet de l'œsophage et la sortie a lieu par l'orifice buccal.»*

En ce qui concerne la Chouette effraie, les pelotes sont constituées de poils et d'os de micromammifères. Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que la chouette en produit généralement deux dans une période de 24 heures [VALLÉE, 1999 ; GUÉRIN, 1928].



Photo 1 : Pelote de réjection

2.1.3 – COMPORTEMENT DE CHASSE DE LA CHOUETTE EFFRAIE

La Chouette effraie chasse préférentiellement en milieu semi-ouvert, moins fréquemment en milieu ouvert, et très peu en milieu boisé [MICHELAT et GIRAUDOUX, 1993]. La microfaune mammalienne forestière est donc largement sous-prospectée dans le cadre de cette étude et la présence de certaines espèces non détectée (*M.avellanarius*, *E.quercinus*).

Plusieurs publications affirment que l'Effraie est opportuniste dans sa chasse et qu'elle ne choisit pas ses proies [PRICAM et ZALENKA, 1964]. Il est également possible que la chouette privilégie certaines proies dans le choix de son itinéraire de chasse et non en raison de sa technique de chasse. La régularité et la bonne connaissance, par l'oiseau, de l'itinéraire habituel, et sa préférence pour certaines parties de son domaine vital, peuvent influencer considérablement les pourcentages de proies contenues dans les pelotes [TOUZALIN, 2003].

Le postulat de départ de cette étude est que la Chouette effraie ne choisit pas ses proies mais les capture au hasard de sa chasse, selon les conditions de milieux et de la complexité de l'itinéraire de chasse. TABERLET [1986] souligne la qualité exceptionnelle de l'échantillonnage effectué sur le terrain par la Chouette effraie tout en signalant toutefois que notre manque de connaissance relatives aux itinéraires de chasse rend plus difficile la correspondance directe entre les pourcentages de proies dans le régime alimentaire et certains descripteurs du milieu.

Tableau 1 : Récapitulatif des données bibliographiques relatives à la dimension du domaine vital chez la Chouette effraie (d'après TOUZALIN, 2003).

Auteurs	Superficie (Ha)	Rayon d'action (Km)	Méthode
HISKING et Newberry, 1945	710 – 1250	1,5 – 2	?
EVANS et ELMEN, 1947	66	0,45	Observations directes
SCHMIDT <i>et al.</i> , 1947	710 - 1250	1,5	?
SMITH <i>et al.</i> , 1974	1800 – 4300	2,4 – 3,7	Observations directes
CONTOLI, 1975	710 – 1250	1,5	?
LOVARI <i>et al.</i> , 1976	1250	2	?
PETRETTI, 1977	7850	5	?
GEROUDET, 1978	< 1250	< 2	?
HAUSSER, 1978	7850 – 11300	5 – 6	?
GLUTZ VON BLOTZHEIM et BAUER, 1980	201 – 710	0,8 – 1,5	?
BUNN <i>et al.</i> , 1982	250 – 500	0,9 – 1,6	Observations directes
TABERLET, 1983	> 1960	> 2,5	Alimentation
SPITZ in TABERLET, 1983	315 – 7850	1,5	?
LIBOIS <i>et al.</i> , 1983	710	1,5	?
HEGDAL et BLASKEMICZ, 1984	682 – 838	1,4 – 1,6	Radio-pistage
SHAWYER, 1987	300	1	?
MICHELAT et GIRAUDOUX, 1991	763	1,5	Radio-pistage

2.1.4 – RÉGIME ALIMENTAIRE DE L'EFFRAIE

La Chouette effraie consomme jusqu'à 90 % des micromammifères. Plusieurs sources de variations existent cependant, et sont à prendre en considération lorsqu'on travaille sur la base de l'abondance des différentes espèces.

La première cause concerne l'influence du milieu de chasse. Le régime alimentaire de la chouette peut varier en fonction des conditions climatiques, du type de cultures, du relief, du morcellement du paysage, de l'importance de la couverture boisée, du réseau hydrographique [TOUZALIN, 2003]...

Une deuxième cause met en évidence l'influence de la densité des proies. Le caractère opportuniste de la Chouette effraie peut l'amener par exemple à se concentrer sur une pullulation temporaire comme celles observées chez les campagnols [SAINT-GIRONS, 1968]. Une autre hypothèse met en avant le comportement de certaines espèces : surfacique vs souterrain, variation saisonnière du comportement (les mâles seraient plus bruyants lors de la reproduction, et donc facilement détectables et prédatés).

Certaines chouettes peuvent également se spécialiser. Des cas sont rapportés sur des prédatations particulières : Taupe, oiseaux, chauves souris, etc. [TOUZALIN, 2003]. Ces spécialisations peuvent également porter sur l'espace et le temps.

Il ressort de toutes ces constatations que tout ce qui influence les populations de micromammifères dans le territoire de chasse de la Chouette effraie se ressent, ponctuellement ou, durablement, sur son régime alimentaire. Au niveau de la composition de son menu, l'Effraie traduit une "image" de la micromammafaune à un moment donné.

2.1.5 – DOMAINE VITAL DE LA CHOUETTE EFFRAIE

La mise en relation de la diversité des proies contenues dans les pelotes de réjection avec des descripteurs de milieux nécessite la connaissance de la superficie du territoire prospecté par le rapace. Les publications à ce sujet sont très nombreuses et les conclusions sont diverses et variées (cf. Tableau 1).

Le rayon d'action de l'Effraie peut varier selon les périodes de l'année (notamment en hiver avec la raréfaction des proies), selon les périodes du cycle biologique de l'espèce (formation des couples, pontes, élevages des jeunes, etc.) et aussi, évidemment, avec la disponibilité en proies [TOUZALIN, 2003].

Pour ce travail, un rayon d'action de 2,5 km (1 963 ha, 20 km²) adéquat pour l'analyse des descripteurs de milieux [TABERLET, 1983] est utilisé pour les traitements statistiques.

2.2 – ACQUISITION DU MATÉRIEL ET DES DONNÉES

Après la collecte des données micromammalogiques sur l'ensemble du département, et conformément à la méthode initiée par Touzalin [Touzalin, 2003], plusieurs sites seront choisis au sein des grandes unités paysagères dont ils constituent chacun une composante représentative. Ils seront toutefois sélectionnés également en fonction du nombre suffisant de proies identifiés. Sur ces sites, plusieurs descripteurs de milieu seront calculés (longueur de haies, surface en eau, occupation agricole des sols...) pour établir la probabilité d'occurrence de chaque espèce selon ces derniers. Le but final est de dresser des cartes d'estimation de la répartition de chaque espèce sur l'ensemble du département.

2.2.1 – RÉCOLTE DES PELOTES ET INVENTAIRE DES ESPÈCES

Pour que chaque station présente des résultats comparables, issus des mêmes techniques de comptage et d'identification, des règles strictes sont fixées pour éviter des causes de variations supplémentaires.

2.2.1.1 – LA RÉCOLTE DES PELOTES DE RÉJECTION

La première étape consiste à trouver des sites de réjection de Chouette effraie (reposoirs diurnes ou sites de nidification). La prospection s'est effectuée dans le cadre de nos propres prospections sur le terrain, et secondairement, par le biais de quelques naturalistes et réseaux associatifs (Groupe Mammalogique Breton, Bretagne Vivante...). L'exploration en voiture des sites préalablement repérés sur carte IGN et Orthophotos (cf. Figure 1) puis une visite systématique des sites potentiellement favorables (ruines, bâtisses abandonnées, vieux arbres creux...) ont permis la découverte de la majeure partie des sites (cf. Photo 2).

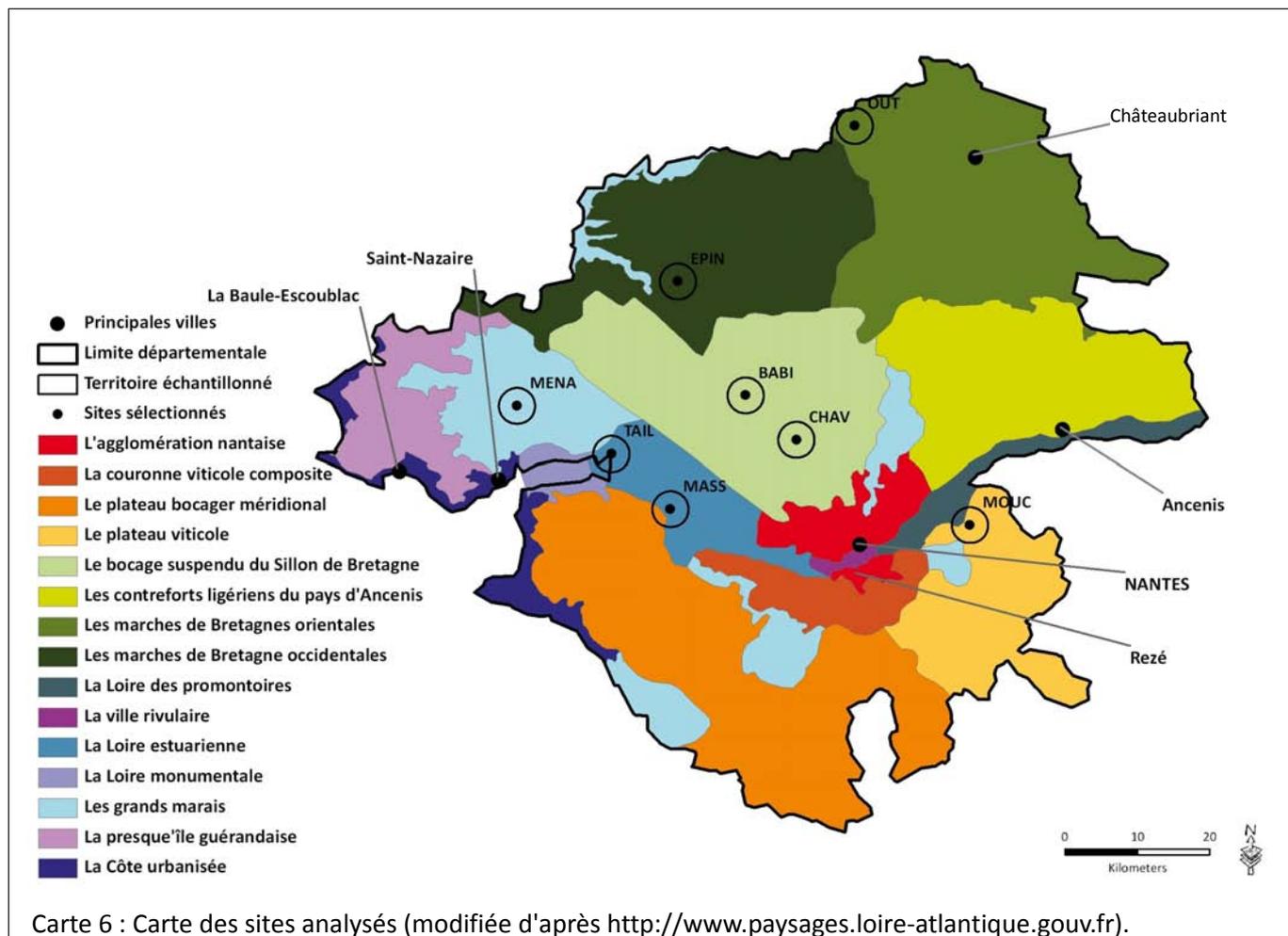
Dans l'optique de l'analyse des variations saisonnières du régime alimentaire de la chouette, seules les pelotes récentes représentatives de la saison étudiée (pelotes fraîches, noire à l'aspect vernissé) sont ramassées et les récoltes saisonnières ont été organisées sur une année entière :

- x novembre 2011 à janvier 2012: récolte des pelotes automnales,
- x avril 2012 : récolte des pelotes hivernales,
- x juillet 2012 : récolte des pelotes printanières,
- x octobre 2012 : récolte des pelotes estivales (à venir).

Tous les sites découverts ont fait l'objet, à l'occasion d'une première récolte, d'un "nettoyage" préalable (suppression des vieilles pelotes, dégradées, délitées) pour faciliter l'efficacité des récoltes suivantes.

2.2.1.2 – IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES MICROMAMMIFÈRES

L'identification des espèces s'est basée uniquement sur l'examen du squelette de la tête des proies, et le recours aux clefs exposées dans six ouvrages de référence (CHALINE, 1974 ; EROME ET AULAGNIE, 1982 ; CHARISSOU, 1999 ; MARCHESI *et al.*, 2008 ; ROLLAND, 2008 ; FCPN, 2011]. Bien qu'un certain nombre d'espèces peuvent être identifiées sur la base seule du calvarium ou d'une mandibule, l'identification des crânes complets (mâchoires et boîte crânienne) a été privilégiée.



Carte 6 : Carte des sites analysés (modifiée d'après <http://www.paysages.loire-atlantique.gouv.fr>).

Tableau 2 : Détail des sites utilisés.

Nom	Code Prospections	Commune
BABI	73	Fay-de-Bretagne
CHAV	93	Treillière
MOUC	451	Le Lorroux-Bottereau
EPIN	411	Plessé
OUT	2	Sion-les-Mines
TAIL	311	Donges
MENA	177	Saint Joachim
MASS	105	Frossay

Malgré l'aide apportée par ces ouvrages, l'identification du genre *Neomys* demande une étude particulière. Il s'agit des crossopes *N.fodiens* et *N.anomalus*, dont la morphologie des crânes (calvarium et mandibules) est très proche. Par ailleurs les rats *R.norvegicus* et *R.rattus* sont particulièrement difficiles à discriminer en raison de l'état des calvaria (le plus souvent totalement démantelés dans les pelotes) et de l'âge des proies (le plus souvent de jeunes rattons) qui rendent inutilisable un certain nombre de critères. Seuls quelques individus ont pu être identifiés avec certitude, le reste étant simplement désigné comme *Rattus sp.*

D'autre part, les musaraignes *S.coronatus* et *S.araneus* nécessitent aussi une étude particulière pour effacer le doute qui persiste sur l'éventuelle présence de cette dernière espèce, considérée aujourd'hui comme plutôt orientale en France. Des erreurs de distinction ont fait que *Sorex araneus* fut notée présente pendant longtemps dans une grande partie de la France. De l'avis de spécialistes, BRUNET-LECOMTE P., YANNICK G., HAUSSER J., [comme pers in LELIEVRE, 2010], *Sorex araneus* serait absente de la Loire-Atlantique (cf. Annexe II).

2.2.1.3 – DÉNOMBREMENT DES MICROMAMMIFÈRES

L'objectif principal est de connaître la proportion d'espèces-proies dans les pelotes. Pour l'étude de la biogéographie, seul le cumul des résultats par site et par pelotes, et non la date de récolte, sera pris en compte.

Tous les calvaria sont utilisés, ceux non identifiables sont notés *sp.* Les nouveaux modèles de prédictions statistiques sont capables d'utiliser ces données non précises, très importantes dans les calculs, car elles influencent l'occurrence d'une espèce. Le dénombrement des proies d'une pelote se base uniquement sur les calvaria présents, les mandibules pouvant se désolidariser et se mélanger dans les pelotes. Les autres proies accidentelles telles que les oiseaux, les amphibiens, les insectes, les reptiles, sont également pris en compte.

2.2.2 – LES DESCRIPTEURS DU MILIEU

Les informations calculées pour chaque descripteur dans chacun des sites permettront de calculer ultérieurement la probabilité d'occurrence de chaque espèce.

2.2.2.1 – LISTE DES SITES RETENUS

La démarche ici est de choisir comme base de recherche les *preferenda* biologiques des micromammifères, et ce dans des sites représentatifs des paysages du département. Plusieurs étapes ont permis la sélection des sites. La première sélection s'est faite parmi les 16 sites étudiés par TOUZALIN [2003] et complétée par des sites situés au sein d'entités paysagères du nord et du sud Loire.

De cette liste de sites n'ont été gardés que ceux pour lesquels le nombre de proies identifiées est suffisant. Un minimum de 300 micromammifères par site a été retenu arbitrairement et correspond à une moyenne des minimums cités dans la bibliographie [LELIEVRE, 2010 ; TOUZALIN, 2003 ; MILLAN DE LA PEÑA *et al.*, 2003]. Malheureusement, le nombre de sites répondant à ce critère n'est aujourd'hui pas suffisant pour couvrir toutes les entités géographiques et tous les milieux prévenus au démarrage de ce travail. Pour le moment, un total de huit sites (cf. Tableau 2), six au nord de la Loire et deux au sud (cf. Carte 6), peut permettre de calculer la probabilité d'occurrence de chaque espèce.

2.2.2.2 – DESCRIPTION DES HUIT SITES : LES DESCRIPTEURS DE MILIEU

Afin d'aller au-delà de la simple description des paysages et biotopes rencontrés au sein du cercle de 2,5 km de rayon adopté par convention (cf. § 2.1.4, p.10) dans la présente étude, une approche statistique est décrite ci-après. Pour chacun des huit sites, une douzaine de variables appelées "descripteurs de milieu" sont calculées (cf. Annexe III). Ces variables identifiées par TOUZALIN [2003] fournissent les informations les plus pertinentes sur la qualité des milieux en rapport avec les exigences des micromammifères.

Ces variables seront calculées une première fois sur les huit sites et comparées avec les inventaires des micromammifères répertoriés sur chacun des sites pour déterminer la probabilité d'occurrence de chaque espèce. Ces variables seront ensuite calculées à l'échelle du département sur des mailles de 1 km² soit 7 280 mailles.

Description des variables :

- x Surface Habitée (SH) : comprend les surfaces des habités et grands axes routiers.
- x Surface Boisée (SB) : comprend indistinctement toutes les formations de ligneux : taillis, fourrés, bosquets, futaies, plantations arborées.
- x Surface de Vigne (SV) : type bien particulier de culture sur sol nu (labouré ou désherbé) et faisant l'objet de traitements chimiques fréquents. Les autres cultures permanentes de type vergers, pépinières fruitières et forestières, y sont associées.
- x Surface de Culture Maraîchère (SCM) : cultures concentrées sur quelques secteurs du département (bords de Loire fluviale, région nantaise, abords du Marais Breton particulièrement). Cultures inhospitalières pour les micromammifères car les sols sont régulièrement remaniés et traités, et stérilisés thermiquement.
- x Surface de Culture Intensive (SCI) : traduit la surface en parcelles labourables dont les pratiques culturales présentent des conséquences importantes pour la micromammafaune (blé, orge, maïs, colza, tournesol, etc.). Ces surfaces subissent des remaniements importants (labours, semis, traitements, récoltes), au moins une fois par an minimum.
- x Longueur de Cours d'Eau (LCE) : traduit la densité du réseau hydrographique (cours d'eau permanents, rives d'étang, de fleuve, les douves et canaux de marais et de prairies inondables). Toutefois la relation entre cette variable et l'humidité du sol, facteur écologique déterminant pour certains micromammifères et notamment les musaraignes, n'est pas évidente. En effet, ce facteur ne traduit pas les variations saisonnières des niveaux d'eau, ce qui ne permet pas d'apprécier l'état d'immersion des berges [TOUZALIN, 2003].
- x Longueur de Routes et de Chemins (LRC) : cette variable traduit la longueur de talus herbacés plus ou moins larges et plus ou moins entretenus qui bordent les routes et qui font l'objet de nombreuses colonisations par les micromammifères [DE REDON *et al.*, 2010].

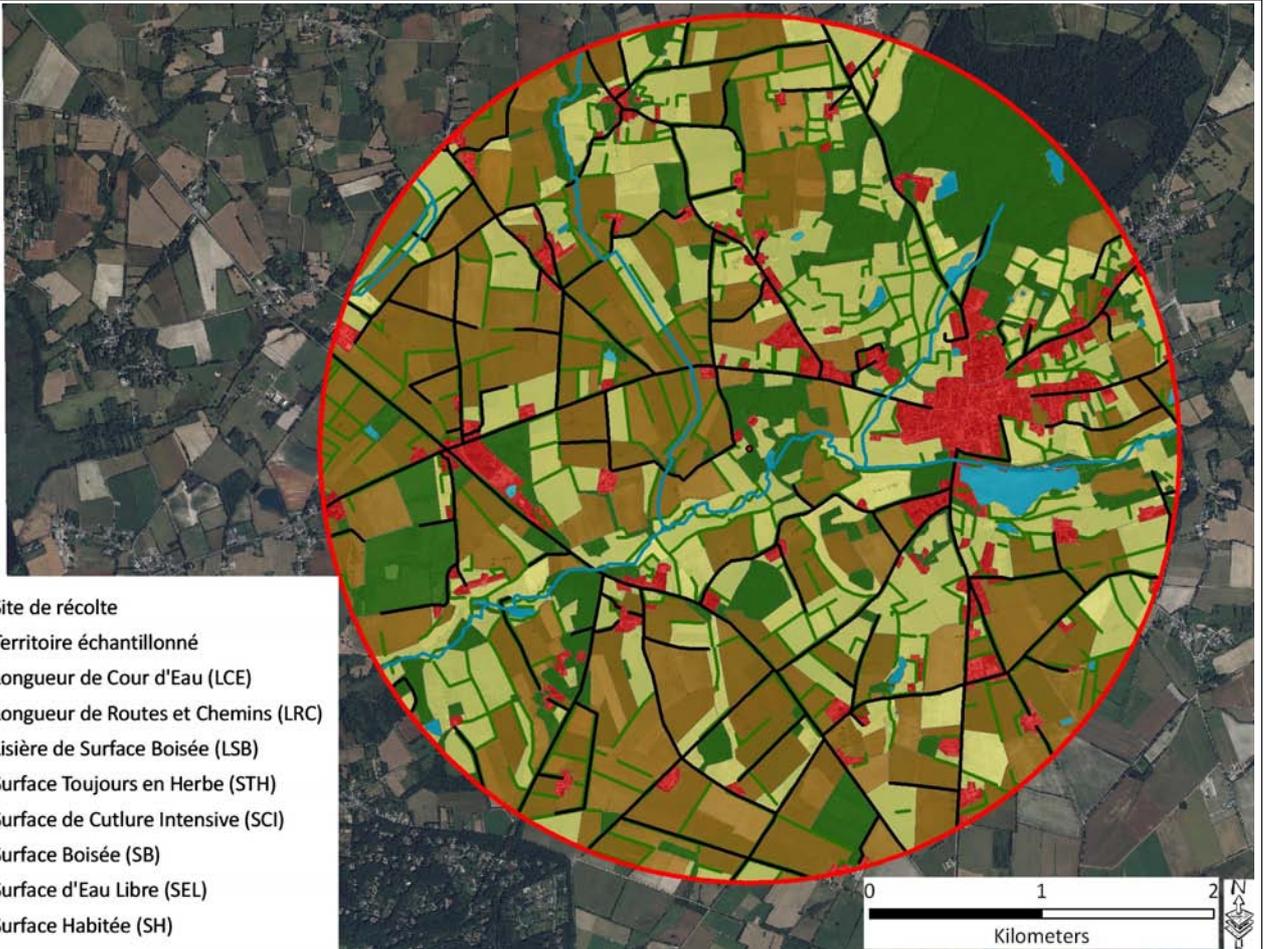


Figure 2 : Un exemple de la technique cartographique pour la mesure des descripteurs du milieu sur le site d'EPIN (source : BD Ortho®)

- x Lisière de Surface Boisée (LSB) : concerne les longueurs de lisières de forêts, bois, taillis, haies. Traduit la densité d'un réseau d'habitats-corridors particuliers pour les micromammifères (lisières forestières et haies sur talus). Fournit une idée générale de la fragmentation du paysage, sans tenir compte de paramètres importants tels que la qualité de ces habitats ou le degré de connectivité sur l'ensemble du site [PAILLAT et BUTET, 1994].
- x Surface d'Eau Libre (SEL) : concerne les surfaces de lacs, d'étangs, de bassins, de fleuves... Correspond à des surfaces inexploitées par les rapaces nocturnes et les micromammifères.
- x Surface de Prairie Inondable (SPI) : concerne les surfaces de prairies naturelles soumises aux inondations chaque hiver (de 3 à 6 mois) en bordure de marais ou de Loire. En général, la courbe de niveau 2,5 m est prise comme limite moyenne d'inondation. Ces inondations sont responsables d'un bouleversement de la micromammifère terrestre et souterraine locale. Ce phénomène cyclique est à l'origine d'émigrations et recolonisations temporaires.
- x Surface Toujours en Herbe (STH) : il s'agit des prairies semées avant l'automne 2006, des prairies naturelles, des parcours et autres landes pâturées. Ce biotope est stable dans le temps, à l'exception des fauches et pâturages de regain estivaux.
- x Surface de Marais Permanent (SMP) : milieu typique qui regroupe des zones inondées en permanence ou momentanément asséchées en période estivale ou automnale, et couverte d'une végétation hygrophile.

Les longueurs de cours d'eau (LCE) représentent les longueurs de rives. Aussi, les longueurs de cours d'eau, de fleuves, de ruisseaux, de douves et autres canaux ont été multipliées par deux (deux rives), contrairement aux périphéries des étangs, mares et marais (une seule rive).

L'ensemble des mesures sont réalisées sur ArcGis® 9.3 grâce aux cartes IGN 1/25 000, aux BD Orthophoto® 2009, aux données des déclarations PAC* 2010 (RPG* 2010), aux données récupérées via GEOPAL*, à CORINE LAND COVER® 2009, à la BD MOS* Loire-Atlantique, et aux données mises à disposition par la DREAL des Pays de la Loire.

2.2.2.3 – DESCRIPTION PAYSAGÈRE SUCCINCTE DES SITES

MOUC (CODE : 451) - PLATEAU VITICOLE

Le site de MOUC est caractéristique du vignoble Nantais. Le site est très majoritairement dominé par la viticulture (surface à vigne exclusive, sol nu et intensivement traité et/ou travaillé). L'implantation massive de grandes surfaces de maraîchage au nord-ouest du secteur s'explique principalement par sa forte proximité avec des zones d'alluvionnement de la Loire. Ce paysage est peu favorable à une micromammifère diversifiée.

OUT (CODE : 2) - MARCHES DE BRETAGNE ORIENTALES

La caractéristique principale du site est sa position en limite nord du département, et son appartenance au Pays de Châteaubriant, très rural et essentiellement agricole et bocager, bordé par deux massifs forestiers conduits en taillis sous futaie (forêt de Thiouzé et de Teillay). Le bocage à Chêne pédonculé et à Chataignier est globalement ouvert et déstructuré, dominé aujourd'hui par les cultures intensives, les prairies artificielles, à l'exception d'une petite zone bien conservée au sud du bourg de Sion-les-Mines. Ce bourg représente ici la seule vraie zone urbanisée.

CHAV (CODE : 93) – BOCAGE SUSPENDU DU SILLON DE BRETAGNE

Le site de CHAV est lui aussi principalement agricole et bocager. Une bonne moitié du site est occupée par un bocage ouvert, déstructuré, à vocation agricole fortement orientée vers la culture céréalière et la prairie. L'autre partie du site est caractérisée par un maillage plus serré et "cohérent", avec des haies sur talus et des petits boisements disséminés. Les surfaces de prairies de fauche et de pâture sont y sont en outre plus importantes que celles réservées à la culture céréalière. L'habitat humain est concentré en petits villages et hameaux peu dispersés.

MASS (CODE : 105) – LOIRE ESTUARIENNE & PLATEAU BOCAGER MÉRIDIONALE

Site typique de la Basse-Loire sud et des prés-marais de l'estuaire. Les prairies naturelles inondables, limitées par un bocage vestigial lâche et déstructuré, en majorité buissonnant et arbustif, représentent la principale occupation du sol. Sur les îles, un réseau dense de douves, de canaux, d'étiers, est bordé d'une végétation linéaire d'hélophytes (phragmites, typhas, iris...). Quelques étangs et mares à vocation souvent cynégétique (chasse au gibier d'eau), sont présents çà et là, au nord du site. Des boisements de frênes et quelques saulaies parsèment également les prairies. Au sud, les prairies du Tenu ne sont inondables que lors des grandes crues hivernales et printanières de la Loire. Disséminées autour de l'Île du Massereau, des bandes de marais s'étendent et sont recouvertes d'une végétation palustre hygrophile et méso-hygrophile. Un quart sud-ouest, situé sur le coteau, se présente sous la forme d'un bocage aux mailles assez larges mais encore structurées.

MENA (CODE : 177) – GRANDS MARAIS

Situé en pleine "Brière des îles", au cœur des marais briérons du bassin du Brivet, ce site est occupé par d'immenses surfaces de roselières-carigaies-saulaies, avec une fermeture progressive, faute d'entretien, des milieux aquatiques (canaux, douves, coulins et fossés), parsemé de quelques secteurs de prairies hygrophiles et méso-hygrophiles, encore pâturées ou fauchées. L'habitat humain y est insulaire et typique (configuration annulaire des constructions édifiées entre une gagnerie et une curée de ceinture bordant l'île), cette gagnerie, centre des îles est réservée à l'agriculture et au pâturage extensif.

TAIL (CODE : 311) - LOIRE ESTUARIENNE

Ce site est situé en bordure de la rivière éponyme qui se jette dans la Loire. La grosse moitié sud du secteur est situé dans le lit majeur de la Loire, avec de grandes étendues de prairies inondables et de marais permanents (roselières, scirpaies...). Ces milieux sont parcourus par un chevelu de canaux et de fossés important. L'autre moitié du site, ainsi qu'une large bande de terre (ancien bras secondaire comblé lors des opérations de dragage et de remblaiement de la rive nord de l'estuaire) forment de grandes pâtures et prairies de fauche. Le reste du secteur, plus précisément la frange nord-est et nord-ouest, est représenté par un bocage assez ouvert et déstructuré, composé essentiellement de prairies et de cultures céréalières.

BABI (CODE : 73) : BOCAGE SUSPENDU DU SILLON DE BRETAGNE

Site bocager essentiellement bocager et agricole. Malgré de grandes parcelles menées majoritairement en cultures céréalières intensives et en pâturages temporaires, le maillage bocager, bien qu'assez distendu, est encore très bien conservé. Le réseau de haies est dense, cohérent, ces dernières bien connectées entre elles. Quelques boisements sont présents ici et là mais presque tous de type "plantations arborées", non naturels.

EPIN (CODE : 411) – MARCHES DE BRETAGNE OCCIDENTALES

Ce site bocager ne garde que peu de traces de son activité ancienne et traditionnelle d'élevage. La maille bocagère, encore bien présente, est toutefois passablement déstructurée et a beaucoup souffert de l'intensification agricole contemporaine. Les grandes parcelles de cultures intensives composent la majeure partie de l'occupation des sols. De nombreux boisement sont également présents : à noter d'ailleurs que la proximité immédiate du site avec un petit massif lui confère toute sa particularité sur le plan micromammalogique.

2.3 – TRAITEMENT DES DONNÉES

Cette partie détaille et explique les calculs et modèles statistiques utilisés pour l'étude de la biogéographie des micromammifères. Le premier point regroupe l'étude de la biogéographie des espèces (entendue ici comme répartition géographique effective des micromammifères à l'échelle départementale). Le deuxième point abordé concerne l'estimation de l'occurrence et de la richesse des différentes espèces. Et pour finir, l'évolution décennale (colonisation, extinction et survie) des communautés de micromammifères est présentée en comparaison avec le travail de TOUZALIN [2003].

2.3.1 – BIOGÉOGRAPHIE DES ESPÈCES

Le but poursuivi ici est dans un premier temps de réaliser des cartes de présence/absence spécifiques, à partir des données issues des pelotes sur chacun des sites. Pour cet exercice, tous les sites et toutes les données (y compris antérieures : 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012) sont utilisés. Les données antérieures à l'étude (avant septembre 2011) seront notées "données hors protocole". Et dans un deuxième temps, de réaliser des cartes de répartition potentielle des espèces par maille de 1 km² en fonction des probabilités d'occurrences calculées par variables environnementales.

2.3.2 – MODÈLE D'ESTIMATION DE L'OCCURRENCE ET DE LA RICHESSE DES ESPÈCES DE MICROMAMMIFÈRES

Le modèle utilisé ici est un modèle hiérarchique multi-spécifique [YAMAURA *et al.*, 2011]. Ce modèle permet d'estimer des paramètres de distribution (probabilités d'occupation des sites) pour chaque espèce sur la base des dissections de pelotes (présence/absence) sur chacun des huit sites (*replica* spatiaux). Les descripteurs de milieux ou variables environnementales (cf. § 2.2.2.2) sont incorporées au modèle dans le but d'affiner les paramètres estimés de la distribution d'abondance des espèces. Une fois les probabilités d'occurrence calculées grâce aux huit sites, il est alors possible de proposer une estimation de la répartition de chaque espèce dans chaque maille de 1 km² sur l'ensemble du département.

2.3.2.1 – PROCESSUS DE DÉTECTION

L'analyse des pelotes de réjection montre parfois une grande variabilité d'un site à l'autre, à la fois en termes de richesse spécifique et d'abondance relative en *calvaria* entre les espèces observées. Ces deux paramètres sont étroitement liés à la composition du milieu sur les zones de chasse de l'Effraie. Aussi, estimer la richesse spécifique en micromammifères dans un site donné nécessite de prendre en compte l'abondance locale des espèces identifiées.

Pour cette étude à large échelle (celle d'un département), l'utilisation d'un modèle d'abondance hiérarchique multi-spécifique, basé sur les niveaux de détection de chaque espèce à travers les données de présence/absence, a été nécessaire. La hiérarchie du modèle sépare essentiellement le processus de détection basé sur l'observation (identification des *calvaria* dans les pelotes) du processus écologique réel, qui, lui, nous échappe (à l'origine de la composition réelle des communautés).

Le niveau de détection-non détection des espèces est ici dépendant de l'abondance relative des différentes espèces. La probabilité de détection est ainsi modélisée pour augmenter de façon proportionnelle au nombre de fois où une espèce est identifiée dans un lot de pelotes. Lors de l'analyse des pelotes, la présence de chacune des espèces dans chaque pelote est notée. Il en résulte une série binaire de présence/absence qui retrace l'histoire de l'observation des espèces pour chacune des pelotes du lot. Par exemple, la série [101011], pour l'espèce *i* dans le site *j* (notée y_{ij}) correspond à la présence de l'espèce dans 4 pelotes parmi 6 analysées.

Si l'on considère que les individus de l'espèce *i* dans le site *j* sont détectés indépendamment des uns des autres avec la probabilité p_{ij} , alors la probabilité de détection de l'espèce *i* dans le site *j* est : $D_{ij} = 1 - (1 - p_{ij})^{a_{ij}}$

où D_{ij} est la probabilité de détection de l'espèce *i* dans le site *j* (probabilité qu'au moins un individu de l'espèce *i* soit détecté) et a_{ij} est relatif à l'abondance réelle de l'espèce et peut être l'objet d'inférence statistique. Cela suppose que ces processus de détection/non détection pour chaque espèce *i* dans le site *j* (y_{ij}) suivent une distribution binomiale : $y_{ij} \sim \text{binomiale}(N_{ij}, D_{ij})$,

où N_{ij} est le nombre total de pelotes analysées. Ainsi, la probabilité de détection des espèces est spécifique au site de récolte mais elle est aussi dépendante de l'abondance relative de l'espèce au sein du lot de pelotes analysé. La dépendance entre abondance et probabilité de détection est ainsi prise en compte dans le processus d'estimation de cette dernière [ROYLE et NICHOLS, 2003 ; YAMAURA *et al.*, 2011]. Il est également possible d'inclure les effets de différentes variables sur l'échelle logistique de la probabilité individuelle de détection de la façon suivante [KERY, 2008] :

$$\text{logit}(p_{ij}) = \alpha_0 + x_j \alpha_j$$

où x_j correspond à des variables liées par exemple au site de récolte *j*, α_0 est l'ordonnée à l'origine (dépendant de l'espèce *i*) et α_j correspondent à la pente (dépendant du site *j*) de la régression [KERY, 2008].

Le modèle d'observation des espèces étant décrit comme processus binomial il implique que chaque occasion de détecter une espèce, ici la pelote, est indépendante et identique.

Tableau 3 : Synthèse des espèces présentes et possibles

Espèces	Présence certaine	Présence potentielle
<i>Sciurus vulgaris</i>	*	
<i>Eliomys quercinus</i>	*	
<i>Muscardinus avellanarius</i>	*	
<i>Myodes glareolus</i>	*	
<i>Apodemus sylvaticus</i>	*	
<i>Apodemus flavicollis</i>		*
<i>Mus musculus domesticus</i>	*	
<i>Rattus rattus</i>	*	
<i>Arvicola sapidus</i>	*	
<i>Ondatra zibethicus</i>	*	
<i>Myocastor coypus</i>	*	
<i>Sorex coronatus</i>	*	
<i>Sorex minutus</i>	*	
<i>Neomys fodiens</i>	*	
<i>Neomys anomalus</i>		*
<i>Microtus arvalis</i>	*	
<i>Microtus agrestis</i>	*	
<i>Microtus subterraneus</i>	*	
<i>Microtus pyrenaicus gerbei</i>	*	
<i>Micomys minutus</i>	*	
<i>Erinaceus europaeus</i>	*	
<i>Talpa europaea</i>	*	
<i>Crocidura russula</i>	*	
<i>Crocidura suaveolens</i>	*	
<i>Crocidura leucodon</i>		*
<i>Rattus norvegicus</i>	*	

Or, ce n'est pas tout à fait le cas puisque chaque pelote est différente en nombre de proies. Ce biais n'a pas été corrigé explicitement, considérant que le paramètre α_0 , ordonnée de la régression logistique de la probabilité de détection individuelle (p), absorbe implicitement ce dernier. Cependant d'autres solutions existent pour corriger ce biais de détection non binomial, par exemple en rajoutant un paramètre θ dans la formule suivante : $D_{ij} = 1 - (1 - p_{ij})^{\theta a_{ij}}$

θ pouvant varier plus ou moins vite en fonction des hypothèses ou connaissances sur le processus [ROYLE et DORAZIO, 2008].

2.3.2.2 – PROCESSUS ÉCOLOGIQUES

Il est supposé préalablement que l'abondance de chaque espèce i (a_{ij}) varie au sein de chacun des sites de récolte j en fonction des variables environnementales selon une distribution de Poisson : $a_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij})$,

dont la dépendance des variables environnementales peut être imposée à la moyenne λ_{ij} sur l'échelle logarithmique (>0) de la façon suivante : $\log(\lambda_{ij}) = \beta_0_i + x_j \beta_j$

où x_j correspond à des variables liées au site de récolte j , β_0_i est l'ordonnée à l'origine (dépendant de l'espèce i) et β_j correspond à la pente (dépendant du site j) de la régression.

L'occupation de l'espèce i dans le site j , noté z_{ij} , est simplement calculé comme étant égale à 1 si $a_{ij} > 0$ ou égale à 0 si $a_{ij} = 0$. On peut donc estimer la probabilité d'occurrence de l'espèce i dans le site j comme le paramètre d'une distribution de Bernoulli selon : $z_{ij} \sim \text{Bernoulli}(\psi_{ijt})$,

De la même façon que pour le paramètre de la distribution de l'abondance des espèces, la dépendance des variables environnementales peut être imposée ψ_{ij} mais sur une échelle logistique (entre 0 et 1) de la façon suivante : $\text{logit}(\psi_{ij}) = \delta_0_i + x_j \delta_j$

où x_j correspond à variables liées au site de récolte j , δ_0_i est l'ordonnée à l'origine (dépendant de l'espèce i) et δ_j correspond à la pente (dépendant du site j) de la régression.

2.3.2.3 – ESTIMATION DE LA RICHESSE SPÉCIFIQUE PAR AUGMENTATION DES DONNÉES

Pour chaque site j , le nombre d'espèces observé S_j a été porté à $M_j = S_j + m_j$ avec pour chaque espèce m_j une valeur nulle (i.e $y_{ij} = 0$), soit une espèce non observée. Le nombre d'espèces non observées est estimé par la méthode de Markov chain Monte Carlo (MCMC), en utilisant la méthode de l'augmentation des données [ROYLE *et al.*, 2007]. L'ensemble des espèces potentiellement présentes constitue la supercommunauté d'espèces notée $M = S + m$. L'estimation de M , faite par l'intermédiaire d'un indicateur latent w_{ij} , est ainsi inséré dans le modèle. w_{ij} prend la valeur 1 quand l'espèce est détectée parmi la sous communauté m ou considérée présente mais non détectée, où w_{ij} prend la valeur 0 quand l'espèce est considérée absente. Cela suppose l'indépendance parmi les w_{ij} et une distribution selon une loi de Bernoulli : $w_{ij} \sim \text{Bernoulli}(\Omega)$

Le nombre d'espèces i non détectées mais présentes dans chaque site j est simplement $\sum w_{ij}$. Au final a_{ij} (i.e. le nombre de pelotes contenant l'espèce i , soit ici l'abondance de l'espèce i dans le site j) est estimé dans ce modèle dit "gonflé de zéro" sous la forme $a_{ij} w_{ij}$. L'abondance totale de l'espèce i pour chaque site j est alors $\sum a_{ij} w_{ij}$.

Tableau 4 : Synthèse des cortèges micromammalogiques.

Cortèges	Espèces
Guilde des milieux forestiers et boisés	<i>Sciurus vulgaris</i> <i>Eliomys quercinus</i> <i>Muscardinus avellanarius</i> <i>Myodes glareolus</i> <i>Apodemus sylvaticus</i> <i>Apodemus flavicollis</i>
Guilde anthropophile	<i>Mus musculus domesticus</i> <i>Rattus rattus</i>
Guilde des milieux aquatiques et des zones humides	<i>Arvicola sapidus</i> <i>Ondatra zibethicus</i> <i>Myocastor coypus</i> <i>Sorex coronatus</i> <i>Sorex minutus</i> <i>Neomys fodiens</i> <i>Neomys anomalus</i>
Guilde des milieux agri-pastoraux	<i>Microtus arvalis</i> <i>Microtus agrestis</i> <i>Microtus subterraneus</i> <i>Microtus pyrenaicus gerbei</i> <i>Micomys minutus</i> <i>Erinaceus europaeus</i> <i>Talpa europaea</i> <i>Crocidura russula</i> <i>Crocidura suaveolens</i> <i>Crocidura leucodon</i> <i>Rattus norvegicus</i>

Le modèle, sous l'augmentation des données, admet donc que le nombre total de pelotes dans lesquelles l'espèce i est détectée (y_{ij}) parmi les espèces exposées à l'échantillonnage (i.e. $w_{ij}=1$), peut être supérieur à 0 en fonction des variables environnementales. Cependant le nombre total de pelotes dans lesquelles les espèces ne sont pas détectées (i.e. $W_{ij}=0$), est toujours égal à 0. Le modèle est un mélange de zéros stochastiques et structurels où la probabilité de rencontrer l'espèce i dans le site j est estimée pour un nombre de pelotes sous la forme de $a_{ij}w_{ij}$.

2.3.2.4 – CORTÈGES D'ESPÈCES

Le modèle intègre également des cortèges d'espèces construits en fonction des affinités écologiques de ces espèces (cf. tableau 4). Ces cortèges, au nombre de 4, ont été établis sur les bases des données bibliographiques [LE LOUARN ET QUERE, 2003 ; LUGON-MOULIN, 2008] et des grandes caractéristiques paysagères de la Loire-Atlantique. Ainsi, pour chaque cortège, il est possible d'estimer le nombre d'espèces présentes.

2.3.2.5 – ANALYSE BAYÉSIENNE APPLIQUÉE AUX DONNÉES

Pour estimer la richesse spécifique (RS) de chaque site, le jeu de données a été augmenté artificiellement à 26 espèces pour chaque site (cf. tableau 3). Il s'agit des espèces considérées comme présentes ou potentiellement présentes dans le massif armoricain [FAYARD, 1984 ; SAINT-GIRONS *et al.*, 1988 ; TOUZALIN, 2003]. Trois espèces sont considérées comme potentiellement présentes : *N.anomalus*, *C.leucodon* et *A.flavicolis*. La présence de ces espèces dans les départements voisins ou proches, permet, même si aucun *calvarium* n'a été identifié, ni aujourd'hui, ni en 2003, de ne pas exclure leur éventuelle présence en Loire-Atlantique. Ainsi, la découverte récente d'*A.flavicolis* en Normandie [LEBOULANGER *et al.*, 2011], limite ouest de son aire de répartition et non suspecté jusqu'alors, peut laisser espérer sa découverte ailleurs. Il en est de même pour *N.anomalus*, crossope présente en Mayenne alors que pendant longtemps, sa présence n'était pas envisagée en plaine. La présence de *C.leucodon* dans les départements bretons en limite nord de la Loire-Atlantique rend possible sa présence dans ce département.

Le nombre d'espèces susceptibles de se trouver en Loire-Atlantique (M) est fixé à 26 espèces (cf. tableau 3). L'abondance des espèces i pour le site j a été modélisée en réponse des variables environnementales suivantes :

$$\log(\lambda_{ij}) = \beta_0i + \beta_1jSH + \beta_2jSB + \beta_3jSV + \beta_4jSCM + \beta_5jSCI + \beta_6jSEL + \beta_7jSPI + \beta_8jSTH + \beta_9jSMP + \beta_{10j}LCE + \beta_{11j}LSB$$

Les variables environnementales ont été centrées et réduites. Le processus de détection des proies est dépendant du ramassage des pelotes. Plus précisément, la probabilité de détection individuelle est le fait de deux processus : l'échantillonnage dépendant de la Chouette effraie au cours de sa chasse et l'échantillonnage des pelotes effectuée par le collecteur lors de la récolte. Ici, sans information sur les conditions de réjection des pelotes, la détectabilité a été modélisée par un paramètre aléatoire pour chaque espèce sur l'échelle logistique de la probabilité individuelle de détection selon :

$$\text{logit}(p_{ij}) = \alpha_0i$$

La probabilité de détection individuelle est donc uniquement dépendante d'un effet espèce.

L'attribution des espèces non observées à un des quatre cortèges définis se fait selon une distribution catégorielle ayant une distribution *a priori* non informative de Dirichlet. Les distributions *a priori* choisies pour initier le modèle, de type "non informatives", reflète notre ignorance sur les paramètres estimés : $\Omega \sim \text{Uniforme}(0,1)$; $\mu_{\alpha 0}, \mu_{\beta 0}, \mu_{\beta 1}, \mu_{\beta 2}, \mu_{\beta 3}, \mu_{\beta 4}, \mu_{\beta 5}, \mu_{\beta 6}, \mu_{\beta 7}, \mu_{\beta 8}, \mu_{\beta 9}, \mu_{\beta 10}, \mu_{\beta 11} \sim \text{Normal}(0,100)$; $\sigma_{\alpha 0}, \sigma_{\beta 0}, \sigma_{\beta 1}, \sigma_{\beta 2}, \sigma_{\beta 3}, \sigma_{\beta 4}, \sigma_{\beta 5}, \sigma_{\beta 6}, \sigma_{\beta 7}, \sigma_{\beta 8}, \sigma_{\beta 9}, \sigma_{\beta 10}, \sigma_{\beta 11} \sim \text{Uniforme}(0,10)$ [GELMAN, 2006].

Seuls huit sites de la présente étude, apportant un nombre conséquent de pelotes ont été analysés pour ce mémoire. Le logiciel JAGS et R2jags Ver. 0.03-06 [YU-SUNG et MASANAO, 2012] a été utilisé. Une librairie R Ver. 2.15.1. [RCORE TEAM, 2012] a été nécessaire pour adapter le modèle. Trois chaînes ont été lancées avec 100 000 simulations (les 50 000 premières ont été écartées), et affinées toutes les 20 simulations, obtenant ainsi 15 000 simulations. Ces 15 000 simulations permettent d'estimer les paramètres du modèle. La convergence du modèle a été évaluée en utilisant "R chapeau" (test statistique de GELMAN-RUBIN).

2.3.3 – ESTIMATION DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DES ESPÈCES.

2.3.3.1 – ESTIMATION DES PARAMÈTRES DE DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION

Si l'estimation de l'occupation et de la richesse spécifique est possible à l'échelle spatiale, il est également possible d'estimer des paramètres de dynamique de communautés à l'échelle temporelle entre deux intervalles de temps. Grâce à l'estimation de l'occupation des sites avec le modèle précédent, il est possible d'estimer les changements dans la composition des communautés entre le temps t et $t + 1$ [NICHOLS *et al.*, 1998 ; ROYLE et KERY, 2007 ; ROYLE et DORAZIO, 2008 ; DORAZIO *et al.*, 2010]. Pour modéliser les changements d'occupation (z_{ij}) du site j par l'espèce i il est admis que celle-ci dépend de l'occupation au temps t sous la forme :

$$z_{ij,t+1} \sim \text{Bernoulli}(\psi_{ij,t+1}), \text{ avec}$$

$$\psi_{ij,t+1} = \phi_{ij,t}z_{ij,t} + (1-z_{ij,t})\gamma_{ij,t}$$

ou $\gamma_{ij,t} = P(z_{ij,t+1}=1 | z_{ij,t}=0)$, c'est-à-dire la probabilité conditionnelle que le site j , qui n'était pas occupé par l'espèce i à t , est nouvellement occupé par celle-ci au temps $t+1$. γ correspond à la colonisation locale et $\phi_{ij,t}=P(z_{ij,t+1}=1 | z_{ij,t}=1)$ correspond à la probabilité conditionnelle qu'une espèce i présente dans le site j au temps t est toujours présente à $t+1$, ce qui traduit la survie locale. L'extinction locale (ξ) étant le corollaire de la survie (ϕ), soit $\xi_{ij,t} = 1 - \phi_{ij,t}$, elle se déduit du paramètre précédent.

Afin de comparer la composition des communautés entre deux intervalles de temps (étude de 2003 et de 2012) sur un même site, l'index de similarité de JACCARD a été utilisé. Le calcul de cet index a été effectué à partir de chaque estimation de la distribution postérieure de la matrice d'incidence du modèle d'occupation décrit plus haut. Plus précisément, chaque simulation (15000) issue de l'échantillonnage de la distribution postérieure de la matrice d'incidence a permis de calculer pour chaque site 15 000 valeurs d'index [DORAZIO *et al.*, 2010].

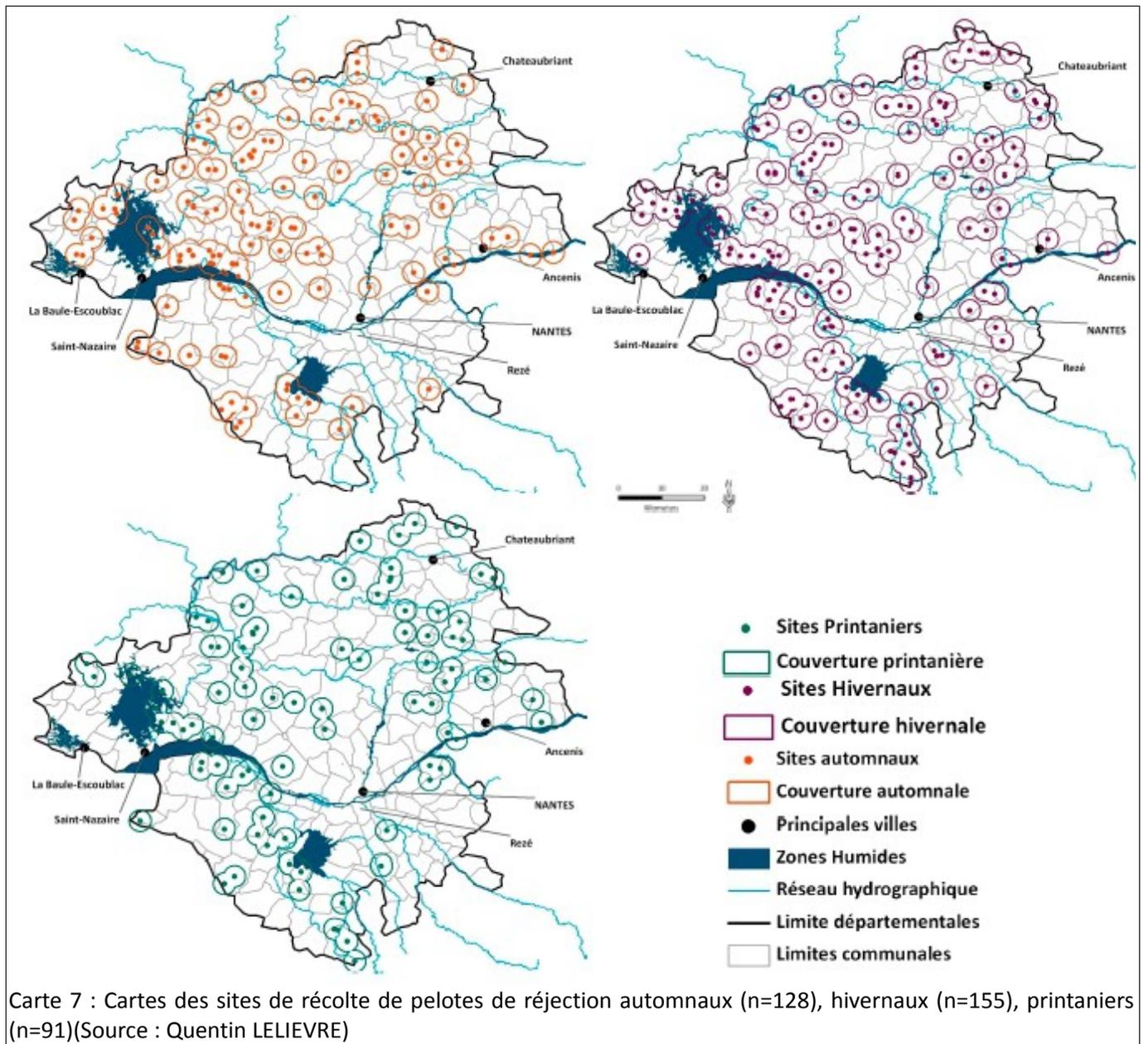


Tableau 5 : Synthèse des espèces de micromammifères.

Espèces	Observées	Présentes	Probables
<i>Sciurus vulgaris</i>		*	
<i>Elyomys quercinus</i>		*	
<i>Muscardinus avellanarius</i>		*	
<i>Myodes glareolus</i>	*	*	
<i>Apodemus sylvaticus</i>	*	*	
<i>Apodemus flavicollis</i>			*
<i>Mus musculus domesticus</i>	*	*	
<i>Rattus rattus</i>	*	*	
<i>Arvicola sapidus</i>	*	*	
<i>Ondrata zibethicus</i>		*	
<i>Myocastor coypus</i>		*	
<i>Sorex coronatus</i>	*	*	
<i>Sorex minutus</i>	*	*	
<i>Neomys fodiens</i>	*	*	
<i>Neomys anomalus</i>			*
<i>Microtus arvalis</i>	*	*	
<i>Microtus agrestis</i>	*	*	
<i>Microtus subterraneus</i>	*	*	
<i>Microtus pyrenaicus gerbei</i>	*	*	
<i>Micromys minutus</i>	*	*	
<i>Erinaceus europaeus</i>		*	
<i>Talpa europaea</i>	*	*	
<i>Crocidura russula</i>	*	*	
<i>Crocidura suaveolens</i>	*	*	
<i>Crocidura leucodon</i>			*
<i>Rattus norvegicus</i>	*	*	

Tableau 6 : Récapitulatif des proies identifiées et comparaison avec TOUZALIN [2003].

Nom	N	%	N [2003]	% [2003]	≠
<i>Microtus arvalis</i>	7416	59,42%	14528	48,66%	10,76%
<i>Microtus agrestis</i>	508	4,07%	1280	4,29%	-0,22%
<i>Microtus subterraneus</i>	135	1,08%	279	0,93%	0,15%
<i>Microtus pyrenaicus gerbei</i>	2	0,02%	10	0,03%	-0,01%
<i>Arvicola sapidus</i>	1	0,01%	38	0,13%	-0,12%
<i>Myodes glareolus</i>	285	2,28%	392	1,31%	0,97%
<i>Apodemus sylvaticus</i>	1893	15,17%	2093	7,01%	8,16%
<i>Mus musculus domesticus</i>	28	0,22%	161	0,54%	-0,32%
<i>Micromys minutus</i>	345	2,76%	1597	5,35%	-2,59%
<i>Rattus norvegicus</i>	20	0,16%	115	0,39%	-0,23%
<i>Rattus rattus</i>	1	0,01%	4	0,01%	0,00%
<i>Sorex coronatus</i>	540	4,33%	2381	7,97%	-3,64%
<i>Sorex minutus</i>	91	0,73%	329	1,10%	-0,37%
<i>Neomys fodiens</i>	4	0,03%	94	0,31%	-0,28%
<i>Crocidura russula</i>	1048	8,40%	4995	16,73%	-8,33%
<i>Crocidura suaveolens</i>	4	0,03%	0	0,00%	0,03%
<i>Talpa europaea</i>	3	0,02%	27	0,09%	-0,07%
Oiseaux	21	0,17%	288	0,96%	-0,79%
Anoues	34	0,27%	520	1,74%	-1,47%
Insectes	24	0,19%	285	0,95%	-0,76%
Indeterminés	77	0,62%	424	1,42%	-0,80%
TOTAL	12480	100,00%	29840	100,00%	

3 – RÉSULTATS

Les résultats de cette étude seront donnés sur plusieurs niveaux. Une première partie concerne les intérêts et limites apportés par la méthode à avoir en tête pour la lecture des résultats. Une deuxième partie traite succinctement de la répartition réelle des espèces. La suite des résultats conduira à établir la répartition estimée des espèces dans le département sur la base des résultats des calculs d'abondance, de diversité et de probabilité d'occurrence de chaque espèce. La dernière partie conclura avec l'étude de l'évolution décennale de ces résultats (colonisation, extinction et survie), en comparaison avec les résultats obtenus par TOUZALIN [2003].

3.1 – GÉNÉRALITÉS

Un minimum de 458 sites a été prospecté jusqu'à aujourd'hui. Sur la période automnale (septembre à décembre), environ 128 sites contenaient du matériel frais, 155 sites sur la période hivernale (janvier à avril), et 91 sur la période printanière (avril à juillet)(cf. Carte 7). Une diminution de la taille du territoire de chasse de l'Effraie pendant la reproduction peut amener les couples à délaisser certains sites de réjection trop éloignés, ou situés dans des secteurs pauvres en proies [VALLEE, 1999], et, par voie de conséquence, être responsable de la diminution du nombre de sites de collecte au printemps.

Sur la période protocolaire, environ un minimum de 4130 pelotes ont été analysées pour un total d'environ 12350 proies identifiées, dont 77 proies classées *sp.* et 79 autres que mammifères (oiseaux, insectes, anoures...). La richesse spécifique est de 17 espèces de micromammifères inventoriées sur les 23 actuellement trouvées en Loire-Atlantique (cf. Tableau 5). Une rapide comparaison avec les résultats de TOUZALIN [2003], issus de l'analyse de 7000 pelotes et l'identification de 29 000 proies, montre d'emblée quelques différences notables (cf. Tableau 6). Les résultats révèlent une très forte augmentation des effectifs de deux espèces très communes (*M.arvalis* et *A.sylvaticus*), et, une baisse notable d'espèces moins communes (*M.minutus* et *S.coronatus*). Il est important de noter l'apparition d'une espèce rare, *C.suaveolens*, avec 4 *calvaria* identifiés contre aucun en 2003 lors du précédent inventaire. Toutefois, il est patent par exemple, que *C.russula*, pourtant très commune, subit une baisse de 8,5 %.

3.2.1 – RÉPARTITION PAR SITE

Pour chacune des espèces inventoriées, une carte de répartition de type présence/absence a été réalisées. L'ensemble de ces cartes de répartition ainsi que les suivantes sont regroupées dans un recueil cartographique joint à ce mémoire.

3.3 – ESTIMATION DE LA RICHESSE SPÉCIFIQUE

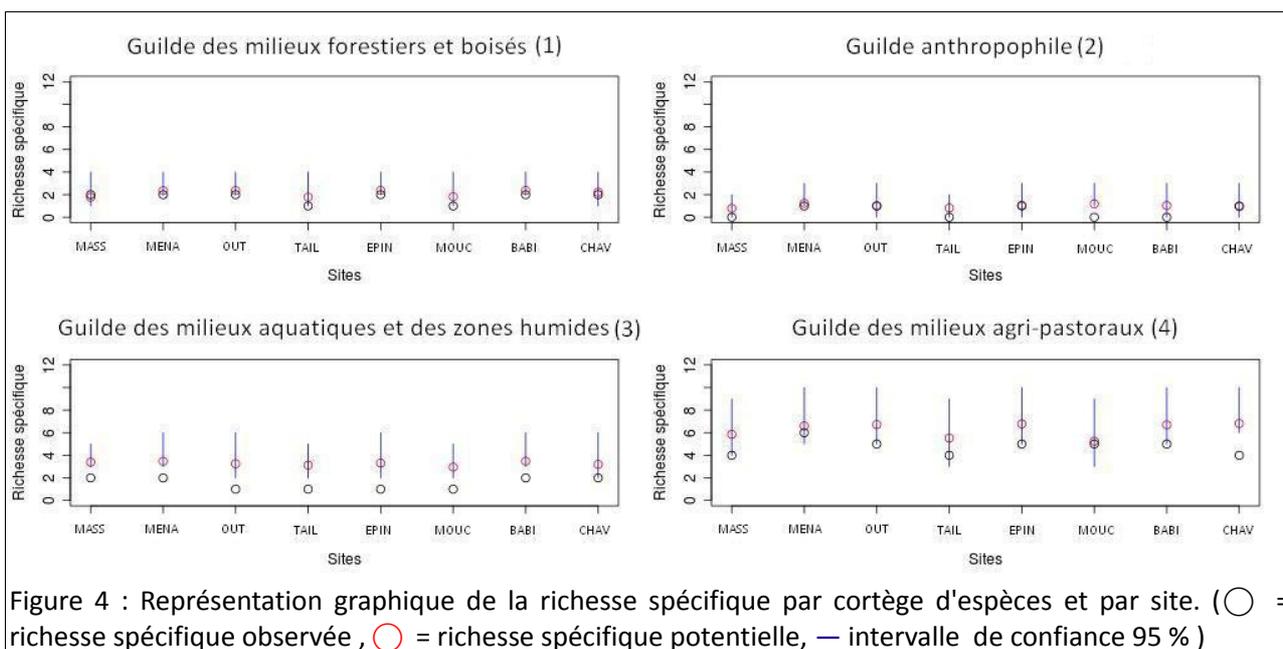
3.3.1 – RICHESSE SPÉCIFIQUE DES 8 SITES ÉTUDIÉS

La première analyse de richesse spécifique concerne l'ensemble des huit sites utilisés pour le calcul des probabilités d'occurrence des espèces (cf. figure 3). La richesse spécifique observée va de 6 espèces pour le site de TAIL jusqu'à 11 pour le site de MENA. Viennent ensuite dans l'ordre : le site de MOUC avec 7 espèces, le site de MASS avec 8 espèces et enfin les sites d'OUT, d'EPIN, de BABI, de CHAV avec 9 espèces. La richesse spécifique estimée par site ne dépasse pas les 14 espèces sur les 26 potentiellement présentes. Pour chacun des huit sites, la richesse estimée gagne en moyenne 4 espèces supplémentaires.

3.3.2 – RICHESSE SPÉCIFIQUE DES CORTÈGES D'ESPÈCES PAR SITE

Parallèlement, la richesse spécifique a été estimée pour chacun des cortèges micromammalogiques définis précédemment (cf tableau 4 et figure 4).

Dans le cortège des espèces de milieux forestiers et boisés, seulement une à deux des six espèces listées sont présentes avec un écart à la richesse estimée très faible, allant de zéro à une espèce non détectée. Ce qui révèle un très bon échantillonnage de ce cortège dans l'ensemble des sites. Dans le cortège des espèces anthropophiles, le nombre d'espèces retrouvées va de zéro à un et aucun des sites ne regroupe la totalité des deux espèces de ce cortège. Là aussi, l'écart avec l'estimation est faible et traduit un bon échantillonnage du cortège. Au sein du cortège des espèces des milieux aquatiques et des zones humides, la moitié des sites ne contient qu'une seule des sept espèces listées et l'autre moitié seulement deux. Les écarts avec la richesse estimée sont plus importants avec la non-détection de une à deux espèces, et aucun site n'atteint la richesse spécifique estimée. Le cortège des espèces des milieux agri-pastoraux présente la plus forte hétérogénéité. Le nombre d'espèces détectées va de quatre à six sur les onze que compte le cortège. Les sites de MENA et de MOUC contiennent presque toutes les espèces potentiellement présentes en atteignant presque leur richesse estimée. Le site de CHAV est le site pour lequel le cortège 4 est le moins bien échantillonné avec la non-détection de trois espèces.



3.4 – PROBABILITÉS D'OCCURRENCE DES ESPÈCES PAR VARIABLE

L'objectif poursuivi ici était d'estimer la probabilité d'occurrence des espèces de micromammifères identifiées en fonction des 11 variables environnementales (cf § 2.2.2.2). Pour chaque espèce sera présentée l'évolution de sa probabilité d'occurrence avec l'augmentation de la superficie ou de la longueur des descripteurs environnementaux retenues. La variables LRC (Longueur Route et Chemin) n'a pas été utilisée dans les analyses, les couches SIG nécessaires aux calculs n'ayant pu être obtenues.

Avertissement : dans les graphiques et commentaires suivants, un certain nombre de variables ne sont pas significatives en raison des limites du présent exercice, évoquées *supra* (durée du stage, nombre de proies, nombre de sites... limités par rapport aux exigences d'une étude complète). Néanmoins, nous les avons maintenues dans la démonstration à des fins didactiques et dans l'optique de la poursuite ultérieure de l'étude.

LONGUEUR DE COURS D'EAU (LCE) :

Pour les espèces *M.arvalis*, *M.agrestis*, *M.subterraneus*, *A.sylvaticus*, *M.minutus*, *S.coronatus* et *C.russula*, la probabilité d'occupation est maximale (1) peu importe la longueur de cours d'eau présente (cf. Annexe IV-a). Pour *M.musculus*, la probabilité d'occupation est initialement forte (~ 0.6) même lorsque la longueur de cours d'eau est nulle et augmente progressivement pour atteindre la probabilité maximale lorsque la longueur de cours d'eau est d'environ 60 km. Pour *R.norvegicus*, la probabilité d'occupation de 0.6 pour 1 km de cours d'eau augmente progressivement pour atteindre son maximal aux environs de 80 km de linéaire. Quant aux espèces *M.glareolus* et *S.minutus*, leur probabilité d'occupation augmente de manière exponentielle avec l'accroissement de la longueur en cours d'eau. *M.glareolus* semble nécessiter plus de linéaires de cours d'eau pour atteindre sa probabilité maximale (65 km) que *S.minutus* (45). La seule espèce dont la probabilité d'occupation décroît avec l'augmentation de la longueur de cours d'eau est *A.sapidus*.

SURFACE EAU LIBRE (SEL)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus* et *M.glareolus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface en eau présente (cf. Annexe IV-b). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation diminue régulièrement avec l'augmentation de la surface en eau, pour aller de 0.8 pour 0 ha en eau, jusqu'à 0.1 pour 50 ha en eau. L'augmentation de la surface en eau a un impact fortement positif sur *M.glareolus* puisque sa probabilité d'occupation passe de 0.3 pour 1 ha jusqu'à 1, passé le seuil des 40 ha.

SURFACE DE MARAIS PERMANENT (SMP)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus*, *M.glareolus* et *R.norvegicus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface de marais permanent (cf. Annexe IV-c). Pour les espèces *M.glareolus* et *R.norvegicus* l'évolution de la probabilité d'occupation présente le même *pattern* général, c'est-à-dire qu'elles augmentent progressivement sans atteindre la probabilité maximale, même lorsque la maille est entièrement recouverte de marais permanent. La réaction de *A.sapidus* n'est différente qu'avec les variables LCE et SEL. Ici, sa probabilité d'occupation augmente progressivement avec l'augmentation des surfaces en marais pour passer de 0.1 pour 1 ha de marais à un peu plus de 0.2 pour 100 ha.

SURFACE DE PRAIRIE INONDABLE (SPI)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface de prairies inondables (cf. Annexe IV-d). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation augmente de manière exponentielle pour atteindre son niveau maximal (0.8) lorsque la surface en prairies inondables atteint 100 ha.

SURFACE TOUJOURS EN HERBE (STH)

Pour toutes les espèces, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9) peu importe la surface toujours en herbe (cf. Annexe IV-e). Pour les espèces *M.arvalis*, *M.agrestis*, *A.sylvaticus*, *M.minutus*, *S.coronatus* et *C.russula*, cette probabilité augmente légèrement avec l'augmentation de la variable alors qu'elle diminue sensiblement pour *A.sapidus*.

SURFACE DE CULTURE INTENSIVE (SCI)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *M.subterraneus*, *M.glareolus*, *R.norvegicus* et *S.minutus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface de cultures intensives (cf. Annexe IV-f). La probabilité d'occupation de *M.subterraneus* augmente fortement et de manière linéaire avec l'augmentation des surfaces conduites intensivement. Il en est de même pour *R.norvegicus* et *S.minutus*, mais de manière plus sensible. Cette dernière est initialement moins abondante avec une probabilité de 0.2 contre presque 0.4 pour *M.subterraneus* et 0.7 pour *R.norvegicus*. *M.glareolus* est quand à lui absent, avec une probabilité égale à zéro, peu importe la surface en culture intensive.

SURFACE DE VIGNE (SV)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus* et *R.norvegicus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface de vignes (cf. Annexe IV-g). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation, initialement de 0.4 pour 1 ha de vignes, diminue sensiblement avec l'augmentation de la variable. A l'inverse, cette probabilité augmente fortement pour l'espèce *R.norvegicus* qui atteint sa probabilité d'occupation maximale (0.9) lorsque les vignes représentent 50 ha.

SURFACE BOISÉE (SB)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus*, *R.norvegicus*, *M.glareolus*, *M.musculus* et *S.minutus* la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface boisée (cf. Annexe IV-h). Pour *M.musculus*, *A.sapidus* et *M.glareolus*, leur probabilité d'occupation augmente de manière exponentielle. Cette augmentation est plus rapide chez *M.musculus*. A contrario, pour l'espèce *S.minutus*, sa probabilité subit une diminution exponentielle avec l'augmentation de la surface boisée.

LISIÈRE DE SURFACE BOISÉE (LSB)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus* et *R.norvegicus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la longueur de linéaires boisées (cf. Annexe IV-i). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation augmente de manière exponentielle à partir de 30 km de lisères boisées. Concernant *R.norvegicus*, sa probabilité initialement de 0.8 augmente progressivement pour atteindre son niveau maximal pour 100 km de lisères boisées.

SURFACE DE CULTURE MARAÎCHÈRE (SCM)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus* et *R.norvegicus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface de cultures maraîchères (cf. figure 14). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation augmente de manière rapide et progressive. Concernant *R.norvegicus*, sa probabilité initialement de 0.7 augmente progressive pour atteindre son niveau maximal pour 50 ha de surface en maraîchage.

SURFACE HABITÉE (SH)

Pour toutes les espèces, à l'exception de *A.sapidus*, *R.norvegicus*, *M.glareolus*, la probabilité d'occupation est maximale (1) ou presque (0.9), peu importe la surface habitée (cf. figure 15). Pour *A.sapidus*, sa probabilité d'occupation subit une diminution exponentielle avec l'augmentation de la variable pour être nulle lorsque les 200 ha de surfaces habitées sont atteints. Concernant *R.norvegicus* et *M.glareolus*, leur probabilité initialement de 0.7 et 0.6 respectivement, augmente progressivement pour atteindre leur niveau maximal pour 200 ha de surface habitée.

3.5 – DYNAMIQUE DE POPULATION (COLONISATION, SURVIE, SIMILARITÉ...)

Les probabilités présentées dans cette partie vont permettre d'évaluer l'évolution des communautés entre l'étude menée en 2003 par TOUZALIN et celles récoltées dans le cadre de cette étude jusqu'à présent. La comparaison n'a été possible que sur les trois sites communs aux deux études (CHAV, OUT et MASS).

3.5.1 – SURVIE LOCALE

Les résultats présentés dans la figure 5 révèlent que *R.norvegicus* a la probabilité de survie la plus faible (0.5), et ce dans les trois sites. Mis à part *R.norvegicus*, seules les espèces moins communes et plus sensibles (*A.sapidus*, *M.subterraneus*, *M.musculus* et *S.minutus*) ont une survie plus faible, avec toutefois quelques différences locales.

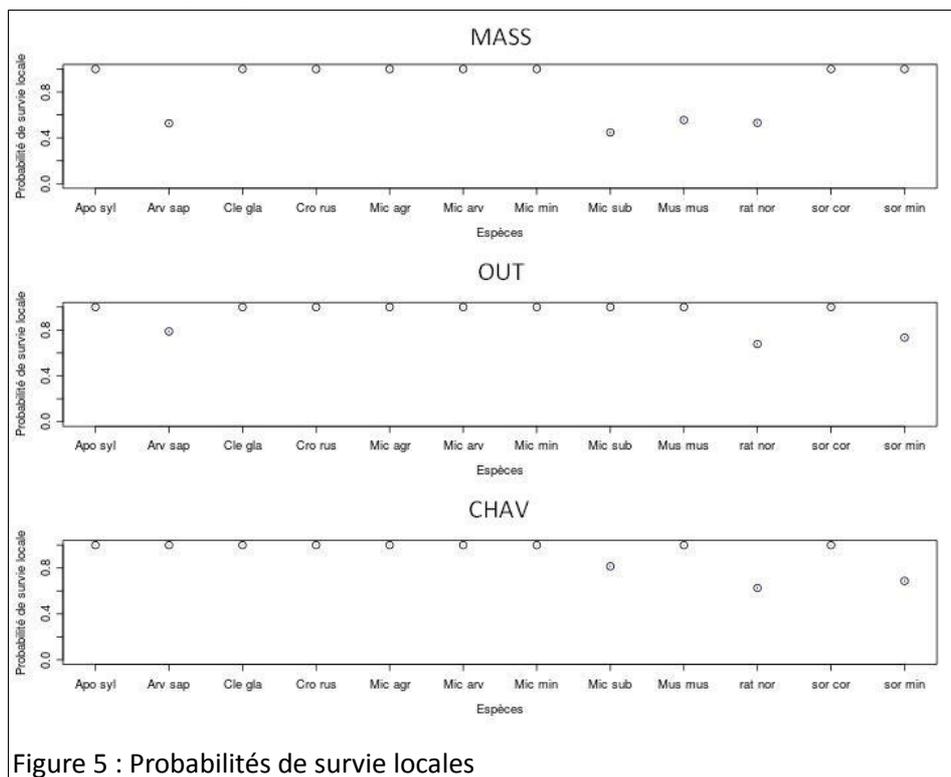


Figure 5 : Probabilités de survie locales

3.5.2 – COLONISATION LOCALES

Les résultats sont présentés dans la figure 6. Pour les trois sites et l'ensemble des espèces, la probabilité de colonisation d'un site est similaire avec une probabilité moyenne de 0.5 et un écart type compris entre 0 et 1.

3.5.3 – SIMILARITÉ DES COMMUNAUTÉS

L'indice de similarité de Jaccard permet de synthétiser l'évolution des communautés de micromammifères sur le pas de temps de 10 ans. De manière générale, la composition des communautés a fortement évolué sur la période étudiée si l'on considère l'ensemble des espèces potentiellement présentes dans les 3 sites, avec des valeurs moyennes estimées de l'indice comprises entre 0.5 et 0.6 (cf. figure 7). Mais, si l'on ne tient compte que des espèces observées par l'analyse des pelotes proprement dites, l'évolution des communautés est alors nettement moins marquée pour les sites de MASS et de OUT, avec des valeurs comprises cette fois entre 0.8 et 0.9. En revanche, le site 93 présente des indices similaires proches de 0.6.

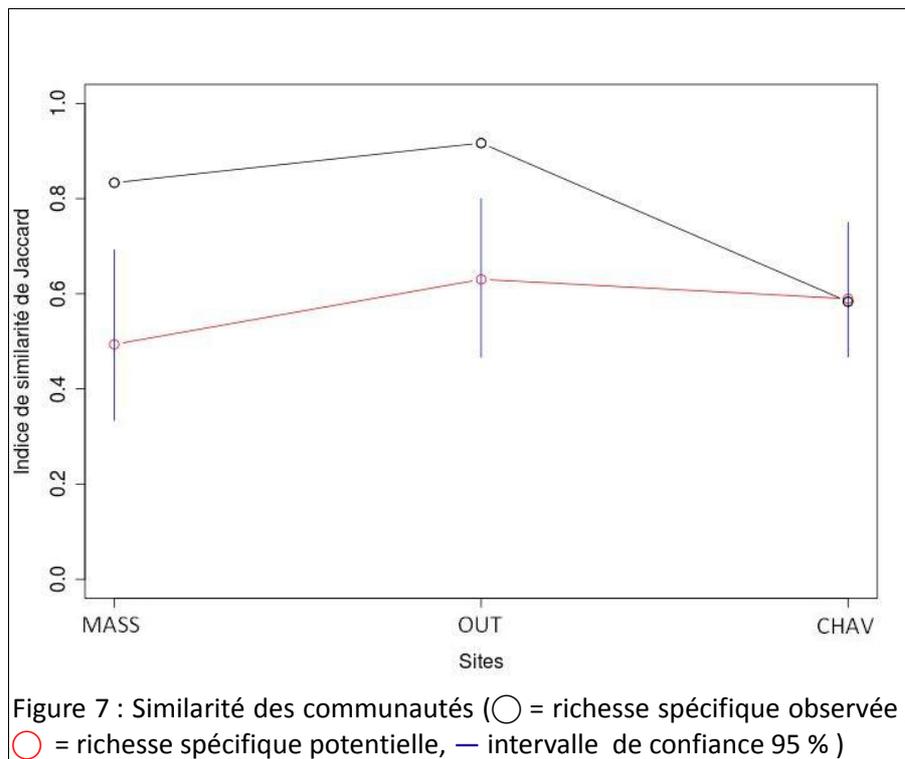


Tableau 7 : Détail des richesses spécifiques par site.

Espèces	MASS	MENA	OUT	TAIL	EPIN	MOUC	BABI	CHAV
<i>Apodemus sylvaticus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Arvicola sapidus</i>								*
<i>Crocidura russula</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Microtus agrestis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Microtus arvalis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Micromys minutus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Microtus subterraneus</i>		*	*		*		*	
<i>Mus musculus domesticus</i>		*	*		*			*
<i>Myodes glareolus</i>	*	*	*		*		*	*
<i>Rattus norvegicus</i>		*				*		
<i>Sorex coronatus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Sorex minutus</i>	*	*					*	

4 – DISCUSSION

Cette étude sur les micromammifères de Loire-Atlantique se limite à l'analyse des pelotes de réjection de l'Effraie des clochers, ce qui implique que tous les résultats doivent être strictement interprétés comme le produit de la prédation de cette Chouette. Il faut donc toujours garder à l'esprit que les données sont issues des captures faites par le rapace nocturne au cours de ses déplacements.

4.1 – ANALYSES DES RICHESSES SPÉCIFIQUES

RICHESSE SPÉCIFIQUE DES SITES ÉTUDIÉS

Dans l'analyse de la richesse spécifique des sites étudiés, le site qui présente la plus forte richesse est le site de MENA avec 11 espèces (cf. tableau 7). Ce site briéron offre une grande diversité de milieux humides, essentiellement de type palustre, à différents stades de fermetures et au sein desquels se trouvent des îles habitées et en partie exploitées (gagneries, jardins, pâtures) : cf § 2.2.2.3. La presque totalité des espèces classiques inventoriées (14) y est présente, à l'exception des espèces rares et de certaines espèces pourtant inféodées aux milieux humides (*N.fodiens* et *A.sapidus*) qui devraient y être retrouvées.

Le site de TAIL présente la plus faible richesse spécifique avec seulement 6 espèces sur les 17 recensées dans le département. Toutes les espèces trouvées sont assez banales et peu représentatives du caractère humide de ce site de l'estuaire de la Loire, qui renferme une surface importante de marais et de prairies inondables. Seule la forte abondance de *S.coronatus* et de *M.minutus* reflète la présence de prairies humides et l'existence de végétation hygrophile (*Phragmites australis* en particulier). La présence de nombreux faciès prairiaux non inondés et de haies dans une partie du site pouvait laisser espérer la présence ou une plus forte abondance d'autres espèces communes telles que *M.agrestis*, *R.norvegicus*, *M.subterraneus* et *M.glareolus*, bien que le petit nombre et la faible superficie de boisements peuvent peut-être expliquer la relative banalité du peuplement.

Le site de MOUC situé dans le vignoble Nantais révèle une richesse spécifique moyenne de 7 espèces. Là aussi, toutes les espèces retrouvées sont assez communes et banales. Bien que la matrice paysagère du site soit principalement composée de vignes et de cultures maraîchères, inhospitalières pour la microfaune, la présence de *S.coronatus* et *M.minutus* peut s'expliquer par la présence de petites vallées et pièces d'eau, ainsi que par la nature bocagère du paysage à l'est du site.

Les autres sites présentent tous une richesse spécifique comprise entre 8 et 9 espèces et sont bocagers pour la presque totalité d'entre eux, à l'exception du site de MASS situé dans les prés-marais de la Basse-Loire Sud. La forte hétérogénéité des paysages au sein de ces sites peut expliquer leur richesse spécifique qui sans être extraordinaire, est plus élevée. Là aussi, l'absence de *N.fodiens* et de *A.sapidus* dans le site de MASS, malgré l'abondance de milieux humides (Loire, fossés, étiers, douves, mares...) est étonnante.

Toutefois, l'estimation de la richesse spécifique moyenne révèle un sous-échantillonnage de 4 espèces en moyenne par site, et fait ressortir l'un des biais d'échantillonnage apportés par la Chouette effraie.

RICHESSSE SPÉCIFIQUE DES CORTÈGES D'ESPÈCES PAR SITE

Le nombre d'espèces observées par cortège et par site est bien en deçà du nombre total d'espèces préalablement listées par guildes théoriques (cf. tableau 8). Cela tient au fait qu'il est impossible d'exclure arbitrairement une espèce du régime alimentaire de la Chouette effraie. Par conséquent, les cortèges regroupent une liste exhaustive d'espèces. Certaines espèces incluses dans les cortèges proposés le sont en raison de leur distribution géographique jouxtant la Loire-Atlantique, alors que leur présence n'est toutefois pas prouvée dans le département. Sur les vingt-six espèces notées, seulement quatorze ont été réellement inventoriées.

Le cortège des espèces des milieux forestiers et boisés regroupe six espèces, mais seulement deux ont été identifiées dans les pelotes de réjection (*M.glareolus* et *A.sylvaticus*). L'une d'entre elles, *A.flavicollis*, n'a jamais été citée dans le département jusqu'à présent. Certaines espèces ne sont prédatées par l'Effraie que dans de très rares fois, c'est le cas de *S.vulgaris*, *M.avellanarius* et *E.querminus*. Par conséquent, l'ensemble des sites étudiés contiennent la presque totalité des espèces observées de ce cortège.

Le cortège des espèces anthropophile qui concerne les espèces anthropophiles, ne regroupe que deux espèces (*R.rattus* et *M.m.domesticus*). Ces deux proies n'ont qu'une occurrence très faible dans les pelotes. En cause, la grande rareté départementale de *R.rattus* et les rares populations de *M.m.domesticus* dans le milieu naturel [SAINT-GIRONS *et al.*, 1988]. La plupart des Souris domestiques capturées le sont à proximité ou à l'intérieur de l'endroit choisi par l'Effraie pour ses réjections.

Le cortège des espèces des milieux aquatiques et des zones humides apparaît être le moins bien échantillonné. Aucun site ne dépasse deux espèces observées sur les sept qui comptent le cortège. Plusieurs raisons peuvent probablement expliquer la faible richesse spécifique observée et estimée. En particulier la présence dans la guildes proposée, d'une espèce non découverte pour le moment dans le département (*N.anomalus*), la présence de deux espèces capturées à titre exceptionnel par l'oiseau (*O.zibethicus* et *M.coypus*). *N.fodiens*, *A.sapidus* et *S.minutus* sont des espèces bien connues dans le département, mais leur capture en faible abondance par la Chouette effraie induit le sous-échantillonnage de ce cortège.

Le dernier cortège regroupe la plupart des espèces ubiquistes et présente la plus forte hétérogénéité entre les sites. Là aussi, sur les onze espèces listées, une espèce n'est pas découverte actuellement dans le département (*C.leucodon*), deux sont très rares en raison du contexte biogéographique du département (*M.p.gerbei* et *C.suaveolens*) et deux très faiblement capturées par l'Effraie (*E.europaeus* et *T.europaea*). Sur les huit espèces bien représentées dans le département, seuls les sites 2 (MENA) et 6 (MOUC) regroupent la presque totalité de ces espèces. Le site 8 (CHAV) présente l'écart le plus important entre la richesse spécifique observée et celle estimée, expliqué en partie par l'absence de *M.subterraneus* et *R.norvegicus*, espèces pourtant communes. L'absence de *M.subterraneus* dans le site de CHAV, site de physionomie propice à l'espèce, n'est pas sans raison. Ce site est situé en effet en limite méridionale de l'aire de répartition de *M.subterraneus*, qui ne dépasse pas la Loire.

4.2 - PROBABILITÉS D'OCURRENCE DES ESPÈCES PAR VARIABLE

De manière générale, les résultats obtenus ne sont qu'assez peu représentatifs des exigences connues des espèces de micromammifères étudiées.

Mais le faible nombre de sites retenus pour la présente analyse et le faible nombre d'espèces associées à l'homogénéité relative des sites conduisent à des difficultés de convergence du modèle. En effet, de nombreux paramètres ne sont pas identifiables (ex : *A.sapidus* n'est trouvé que dans un seul site où 4 variables environnementales sont non représentées, ce qui rend ces paramètres non estimables dans le cadre du modèle).

De manière plus précise, en ce qui concerne *A.sapidus*, espèce inféodée aux rives et berges de ruisseaux, d'étangs et de marais, sa probabilité d'occurrence aurait dû augmenter en proportion du linéaire de cours d'eau et de rives des pièces d'eau libre, et non diminuer comme c'est le cas ici. Toutefois, l'augmentation de sa présence avec l'accroissement de la surface en marais permanents et en prairies inondables est pertinente et rejoint les résultats trouvés par TOUZALIN [2003]. La donnée unique de *A.sapidus* dans le site de CHAV, pauvre en zones humides en comparaison des autres sites situés en bord de Loire (MASS, TAIL, MENA), explique la contradiction qui apparaît entre les inférences statistiques et la réalité micromammalogique.

D'autres espèces comme *M.arvalis* et *C.russula*, très présentes dans le département, sont connues pour leur amplitude écologique et leur présence habituelle dans les milieux secs, ouverts, voire dégradés, souvent touchés par l'intensification agricole. On pourrait toutefois s'attendre à une diminution de leur probabilité d'occupation avec l'augmentation des surfaces forestières, et secondairement des linéaires boisés et des milieux humides permanents.

L'inverse se retrouve pour les espèces liées à la présence de milieux boisés et d'un maillage bocager important, telle que *M.subterraneus*, *M.agrestis* et *A.sylvaticus*. Dans les résultats de cette étude, ces espèces ont des probabilités d'occupation maximales dans les milieux pourtant inhospitaliers tels que les cultures intensives (SCI), les surfaces de cultures maraîchères (SCM) et de vignes (SV). Des espèces comme *S.coronatus* et *S.minutus* dont la présence est fortement liée à une hydromorphie importante, se retrouvent également dans ces milieux.

La presque totalité des espèces présentent une probabilité d'occupation forte dans les milieux urbanisés (SH) très défavorables à la présence d'une forte diversité en micromammifères. Théoriquement, seules des espèces comme *M.musculus* et *R.rattus* devraient présenter une forte abondance dans ces milieux.

Ces résultats apparemment étonnants peuvent s'expliquer par la nature commune et banale de la majorité de ces espèces, et par la superficie importante des territoires de chasse de l'Effraie échantillonnés (~1900 ha) qui ne permettent pas une approche suffisamment fine pour faire ressortir les affinités théoriquement attendues. Le faible nombre de sites utilisés pour caractériser les paramètres de distribution de chaque espèce n'est pas suffisamment important pour appréhender la diversité des réponses de ces espèces à tous les types d'habitats (cf. *A.sapidus*). Les écarts calculés entre l'effet moyen des variables et les intervalles de confiance à 95 % sont très importants, et ce pour une grande majorité des espèces et des variables. Ils traduisent les limites exposées ci-dessus.

4.3 – DYNAMIQUE DE POPULATION

La comparaison des communautés des 3 sites à 10 ans d'intervalle met en évidence, de manière attendue, une probabilité de survie locale élevées (proche de 1) pour les espèces communes parmi les 12 espèces observées.

En ce qui concerne la similarité, l'écart entre les valeurs observées et estimées pour les sites 105 et 2, montre l'importance de tenir compte des espèces non détectées dans la dynamique des communautés. En effet, les espèces observées, banales et euryèces, ont une dynamique stable qui ne permet pas d'identifier les variations au sein des communautés. Aussi, l'indice observé est proche de 1, soit de la similarité, ce qui est remis en cause par l'estimation (indice proche de 0.5).

L'analyse des probabilités de survie, de colonisation et l'indice de similarité calculés sur les trois sites communs aux analyses de 2003 et 2012 révèlent donc une évolution forte de la composition des communautés de micromammifères. Ces changements s'observent principalement pour certaines espèces, en particulier *A.sapidus*, *R.norvegicus*, *M.musculus*, *M.subterraneus* et *S.minutus*.

La première source d'explication est donnée par la nature des espèces. Certaines de ces espèces sont assez peu communes et sensibles (*A.sapidus*). D'autres sont "rares" simplement en raison de leur faible capturabilité par la Chouette effraie : c'est le cas de *R.norvegicus*, *M.musculus* et *M.subterraneus*, espèce pourtant assez communes par ailleurs dans le département.

L'autre source d'explication reste là encore représentée par le faible nombre total de proies identifiées par site en comparaison aux données de 2003 par TOUZALIN. Dans son étude, un nombre moyen de 500 proies avait été identifié par site contre environ 300 pour celle-ci.

4.4 – APPROCHE DE LA RÉPARTITION DES ESPÈCES

Les commentaires suivants font référence au recueil cartographique joint au présent rapport.

ARVICOLA SAPIDUS

A la différence des résultats de la précédente étude [TOUZALIN, 2003], durant laquelle 38 identifications avaient été effectuées, une seule donnée a été obtenue à ce jour pour cette espèce en 2012. Cette situation ne traduit en rien la réalité de la distribution et de la démographie d'*A.sapidus* en Loire-Atlantique. De ce point de vue, la carte des probabilités d'occurrences illustre de façon plus recevable la situation actuelle de l'espèce (cf. enquête *A. sapidus* SFEPM en cours), à ceci près que le site dans lequel elle a été trouvée est dominé par des vallons boisés et des surfaces cultivées rendant l'exploitation des autres variables non efficientes. La carte départementale en subit les conséquences, ce qui amène à nuancer l'illustration cartographique obtenue par la méthode adoptée ici.

A. SYLVATICUS, C. RUSSULA, M. AGRESTIS ET M. ARVALIS

Comme en 2003, ces 4 espèces sont très présentes sur tout le département (données observées) et dominant en effectifs les lots analysés, ce qui est conforme à la réalité micromammalogique du département. Malgré quelques différences relatives aux caractéristiques des niches écologiques de chacune d'entre elles, ces 4 espèces occupent une grande diversité de milieux, illustrée par les variables environnementales utilisées ici. Leur distribution départementale s'en trouve largement confortée.

Dans cette étude, leur probabilité d'occurrence semble être influencée de façon équivalente par les variables environnementales.

MYODES GLAREOLUS

Espèce majoritairement liée aux boisements, forêts, parcs et haies pluristratifiées, elle est présente dans une grande partie du département, en 2003 comme en 2012 (occurrences dans plus de la moitié des sites). La carte de 2012 traduit bien cette distribution. Mais le fait que les sites où elle a été trouvée recoupent plusieurs variables environnementales non typiques de ses *preferenda*, concourt aussi à la large couverture à laquelle on aboutit. Ce qu'il faudrait probablement nuancer ultérieurement lors de la poursuite de l'étude.

MICROMYS MINUTUS

Très fréquent dans les pelotes en 2003, l'espèce est en revanche moins trouvée en 2012, mais ses probabilités d'occurrences restent très éloquentes, correspondant probablement assez bien à la description des milieux que proposait TOUZALIN «...le Rat des moissons est très peu présent dans les zones dépourvues de haies et de cultures céréalières....même si le bocage est ouvert, dès lors que demeurent des zones humides».

MICROTUS SUBTERRANEUS

Cette espèce est intéressante ici car son cas permet d'évoquer plusieurs difficultés et limites de l'exercice. Elle est normalement absente du Sud Loire, le fleuve représentant une barrière pour elle la cantonnant au nord.

Mais en raison du déséquilibre prononcé entre le nombre de sites du nord (6) et du sud (2), la variable Nord Loire-Sud Loire n'a pas pu être légitimement retenue et utilisée. C'est la raison pour laquelle les probabilités d'occurrences de *M.subterraneus* se trouvent illustrées aussi bien au sud qu'au nord, ce qui, somme toute, montre les potentialités réelles de différents milieux propices à l'espèce au sud de la Loire...mais effectivement non colonisés, en raison de la Loire.

RATTUS NORVEGICUS

Faiblement capturée par l'Effraie, l'espèce n'a fourni que peu de données observées en 2012. Ses probabilités d'occurrences ne correspondent pas à l'ensemble des réelles possibilités de sa distribution départementale, mais confirment toutefois l'attrait que génèrent les zones humides et les milieux anthropisés à l'égard de cette espèce.

De façon assez claire, la carte des probabilités d'occurrences met en évidence la préférence de *S. minutus* pour les milieux plutôt humides, déjà suggérée par TOUZALIN [2003]. Mais le nombre de données observées reste relativement faible, comme en 2003.

SOREX CORONATUS

Beaucoup plus fréquente et plus ubiquiste que *S. minutus*, bien que recherchant elle aussi préférentiellement des habitats couverts et plutôt humides, *S. coronatus* se caractérise ici par un nombre de données plus important et surtout par une belle diversité de milieux, illustrée par l'ensemble des variables environnementales utilisées.

MUS MUSCULUS DOMESTICUS

En 2003, TOUZALIN indiquait au sujet de *M. musculus* son caractère commensale de l'Homme mais que « de petites populations isolées peuvent vivre dans notre bocage, à l'instar des mulots ».

La carte des occurrences fait ressortir en partie l'influence de ces variables environnementales (urbaines et bocagères) et donne globalement une distribution départementale de *M. musculus* rappelant celle de 2003.

4.5 - INTÉRÊT ET LIMITE DE LA BIOGÉOGRAPHIE

L'intérêt de l'étude de la répartition des micromammifères à partir des pelotes de réjection de la Chouette effraie n'est plus à faire [AULAGNIER *et al.*, 1999 ; TABERLET, 1983 ; SAINT-GIRONS et SPITZ, 1978 ; PRICRAM ET ZALENKA, 1964].

Il faut toutefois rester prudent quant à l'interprétation de l'absence d'une espèce sur un site. Cette absence peut simplement signifier qu'elle n'a pas été trouvée ni identifiée, et non pas qu'elle soit forcément absente du secteur. Une vigilance particulière doit donc être apportée aux "absences" : elles sont souvent liées à l'abondance relative de l'espèce considérée, à son autécologie, et surtout à l'effort de prospection. L'identification de plusieurs centaines de proies est parfois nécessaire pour découvrir la présence d'un seul individu d'une nouvelle espèce. Les chiffres sont assez variés à ce sujet. LELIEVRE [2010] estime qu'un total de 160 proies identifiées est suffisant, ce chiffre est proche des 200 proies préconisées par MILLAN DE LA PENA *et al.*, [2003]. Pour sa part, TOUZALIN [2003] était arrivé à un seuil de 450 proies environ. Pour les 8 sites étudiés, un minimum moyen de 300 proies a été fixé pour coller aux chiffres donnés dans la littérature et au nombre de proies identifiées pour le moment pour chacun des sites.

4.6 - LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE

De nombreuses limites sont imposées par la méthodologie. La récolte des pelotes est aléatoire et certains sites sont peu fréquentés par le rapace, ou différemment selon les saisons (site de reproduction ou simple reposoir diurne). La récolte du matériel est souvent incertaine et parfois insuffisante. Pour le calcul des probabilités d'occurrences en fonction des variables environnementales, il aurait été préférable, à l'instar du premier travail de TOUZALIN [2003], d'avoir un site dans chacune des grandes entités paysagères du département. Certains milieux n'ont pu être correctement échantillonnés, c'est le cas des milieux purement forestiers, du marais Breton, de l'openfield *stricto sensu*, et des milieux urbanisés. L'utilisation homogène de l'ensemble des sites de récolte aurait été idéale. En comparaison de la thèse de TOUZALIN, moins de sites ont été utilisés pour la présente étude (8 contre 16), en raison de la disparition de plusieurs d'entre eux depuis 2003. Le nombre de proies identifiées par site est également inférieur, environ 300 contre 500 en 2003.

Toutefois, comme en 2003, la plus forte incertitude se rapporte à la connaissance précise des parcours de chasse de l'Effraie à travers son domaine vital. Et pourtant, ce sont ces parcours qui conditionnent la composition du régime alimentaire de l'oiseau, et par conséquent l'échantillonnage des micromammifères utilisé dans cette étude. Comme il l'a été vu précédemment (cf § 2.1), la Chouette effraie, de par son comportement de chasse, peut introduire un biais non pris en compte dans les calculs et l'analyse des résultats. Avec des moyens financiers et techniques plus importants, il serait intéressant d'équiper plusieurs couples de chouettes de balise GPS, dans le but de déterminer, par radio-tracking, leurs comportements et itinéraires de chasse. Cette étude fournirait de précieuses informations inédites, sur la nature exacte de l'échantillonnage des micromammifères par le prédateur.

En outre, la description des paysages ne permet pas une approche fine du milieu de vie des micromammifères. Certains critères descriptifs abiotiques plus précis et complets seraient intéressants à inclure dans l'analyse, tels que la qualité du sol (pédologie, hygrométrie)[INDELICATO, 2000], ou encore le degré de connectivité entre les habitats [PAILLAT et BUTET, 1994]. Il aurait également été intéressant de spécifier les types de cultures qui peuvent avoir une influence importante sur la colonisation des parcelles par certaines espèces [ZHANG ET USHER, 1991], ainsi que la situation géographique des sites par rapport à la Loire. Cette dernière joue un rôle de barrière naturelle infranchissable et influence la biogéographie de certaines espèces. De plus, la grande hétérogénéité paysagère au sein de certains sites étudiés ne peut être traduite par les variables, lesquelles ne donnent qu'un aperçu moyen sur la surface totale du site.

La sélection de départ des sites à exploiter est donc très importante et doit être orientée en fonction des questions posées. Une trop grande diversité dans le milieu et donc en espèces présentes, peut contrarier les possibilités de la caractérisation écologique et paysagère du site concerné, et conduire *in fine* à une mauvaise discrimination.

4.7 - PERSPECTIVES EN MATIÈRE DE GESTION

Les petits mammifères, en particulier les rongeurs, ne jouissent pas d'une bonne réputation auprès du public et des agriculteurs. En témoignent les campagnes de "régulation" menées régulièrement contre plusieurs espèces comme *M.arvalis* et *A.terrestris* dans certaines régions, parfois à grande échelle. Ou les destructions plus ou moins efficaces mais très répandues elles aussi, notamment au niveau domestique, d'espèces anthropophiles comme *M.m.domesticus* et *Rattus*.

Malgré les statuts réglementaires dont bénéficient plusieurs espèces, comme *Neomys fodiens* et *N.anomalus* protégées au niveau national (...ainsi que *A.sapidus*, désormais protégé nationalement par arrêté du 13/09/2012), les micromammifères, méconnus du grand public, sont pour la plupart perçus comme des animaux uniquement nuisibles. Ce jugement est le plus souvent assené sans nuances et sans considération de leur intérêt biocénotique et de leur utilité au sein de nos écosystèmes [MILLAN DE LA PENA *et al.*, 2003]. Les rapports souvent conflictuels entre l'Homme et certains de ces petits mammifères sont très anciens et bien ancrés dans la mémoire ou l'imaginaire collectifs. On se souvient, dans les campagnes françaises, les ravages que peuvent causer *M.arvalis* et *A.terrestris* lors des années de pullulation [MORILHAT, 2005], ou des pandémies de peste liées à *R.rattus*. Plus anecdotiquement, des espèces insectivores peuvent elles aussi être visées. La crossope *N.fodiens* est parfois détruite par les pêcheurs en raison de sa prédation occasionnelle sur les oeufs et alevins lâchés par les associations de pêcheurs.

Tout animal dont le régime alimentaire concurrence celui de l'homme ou ses pratiques et ses intérêts, fait l'objet de destructions plus ou moins systématiques. Mais il faut prendre conscience que le plus souvent, ce sont les activités humaines modernes qui sont la cause principale des maux dont les micromammifères sont tenus responsable. Il suffit de penser aux impacts écologiques de l'évolution contemporaine des modes de culture, avec notamment la diminution et l'altération brutales du bocage (remembrements), l'intensification culturale des dernières décennies. Avec pour corollaire, la simplification drastique des assolements, l'usage massif des pesticides, ou encore la destruction répétée des prédateurs de petits mammifères (Renards, mustélidés, rapaces...)[HEMPEL, [2003].

Pourtant, la présence des micromammifères dans les paysages agricoles et naturels est primordiale pour le maintien et la qualité de réseaux trophiques complexes. Ils jouent en effet un rôle fondamentale dans les écosystèmes, essentiellement par leur fonction de proies [PANZACCHI *et al.*, 2010]. Les micromammifères constituent la source principale de biomasse animale influençant directement l'abondance et la diversité des prédateurs [BUTET *et al.*, 2006, a]. En cas de déséquilibre des milieux naturels et semi-naturels, la réponse des zoocénoses est sans équivoques. En 2006, Pupila et Bergamis ont trouvé une prédominance de *M.arvalis*, connu pour ses ravages, dans les paysages ruraux ouverts et artificialisés.

Plus l'abondance relative, la richesse et la diversité spécifique en micromammifères seront élevées, plus on peut espérer obtenir une biodiversité globale élevée. De nombreuses espèces de petits mammifères nécessitent plusieurs types d'habitats au sein d'un cycle de vie [PAILLAT ET BUTET, 1994 ; OUIN *et al.*, 1999 ; PUPILA ET BERGAMIS, 2006 ; BUTET *et al.*, 2006, b].

Par conséquent, pour obtenir la plus grande diversité en micromammifères et autres espèces, il est important de maintenir et de favoriser autant que possible ces mosaïques [FAHRIG, 2003].

Dans son travail sur les micromammifères de Vendée, LELIEVRE [2010] a trouvé une richesse spécifique plus importante dans un paysage bocager bien conservé (10 espèces) que dans un paysage d'openfield (4 espèces). MICHEL *et al.* [2007] ont démontré que dans les paysages d'openfield et d'agriculture intensive, ce sont les espèces communes et généralistes qui prédominent : *C.russula*, *M.arvalis*. A l'opposé, dans un paysage de bocage très dense, certaines espèces moins communes, comme *M.p.gerbei*, *M.minutus*, *N.fodiens* apparaissent.

Toutefois, ces auteurs mettent en évidence que les plus fortes diversités et abondances sont notées dans les paysages présentant un degré d'intensification intermédiaire.

De même, les prairies au couvert végétal important sont favorables à une plus grande diversité en espèces que les champs cultivés [PUPILA et BERGAMIS, 2006]. La présence de bandes herbeuses présentent un intérêt fort pour la conservation d'une forte diversité en micromammifères et pour l'accomplissement de leur cycle de vie [BUTET *et al.*, 2006].

Bien que les openfields forment une matrice hostile, certains éléments du paysage peuvent y jouer un rôle déterminant dans la survie des communautés de la microfaune. La présence de quelques haies par exemple, est primordiale pour la conservation des rares populations de micromammifères dans ces paysages "désertiques" [MICHEL *et al.*, 2007].

Au-delà de la composition des paysages, la fragmentation des habitats, aujourd'hui morcelés en tâches, conditionne l'organisation spatiale des populations, affectant par conséquent les processus biologiques (reproduction, survie, dispersion...)[PAILLAT et BUTET, 1994]. Dans ces paysages morcelés, les corridors écologiques sont importants. L'instabilité des populations augmente avec leur degré d'isolement et peut aboutir à des extinctions locales [SZACKI, 1987]. Dans ce contexte, les corridors interviennent de deux façons : ils réduisent les risques d'extinctions, et ils favorisent les recolonisations.

Ces corridors doivent être suffisamment larges (>3m)[PAILLAT et BUTET, 1994], posséder un couvert végétal dense [MORO et GADAL, 2007] et présenter également une richesse floristique importante [MICHEL *et al.*, 2007]. Les corridors étroits sont plus sensibles à l'effet lisière" et à la prédation. Par exemple, *M.glareolus*, n'apparaît que si les haies sont denses, continues, avec une strate arbustive et herbacée, touffue et bien diversifiée [SAINT-GIRONS *et al.*, 1986 ; MICHEL *et al.*, 2007]. Zhang et Usher [1991] ont noté que pour ce campagnol, les haies complexes servent de corridors mais aussi d'habitat pour la reproduction, alors qu'une haie simple d'arbustes ne permet que sa dispersion. Pour certaines espèces comme *M.agrestis*, inféodées aux milieux plus ouverts, les haies peuvent être un obstacle au déplacement des individus, alors que les bandes herbeuses constituent des voies de dispersion [PAILLAT et BUTET, 1994].

Toutefois, le nombre de populations connectées est un facteur plus important que le nombre de connexions entre elles. La taille d'une méta-population ne dépend pas non plus du nombre de corridors mais avant tout de leur qualité.

Dans certains cas de figure, augmenter le nombre de connexions de mauvaise qualité peut avoir des effets plus négatifs que l'absence de connexions [PAILLAT ET BUTET, 1994]. En effet, la prédation peut dans ce cas être plus forte et avoir un impact important sur les populations animale.

La matrice paysagère (parcellaire) ne doit pas apparaître comme un élément imperméable. Elle doit permettre les mouvements des micromammifères dans l'espace. Dans une étude de 2007, MORO et GADAL ont démontré un impact très négatif du surpâturage (ovin dans ce cas particulier) sur les communautés de micromammifères. Sur toute la durée de leur étude, aucun micromammifères n'a été capturé dans les champs pâturés par les moutons. Mais lorsque la végétation de ces champs repousse, une petite communauté de micromammifères se réinstalle.

OUIIN *et al.*, [1999] montrent qu'en hiver, des populations de mulots (de faibles effectifs) peuvent se maintenir dans les cultures même après labour. Quand les cultures céréalières offrent un couvert suffisant, il y a immigration d'adultes provenant des haies ou talus voisins qui vont s'associer avec les individus des cultures, pour former des populations de reproduction. Après les récoltes, une chute des populations dans les cultures s'explique par l'émigration d'individus vers les haies et talus. Toutefois, le taux de colonisation dépend de la qualité des cultures en été. Autre exemple, *M.glareolus* n'est présent dans les bordures qu'à condition de trouver une haie suffisamment dense à proximité [TATTERSALL *et al.*, 2002]. Lorsque les connexions sont efficaces, les habitats annexes peuvent servir de zones refuges (cf. ci-dessus) et éviter des pullulations, et donc les ravages. C'est le cas des accotements routiers, qui, lorsqu'ils sont suffisamment larges (~3,5 Ha) semblent stabiliser les populations de campagnols en jouant le rôle de zones tampons [DE REDON *et al.*, 2010].

Pour résumer, dans les paysages agricoles, la perte de diversité est incontestablement corrélée fortement à l'intensification de l'agriculture et ses conséquences sur la structure et la composition des paysages. Une agriculture hétérogène est indubitablement préférable pour une meilleure stabilité des communautés de micromammifères, contrairement à une agriculture homogène intensive ou extensive sur de très grandes surfaces.

La diversification des cultures offre de plus grandes ressources et favorise la dispersion des individus. Pour obtenir une communauté de micromammifères la plus complète et la plus équilibrée possible, il est important de conserver une mosaïque d'habitats la plus diversifiée possible, avec, en outre, une complexité structurale forte [MORO et GADAL, 2007].

Maintenir une microfaune permet de maintenir également, dans les paysages agricoles, les populations locales d'autres espèces, dont certaines parfois rares ou patrimoniales, telles que les oiseaux et les mammifères prédateurs [Moro et Gadal, 2003].

5 – CONCLUSION

La Loire-Atlantique, en dehors de ses massifs forestiers et de ses zones humides, peut se décliner comme un gradient de bocage au maillage plus ou moins lâche. Cette constatation rend complexe à grande échelle l'analyse de la composition et de la distribution des communautés. En effet, l'absence de transition brutale entre les milieux (exemple : openfield et bocage) ou de grands ensembles homogène (massifs forestiers) induit une forte hétérogénéité paysagère au sein des sites étudiés. Cette imbrication, presque systématique, de milieux à l'échelle retenue pour la caractérisation des sites (~1900 ha), ne permet pas de dégager facilement des tendances fines en termes d'occupation des espèces. La multiplication du nombre de sites, du nombre de proies identifiées, et la diminution de la surface d'habitats décrits pourraient permettre de palier à ce problème. L'analyse d'un nombre plus important de sites à la composition micromammalogique et paysagère variée permettrait d'apporter une large gamme de données susceptibles de palier au manque d'informations du modèle sur la réponse des espèces aux variables environnementales. Réduire l'analyse du territoire de chasse de l'Effraie à un rayon de 1,5 km au lieu de 2,5 km, soit de la taille maximale à la taille moyenne, serait probablement plus pertinent d'un point de vue biologique. Et d'autre part, en réduisant le rayon de la surface échantillonnée, on bénéficie ainsi de l'avantage d'une disparité moindre des milieux, et donc d'une plus grande homogénéité probable autour du site de réjection proprement dit. Cette proposition pose le problème récurrent de la connaissance exacte de l'itinéraire de chasse de la Chouette effraie. De la même façon que dans les protocoles d'autres études semi-quantitatives et relatives, comme les points d'écoute STOC EPS pour les passereaux par exemple, le biais lié à l'hypothèse d'une utilisation homogène de l'habitat est inévitable. Seules des techniques permettant de déterminer plus précisément le domaine de chasse de la Chouette effraie (balise Argos, télémétrie) permettraient une approche fine de la réponse des micromammifères aux variables environnementales.

En dépit de ces constatations, un certain nombre de points positifs se dégagent. La présente étude, encore en cours, a permis la découverte d'un grand nombre de sites de réjection, largement répartis sur tout le département et ce dans une grande diversité de milieux au sein des quinze entités paysagères décrites précédemment. Ce qui devrait permettre d'augmenter les effectifs de proies identifiées pour chaque site et de combler les biais identifiés ci-dessus. L'analyse des pelotes a d'autre part permis la redécouverte d'une espèce historiquement observée qu'une seule fois dans le nord du département sur la commune de Puceul [SAINT-GIRONS *et al.*, 1988] : *Crocidura suaveolens*. Le nombre d'observations de cette espèce se monte à trois sites distincts, tous situés au sud de la Loire, et laisse présumer que malgré sa rareté, sa distribution est plus importante. La récolte des informations géographiques nécessaires au calcul des variables environnementales a permis la constitution d'un important fond de données cartographiques (assolements, réseau hydrographique, maillage bocager, infrastructures urbaines) à l'échelle du département.

Plusieurs perspectives se dégagent du présent travail, notamment l'augmentation du total de proies identifiées par site grâce à l'accumulation de nombreux lots de pelotes et par la dernière récolte estivale, et enfin, l'amélioration du modèle d'estimation de l'occurrence, notamment par l'intégration de l'estimation des paramètres de dynamique des peuplements dans un seul modèle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AULAGNIER S., THEVENOT M. & GOURVES J., 1999. Régime alimentaire de la Chouette effraie, *Tyto alba*, dans les plaines et reliefs du Maroc nord-atlantique. *Alauda*, 67 (4) : 323-336.
- a) BUTET A., PAILLAT G., DELETTRE Y., 2006. Factors driving small rodents assemblages from field boundaries in agricultural landscape of western France. *Landscape Ecology*, 21 : 449-461.
- b) BUTET A., PAILLAT G., DELETTRE Y., 2006. Seasonal changes in small mammal assemblages from field boundaries in an agricultural landscape of western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113 : 364-369.
- CHALINE J., BAUDEVIN H., JAMMOT D., & SAINT GIRONS M.-C., 1974. Les proies des rapaces, petits mammifères et leur environnement. Douin, Paris, 141p.
- CHARISSOU I., 1999. Identification des restes trouvés dans les pelotes de réjection des rapaces. Supplément EPOPS scientifique, 44 (1), 31p.
- DE REDON L., MACHON N., KERBIRIOU C., JIGUET F., 2010. Possible effects of roadside verges on vole outbreaks in an intensive agrarian landscape. *Mammalian Biology*, 75 : 92-94.
- DORAZIO R.-M., KERY M., ROYLE A., PLATTNER M., 2010. Models for inference in dynamics metacommunity systems. *Ecology*, 91 (8) : 2466-2475.
- DUPONT P., 2001. Atlas floristique de la Loire-Atlantique et de la Vendée. Siloë, SSNOF, CBN Brest. 1 : 175p.
- EROME G. & AULAGNIER S., 1982. Contribution à l'identification des proies des Rapaces. *Bièvre*, 4 (2) : 129-135.
- FAHRIG L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34 : 487-515.
- Fédération des clubs CPN (FCPN), 2010. Pelotes ! Décortiquer et déterminer le contenu des pelotes de réjection. Cahiers techniques de la gazette des terriers, 121, 98p.
- GELMAN A., 2006. Prior distributions for variance parameters in hierarchical models. *Bayesian Analysis*, 1 : 513-534.
- Global Biodiversity, 1992. Status of the Earth's Living Resources. World Conservation Monitoring, 450p.
- GELMAN A., 2006. Prior distributions for variance parameters in hierarchical models. *Bayesian Analysis*, 1 : 513-534.
- GOMES V., RIBEIRO R., CARRETERO M.-A., 2011. Effects of urban fragmentation on common small mammals : species versus communities. *Biodiversity conservation*, 20 : 3577-3590.
- GUERIN G., 1928. L'Effraie commune en Vendée, *Encyclopédie ornithologique*. P.Lechevalier éd., Paris, 157p.
- INDELICATO N., 2000. Aspects biogéographique de la distribution des micromammifères dans le Limousin (France). *Annales Scientifiques du Limousin*, 11 : 61-79.
- KERY M., 2008. Estimating abundance from bird counts : binomial mixture models uncover complex covariate relationships. *Auk*, 125 : 336-345.

- LARDEUX H., 1996. Guides géologiques de la Bretagne, 3ème éd. Masson édit., Paris, 210p.
- LEBOULANGER F., RIDEAU C., LEUGE F., STALLEGGER P., BIEGALA L., GOUVERNNEC A., JEAN-BAPTISTE J., 2011. Le Mullot à collier (Apodemus flavicollis, Melchior 1834) en Normandie : évolution des connaissances, statut actuelle et perspectives de recherche. Le Petit Lérot, GMN, 64 : 6-36.
- LELIEVRE Q., 2010. Première approche de la répartition de plusieurs espèces de micromammifères en Vendée (85), grâce à l'analyse de pelotes de réjection de Chouette effraie, Tyto alba (Scopoli, 1769). Rapport de stage, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France. 26p.
- LE LOUARN H., QUERE J.-P., 2003. Les Rongeurs de France – Faunistique et biologie, 2^e édition revue et augmentée. INRA éditions, 256 p
- LIBOIS R.-M., FONS R., SAINT-GIRONS M.-C., 1983. Le régime alimentaire de la Chouette effraie, Tyto alba, dans les Pyrénées-Orientales. Étude des variations écogéographiques. Terre et Vie, 37 : 187-217.
- LUGON-MOULIN N., 2008. Les musaraignes – Biologie, écologie, répartition en Suisse. Porte-Plumes, 280 p.
- MARCHADOUR B. (coord.), 2009. Mammifères, Amphibiens et Reptiles prioritaires en Pays de la Loire. Coordination régionale LPO Pays de la Loire, Conseil régional des Pays de la Loire, 125p.
- MARCHESI P., BLANT M., 2008. Fauna-Helvetica, mammifères de Suisse, clés de détermination. Simon capt édit, Neuchâtel, 21, 289p.
- MICHELAT D., GIRAUDOUX P., 1993. Relation proies-prédateur-paysages chez la Chouette effraie Tyto alba pendant l'élevage des jeunes. Alauda, 61(2) : 65-72.
- MICHEL N., BUREL F., BUTET A., 2006. How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes ? Acta oecologica, 30 : 11-20.
- MICHEL N., BUREL F., LEGENDRE P., BUTET A., 2007. Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France. Landscape Ecology, 22 : 1241-1253.
- MILLAN DE LA PENA N., BUTET A., DELETTRE Y., PAILLAT G., MORAN P., LE DU L. & BUREL F., 2003. Respon of small mammal community to changes in western French agricultural Landscapes. Landscape Ecology, 18 : 265-278.
- MORILHAT C., 2005. Influence du système sol-végétation-pratiques agricoles des prairies Franc-Comtoises sur la dynamique de population de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre (Arvicola terrestris Scherman Shaw, 1801). Thèse, Besançon, France. 176 p.
- MORO D., GADAL S., 2007. Benefits of habitat restoration to small mammal diversity and abundance in a pastoral agricultural landscape in mid-Wales. Biodiversity Conservation, 16 : 3543-3557.
- NICHOLS J.-D., BOULINIER T., HINES J.-E., POLLOCK K.-H., SAUER J.-R., 1998. Estimating rates of local species extinction, colonization, and turnover in animal communities. Ecology Application, 8 : 1213-1225.
- OUIN A., PAILLAT G., BUTET A., BUREL F., 1999. Spatial dynamics of wood mouse (Apodemus sylvaticus) in an agricultural landscape under intensive use in the Mont Saint Michel Bay (France). Agriculture, Ecosystems and Environment, 78 : 159-165.
- PAILLAT G. & BUTET A., 1994. Fragmentation et connectivité dans les paysages : importance des habitats corridors pour les petits mammifères. Arvicola, 4 (2) : 5-12.

- PANZACCHI M., LINELL J.-D.-C., MELIS C., ODDEN M., ODDEN J., GORINI L., ANDERSEN R., 2010. Effect of land-use on small mammal abundance and diversity in a forest-farmland mosaic landscape in south-eastern Norway. *Forest Ecology and Management*, 259 : 1536-1545.
- PAILLAT G., BUTET A., 1994. Fragmentation et connectivité dans les paysages : importance des habitats corridors pour les petits mammifères. *Arvicola*, Tome VI : n°2.
- PRICRAM R., ZALENKA G., 1964. Le régime alimentaire de la Chouette effraie *Tyto alba* (Scopoli) sur la rive gauche du Léman (extrémité occidentale). *Alauda*, 22 : 175-195.
- PUPILA A., BERGMANIS U., 2006. Species diversity, abundance and dynamics of small mammals in the Eastern Latvia. *Acta Universitatis Latviensis*, 710 : 93-101.
- ROLLAND P., 2008. Clé micromammifères Rhône-Alpes pelotes réjection, identification à partir des restes osseux contenus dans les pelotes de réjection des rapaces. *CORA*, 54p.
- ROYLE J.-A., NICHOLS J.-D., 2003. Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology*, 84 : 777-790.
- ROYLE J.-A., DORAZIO R.-M., LINK W.-A., 2007. Analysis of multinomial models with unknown index using data augmentation. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 16 : 67:85.
- ROYLE J.-A., KERY M., 2007. A bayesian state-space formulation of dynamics occupancy models. *Ecology*, 88 : 1813-1823.
- ROYLE J.-A., DORAZIO R.-M., 2008. Hierarchical modeling and inference in ecology. The analysis of data from populations, metapopulations and communities. Academic Press, Amsterdam, 444 p.
- SAINT GIRONS M.-C., LODE T. & NICOLAU-GUILLAUMET P., 1988. Atlas des mammifères terrestres de Loire-Atlantique, inventaire de la faune et de la flore. Muséum national d'histoire naturelle, secrétariat de la faune et de la flore, Paris, 105p.
- SAINT-GIRON M.-C., ROSSOUX R., PHILIPPE M.-A., 1986. La typologie des haies et les populations de micromammifères. L'exemple du marais Poitevin. *Bulletin annuel de la Société des Sciences Naturelles de Charente-Maritime*, 7 : 593-608.
- SAINT-GIRONS M.-C., SPITZ F., 1978. A propos de l'étude des micromammifères par l'analyse des pelotes de rapaces. Intérêt et limites de la méthode. *Terre et vie*, 113 : 2-18.
- SAINT GIRONS M.-C., 1968. Analyse des fluctuations du régime alimentaire de l'effraie, *Tyto alba*, dans le département de la somme pendant une pullulation de *Microtus arvalis*. *Acta soc. Zool. Bohemosl.*, 32 : 185-198.
- SPITZ F., 1965. Étude des biotopes de circulation de quelques espèces de micromammifères par la méthode du carré de piégeage. *Mammalia*, 29 : 390-399.
- SPITZ F., 1981. Un mode de traitement mathématique des données des petits mammifères en France. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 293 : 189-194.
- SZACKI J., 1987. Ecological corridor as a factor determining the structure and organization of a bank vole population. *Acta Theriologica*, 32 : 31-44.
- TABERLET P., 1983. Évaluation du rayon d'action moyen de la Chouette effraie à partir de ses pelotes de réjection. *Terre Vie*, 38 : 171-177.
- TABERLET P., 1986. Étude de l'écologie des micromammifères du Bas-Chablais (Haute-Savoie) à partir des pelotes de réjection de la Chouette effraie. Thèse de doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 112p.

- TATTERSALL F.,-H., MACDONALD D.-W., HART B.-J., JOHNSON P., MANLEY W., FEBER R., 2002. Is habitat linearity important for small mammal communities on farmland ? Journal of Applied Ecology, 39 : 643-652.
- TOUZALIN F., 2003. Étude Biogéographique des micromammifères de Loire-Atlantique à partir de l'analyse des pelotes de réjection de l'Effraie des clochers, *Tyto alba* (SCOPOLI, 1769). Thèse, Faculté de médecine de Nantes, France. 129p.
- TREUSSIÉ M., 1976. Répartition de quelques micromammifères et principalement du Mulot (*Apodemus sylvaticus*) dans plusieurs milieux de l'Aigoual et des Causses. Terre Vie, 30 : 377-394.
- VALLEE J.-L., 1999. La Chouette effraie, description, mœurs, observation, protection, mythologie. Delachaux & Niestlé, Lausanne, 192p.
- YAMAURA Y., ROYLE J.-A., KUBOI K., TADA T., IKENO S., MAKINO A., 2011. Modelling community dynamics based on species-level abundance models from detection/nondetection data. Journal of Applied Ecology, 48 : 67-75.
- ZHAND Z.-B., USHER M.-B., 1991. Dispersal of wood mice and bank vole in an agricultural landscape. Acta Theriologica, 36 : 239-245.

WEBOGRAPHIE

- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM), 2001. Atlas des paysages de Loire-Atlantique. Disponible à : <http://www.paysages.loire-atlantique.gouv.fr>
- Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 2005. GEOFLA®. Disponible à : <http://professionnels.ign.fr/geofla>
- Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire, 2012. Disponible à : <http://www.loire-estuaire.org/documentation/publications.html>
- R CORE TEAM (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponible à : <http://www.R-project.org/>.
- Service de l'observation et des statistiques (SoeS), 2007. Eider. Disponible à : www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/Eider
- YU-SUNG S., MASANAO Y., 2012. R2jags : A Package for Running jags from R. R package version 0.03-06. Disponible à <http://CRAN.R-project.org/package=R2jags>

INDEX DES ILLUSTRATIONS

CARTES

Carte 1 : Place de la Loire-Atlantique dans le territoire français.....	p.3
Carte 2 : La Loire-Atlantique, quelques éléments sur sa situation géographique.....	p.3
Carte 3 : Carte lithologique simplifiée de la Loire-Atlantique.....	p.4
Carte 4 : Carte des unités paysagères.....	p.5
Carte 5 : Carte de synthèse des paysages.....	p.8
Carte 6 : Carte des sites analysés.....	p.13
Carte 7 : Cartes des sites de récolte de pelotes de réjection automnaux (n=128), hivernaux (n=155), printaniers (n=91)(Source : Quentin LELIEVRE).....	p.23

FIGURES

Figure 1 : Sites potentiels repérés sur une carte IGN 1/25 000 ^{ème}	p.12
Figure 2 : Un exemple de la technique cartographique pour la mesure des descripteurs du milieu sur le site d'EPIN (source : BD Ortho®).....	p.15
Figure 3 : Représentation graphique de la richesse spécifique pour les huit site étudiés.....	p.24
Figure 4 : Représentation graphique de la richesse spécifique par cortège d'espèces et par site.....	p.24
Figure 16 : Probabilités de survie locale.....	p.27
Figure 17 : Probabilités de colonisation locale.....	p.28
Figure 18 : Indice de similarité des communautés.....	p.29

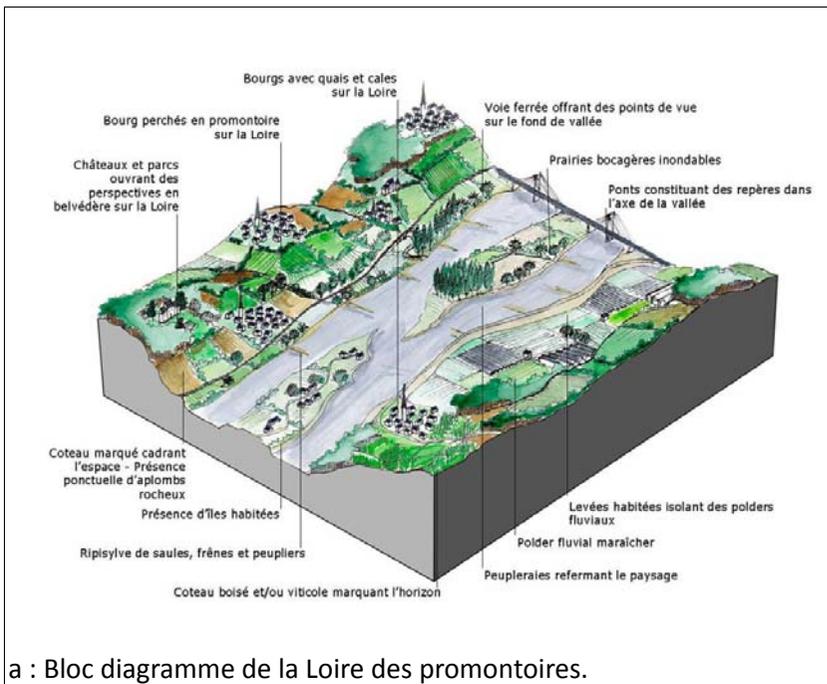
TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des données bibliographiques relatives à la dimension du domaine vital chez la Chouette effraie (d'après TOUZALIN, 2003).....	p.11
Tableau 2 : Détail des sites utilisés.....	p.13
Tableau 3 : Synthèse des espèces présentes et probables.....	p.19
Tableau 4 : Synthèse des cortèges micromammalogiques.....	p.20
Tableau 5 : Synthèse des espèces de micromammifères.....	p.23
Tableau 6 : Récapitulatif des proies identifiées et comparaison rapide avec TOUZALIN [2003].....	p.23
Tableau 7 : Détail des richesses spécifiques par site.....	p.28
Tableau 8 : Détail des richesses spécifiques par cortège et par site.....	p.29

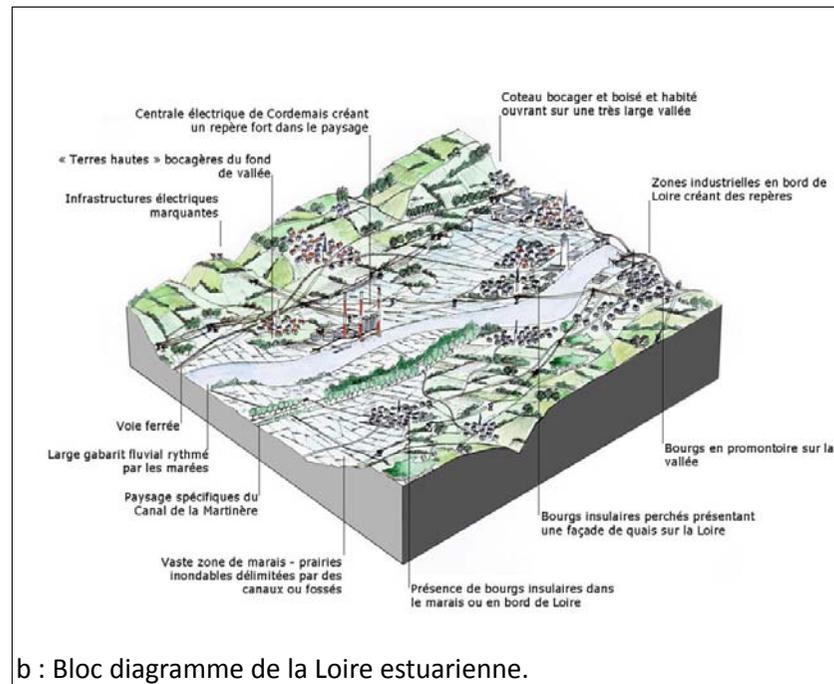
PHOTOS

Photo 1 : Pelote de réjection.....	p.10
Photo 2 : Site de réjection d'une Chouette effraie dans un moulin ruiné.....	p.12

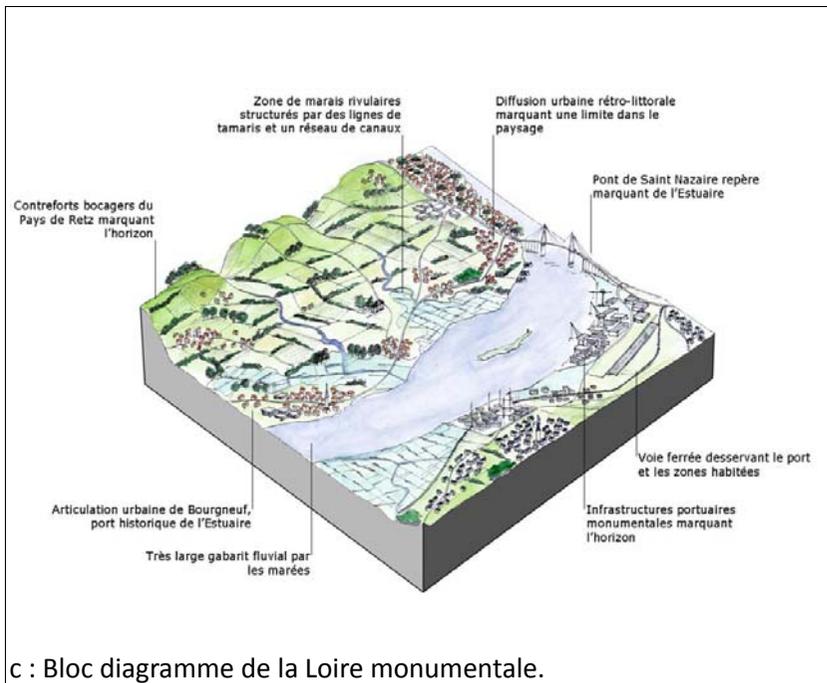
ANNEXE I



a : Bloc diagramme de la Loire des promontoires.



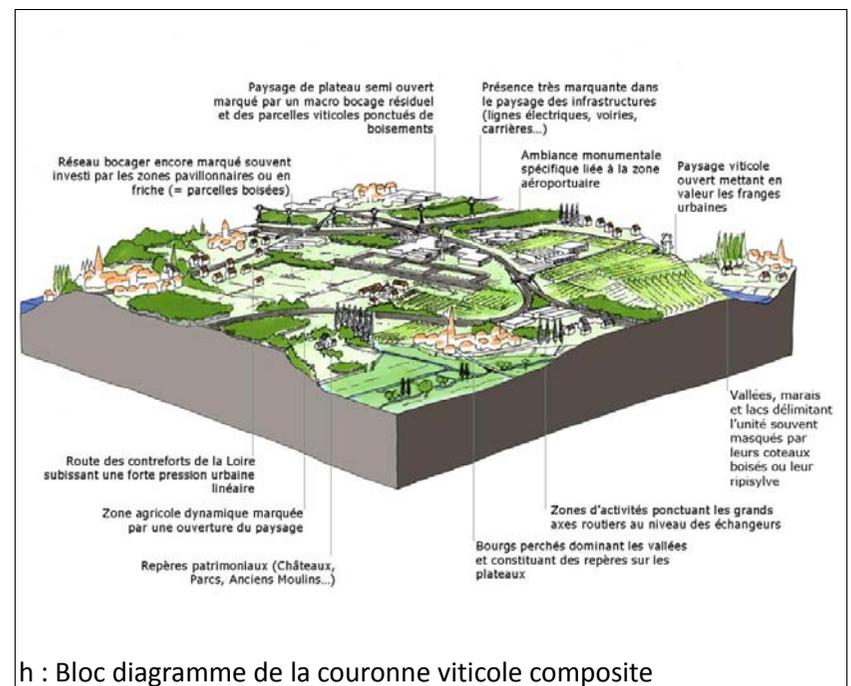
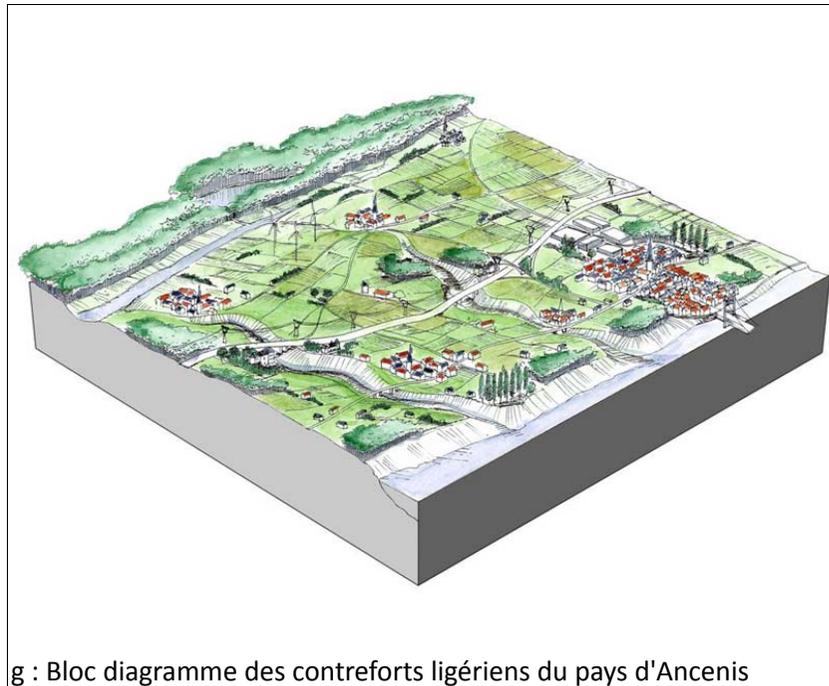
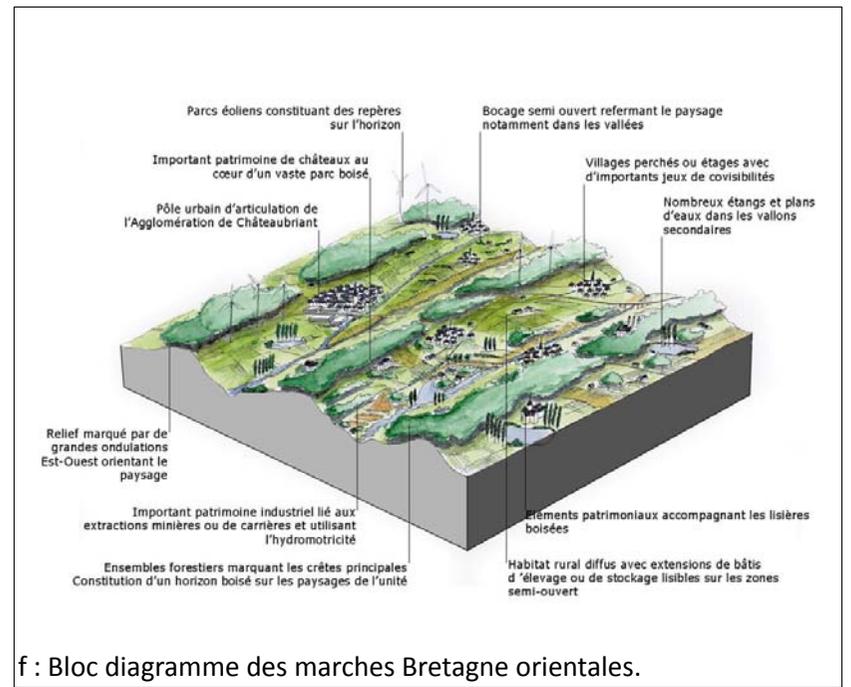
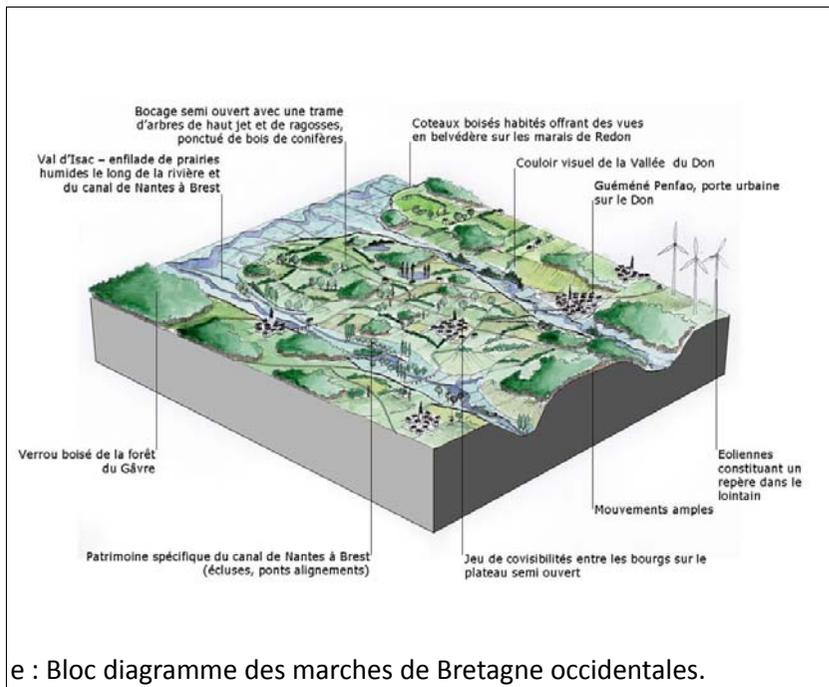
b : Bloc diagramme de la Loire estuarienne.

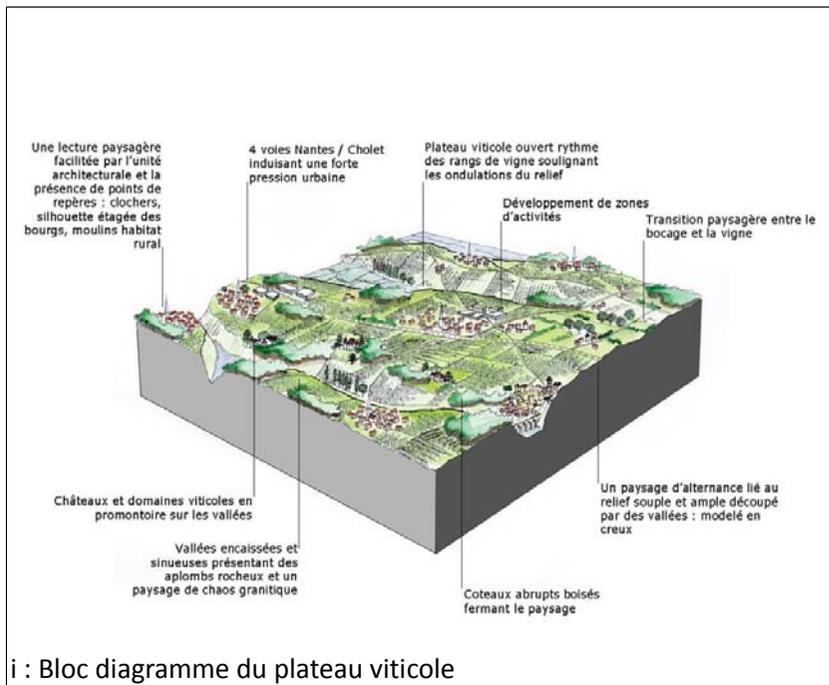


c : Bloc diagramme de la Loire monumentale.

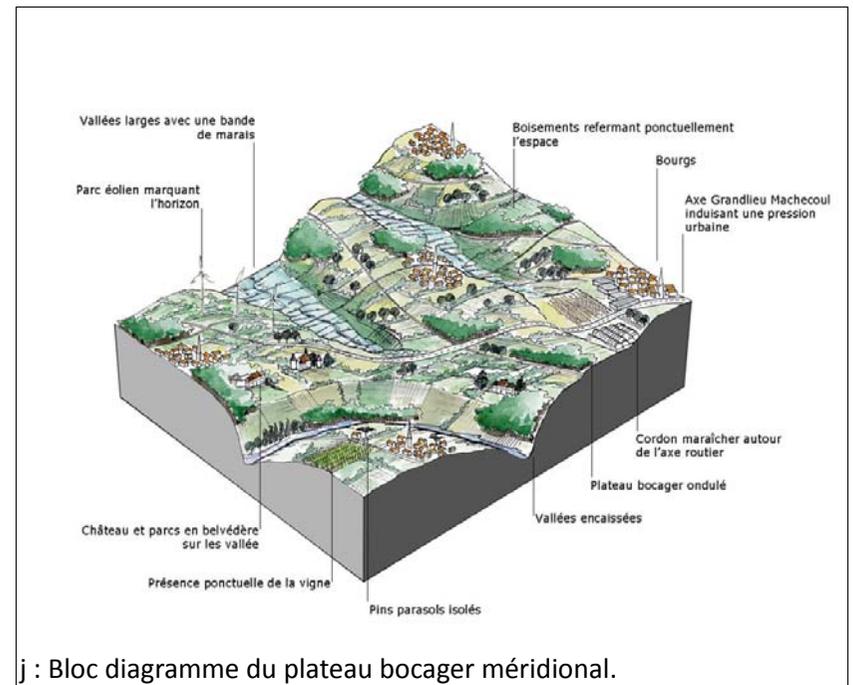


d : Bloc diagramme du bocage suspendu du sillon de Bretagne.

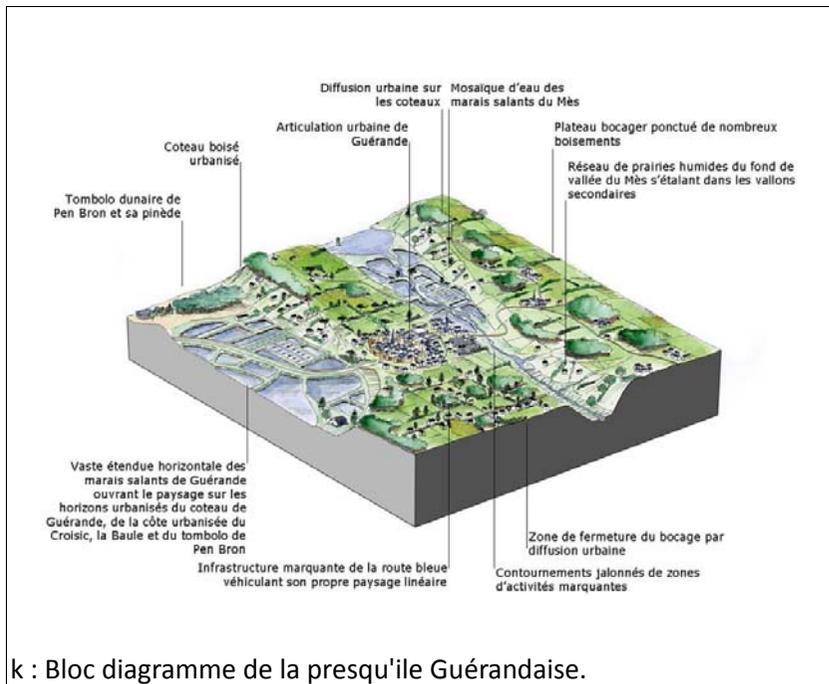




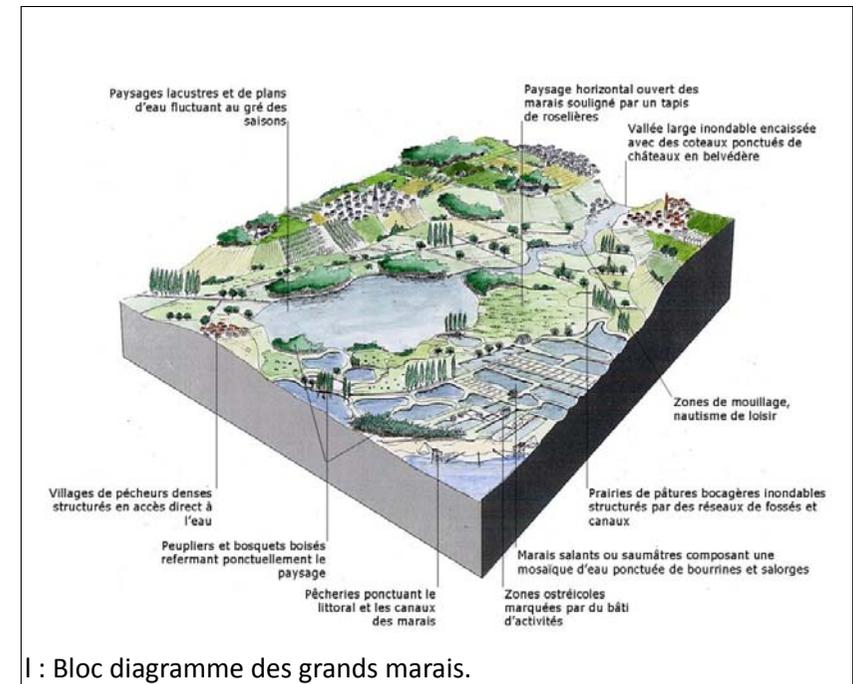
i : Bloc diagramme du plateau viticole



j : Bloc diagramme du plateau bocager méridional.



k : Bloc diagramme de la presqu'île Guérandaise.



l : Bloc diagramme des grands marais.

ANNEXE II : Synthèse des échanges avec les spécialistes

RÉPARTITION

Très caricaturalement, J. HAUSSER schématise la zone favorable à *S. coronatus* comme suit : *S. coronatus* est l'espèce "envahisseuse" à partir de l'Espagne à la fin des glaciations. *S. araneus* résiste mieux à cette invasion vers le nord et l'est, dans les zones froides et humides. A partir du milieu de l'Allemagne, approximativement, il n'y a plus de *S. coronatus*. Pour ce dernier, il n'est pas exclu que des populations de *S. araneus* subsistent dans les zones de marais, mais très, très peu probable car trop au sud, trop doux.

L'analyse génétique de plusieurs dizaines d'individus n'a jamais permis à G. YANNICK de trouver *S. araneus* ailleurs que dans les Pyrénées (race Carlit) et dans les Alpes (Haute-Savoie, Savoie, Isère ; race Cordon). La présence passée de *S. araneus* dans le Massif-Central, n'a plus été confirmée depuis. J. HAUSSER ajoute à la réponse de G. YANNICK que pour la montagne il faut ajouter à la liste les Vosges, les Ardennes et le Jura Français. Selon lui les populations du Massif central n'ont pas entièrement disparu, mais elles seront difficiles à retrouver. Il précise que dans les Alpes au Sud à partir de Briançon il s'agit d'une 3^e espèce parente, *Sorex antinorii*.

J. HAUSSER rajoute qu'en France, en basse altitude, *S. araneus* ne semble exister en plaine que dans le Nord-Est (Alsace-Lorraine). Il ne serait pas exclu qu'on trouve des populations résiduelles ailleurs en zone très marécageuse (comme c'est le cas en Suisse à l'est du lac de Neuchâtel), plus probablement dans la moitié nord du pays. Ses recherches dans le marais poitevin par exemple, ne lui ont permis de trouver que des *S. coronatus*, ainsi qu'en Bretagne. Il note que la Brenne, non piégée, n'est pas à exclure.

IDENTIFICATION

Pour J. HAUSSER il est malheureux que les biologistes et naturalistes français aient toujours reculé devant la difficulté de détermination de ces deux espèces, alors que la préparation de chromosomes (moyen à la fois absolument sûr et assez bon marché) est à la portée technique de tout laboratoire de science.

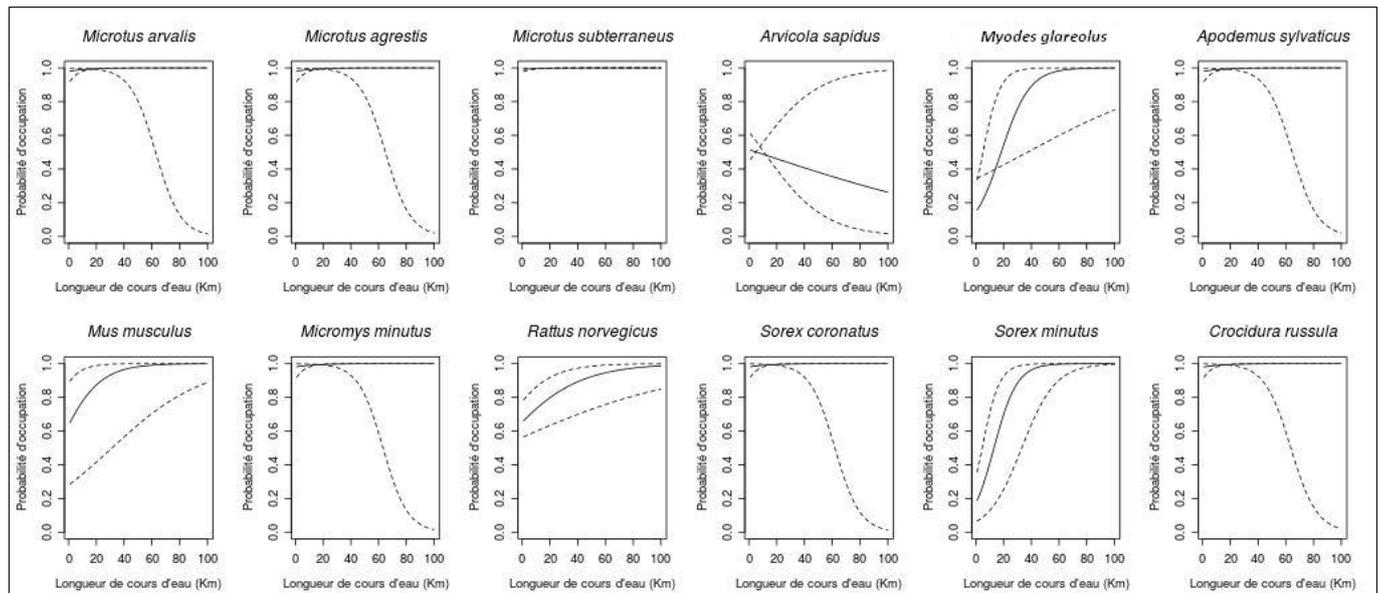
Selon P. BRUNET-LECOMTE les deux espèces de *Sorex* sont difficiles à déterminer et que pour être vraiment certain, les analyses génétiques sont inévitable. Il est également possible d'effectuer des mesures mais la méthode est très compliquée car elle appelle aux deux faces de la mandibule. La première chose à faire est de regarder les mandibules de profil d'une *araneus* sûre (Scandinavie ou Europe de l'Est). Mais Pour G. YANNICK cette méthode nécessite le crâne en entier, et une bonne vingtaine de mesures, combinées dans une analyse multivariée.

Mais apparemment, selon J. HAUSSER, les mandibules suffisent. Mais il faut prendre entre 4 et 20 mesures extrêmement précises (petitesse du matériel), avoir une collection de référence et un bon programme de statistique permettant des analyses multivariées discriminantes. Procédure : relever les mesures sur la collection de référence, établir une fonction discriminante, puis appliquer cette fonction au reste du matériel.

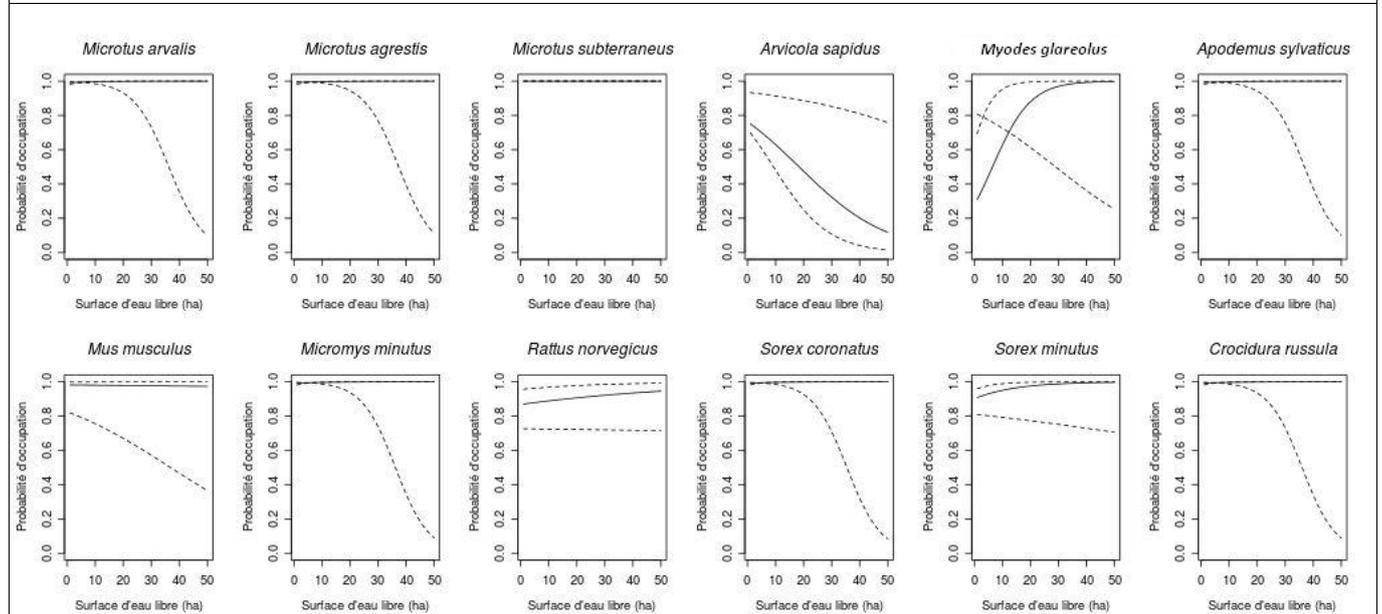
ANNEXE III : VALEURS DES DIFFÉRENTES VARIABLES DES 8 SITES RETENUS

CODE_SITE	RAYON	SH (Ha)	SB (Ha)	SV (Ha)	SCM				STH (Ha)	SMP (Ha)	LCE (Km)	LRC (Km)	LSB (Km)
					(Ha)	SCI (Ha)	SEL (Ha)	SPI (Ha)					
BABI_73	2,5	143,99	106,41	0,00	6,51	1461,46	5,56	0,00	168,69	0,00	17,86	142,99	221,27
CHAV_93	2,5	125,56	234,17	0,00	0,00	1292,69	5,20	0,00	304,52	0,00	9,38	177,16	234,44
MOUC_451	2,5	475,06	100,88	572,46	267,39	229,94	24,56	0,00	293,00	0,00	21,32	170,56	76,65
EPIN_411	2,5	151,60	304,66	0,00	0,00	1170,25	22,65	0,00	312,19	0,00	34,62	125,31	176,11
OUT_2	2,5	125,79	399,46	17,79	0,00	1202,69	29,41	0,00	136,32	0,00	29,58	108,75	112,59
TAIL_311	2,5	64,29	29,53	0,00	0,00	238,83	61,04	273,47	985,55	266,08	90,58	99,07	87,57
MENA_177	2,5	372,67	52,29	0,00	0,00	2,11	30,21	0,00	102,65	1401,67	234,83	25,65	41,81
MASS_105	2,5	52,44	16,43	0,00	0,00	255,79	166,03	470,52	923,91	64,80	128,03	76,38	63,73

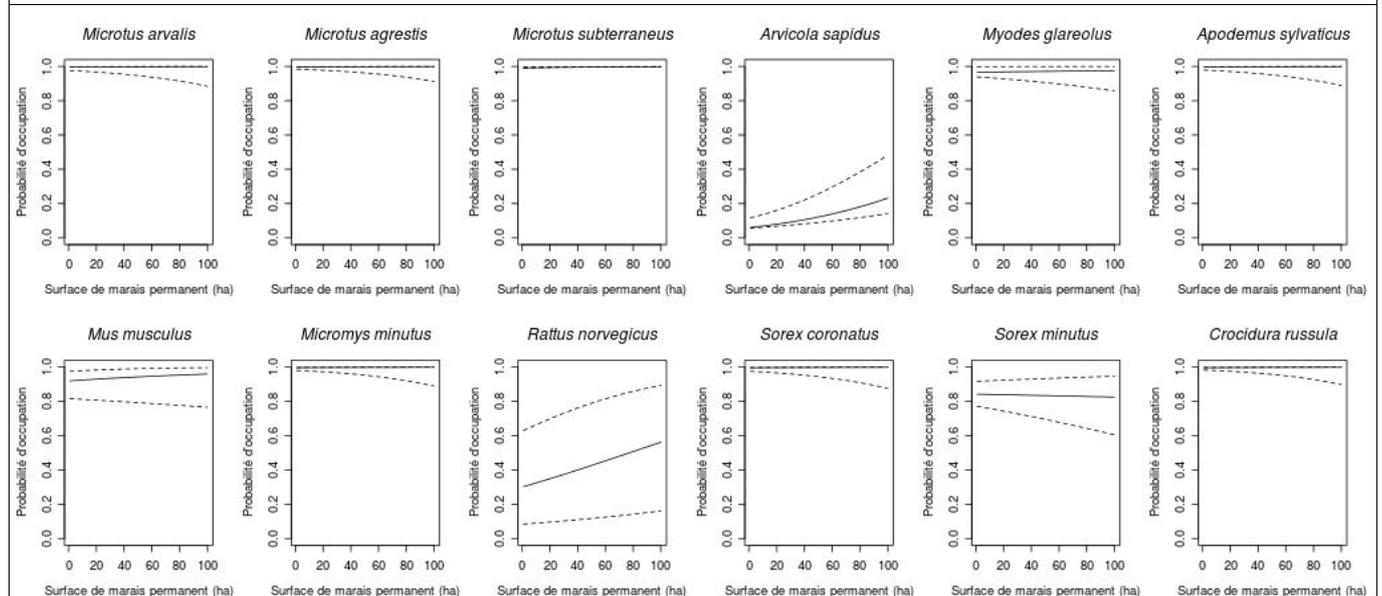
ANNEXE IV : PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES ESPÈCES EN FONCTION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES¹



a : Variable Longueur Cours d'Eau (LCE).

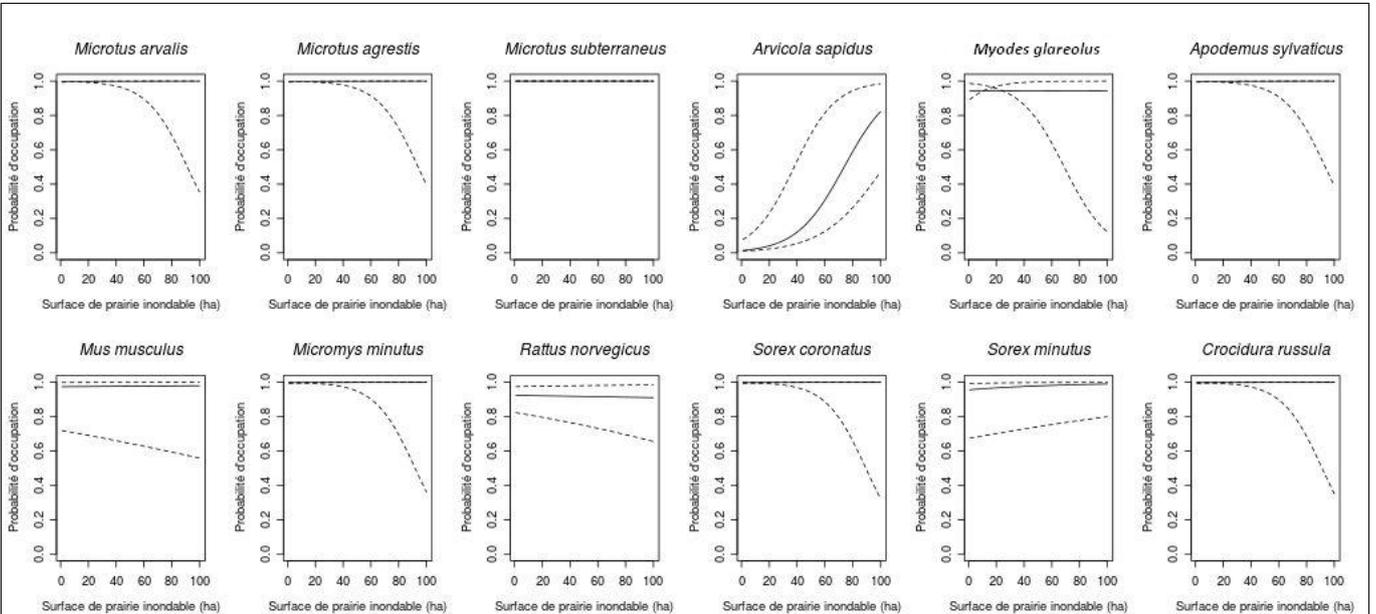


b : Variable Surface Eau Libre (SEL).

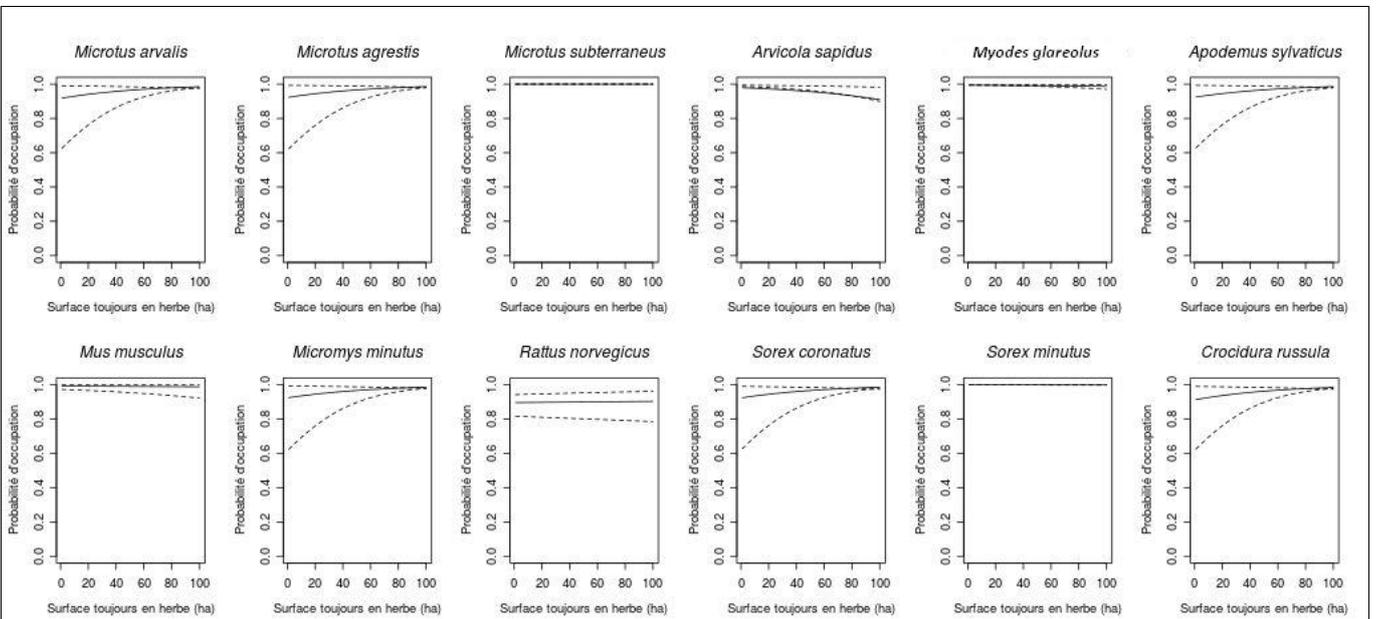


c : Variable Surface de Marais Permanent (SMP).

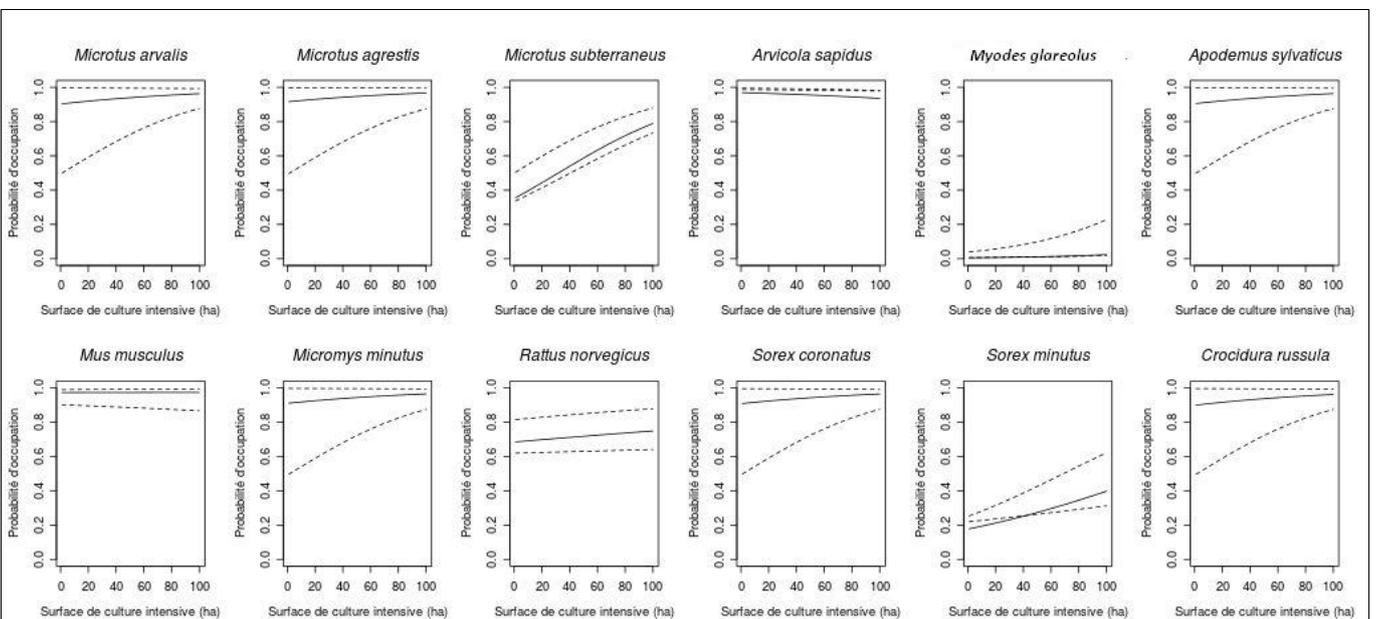
1 : — représente l'effet moyen donc la probabilité estimée et ---- l'intervalle de confiance à 95%



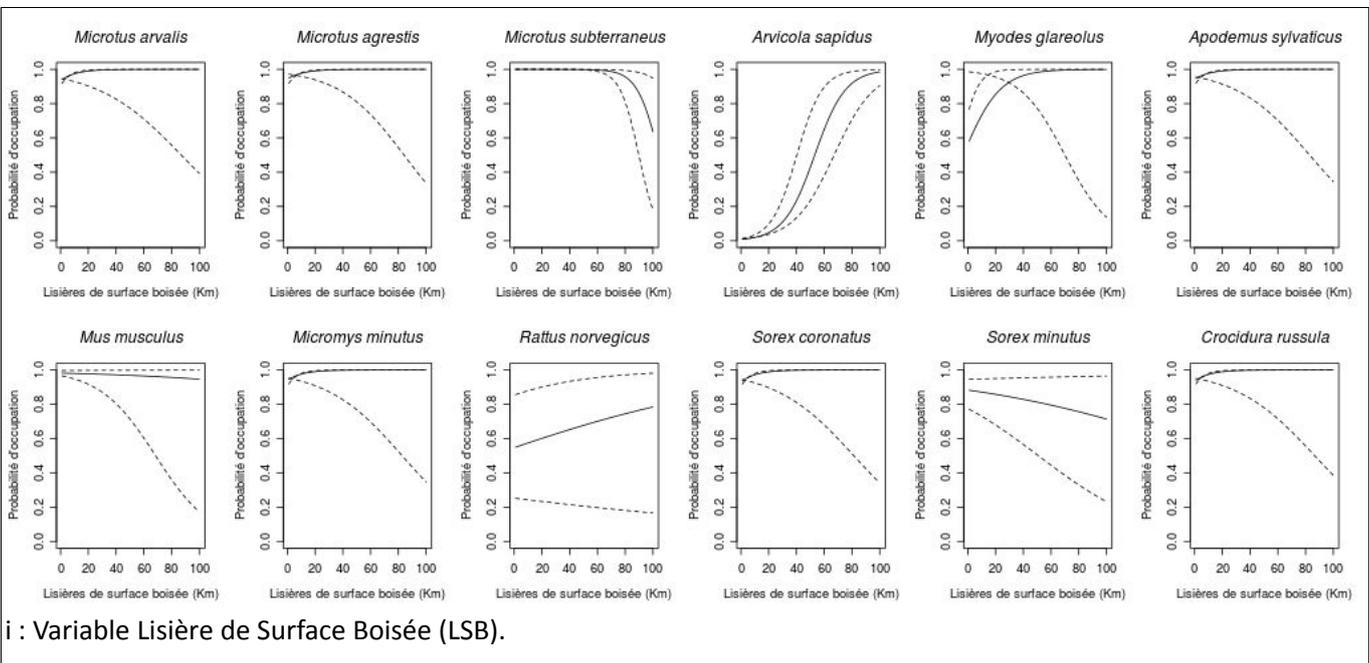
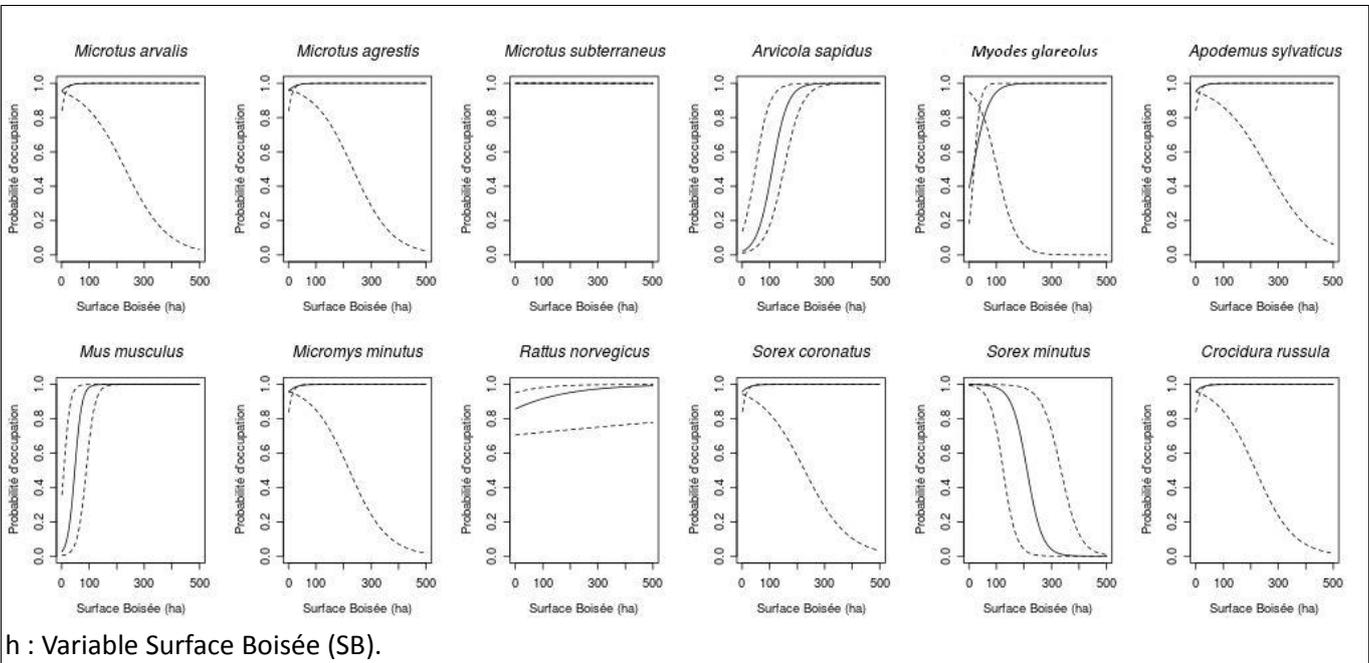
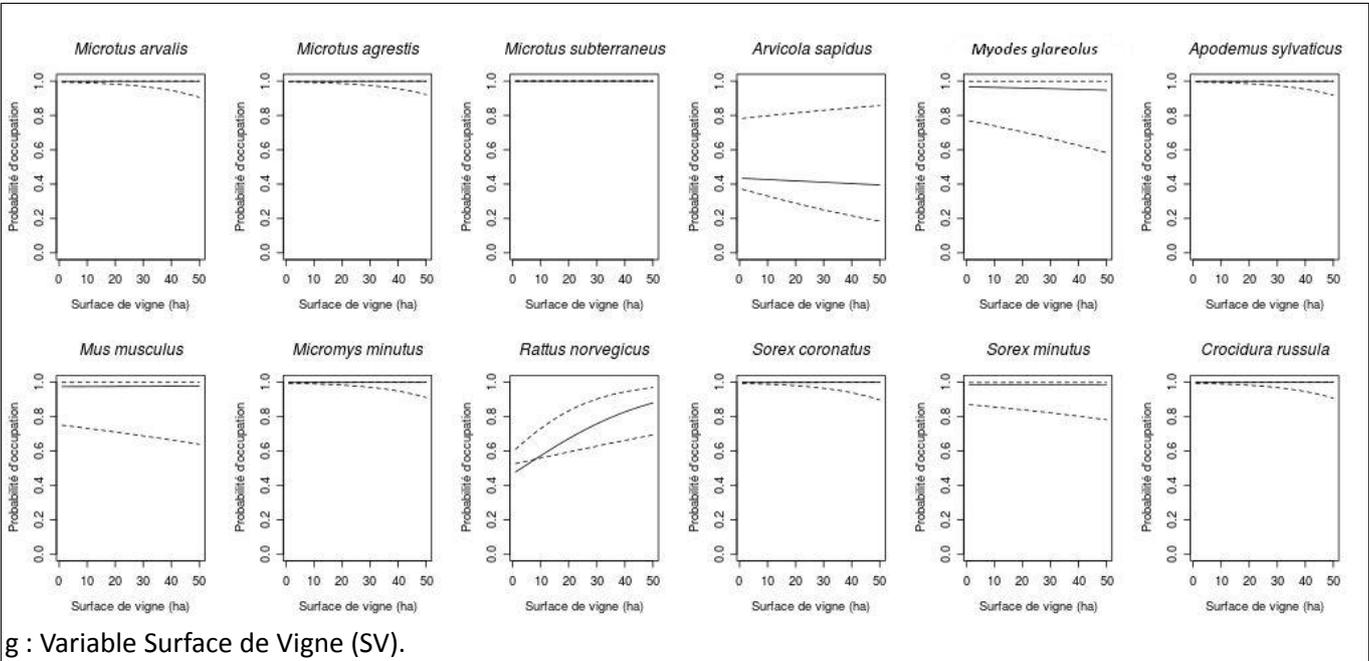
d : Variable Surface de Prairie Inondable (SPI).

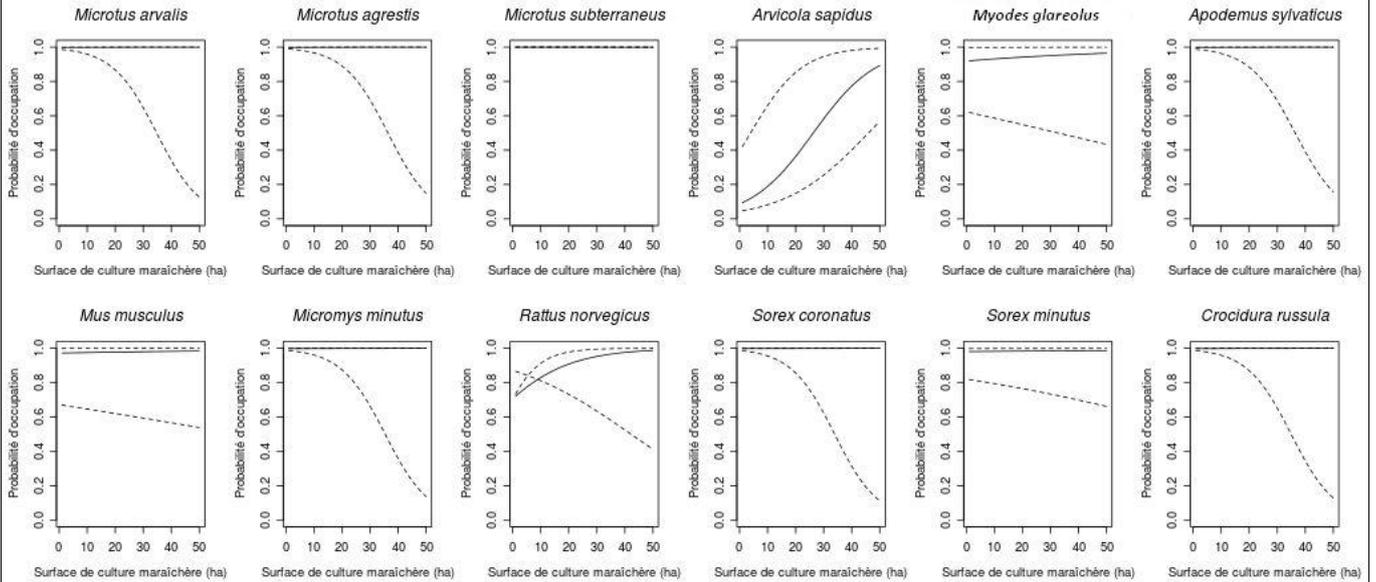


e : Variable Surface Toujours en Herbe (STH).

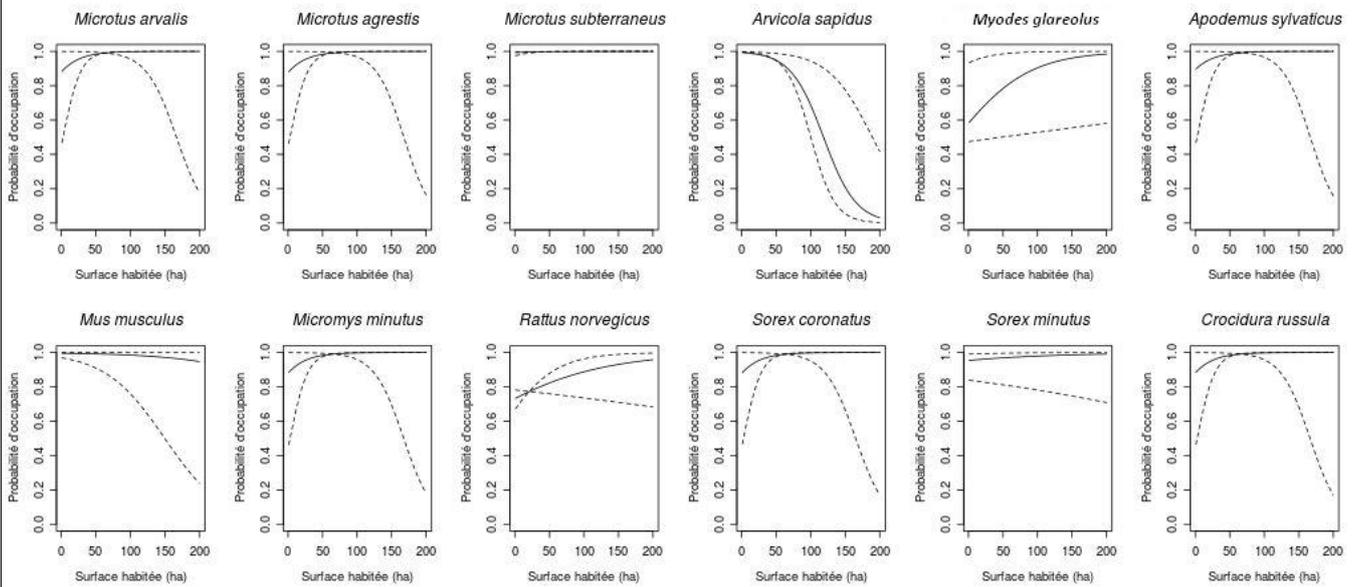


f : Variable Surface de Culture Intensive (SCI).





j : Variable Surface de Culture Maraîchère (SCM).



k : Variable Surface Habitée (SH).

Résumé

Ce mémoire de master II propose une nouvelle approche de la biogéographie de plusieurs espèces de micromammifères en Loire-Atlantique (44) au travers des pelotes de réjection de la Chouette effraie, *Tyto alba* (Scopoli, 1769). Il s'agit de la contribution à la réactualisation d'un travail réalisé en 2003 par F. TOUZALIN. L'étude porte sur une année complète, de septembre 2011 à septembre 2012. Les objectifs fixés sont triples : (i) étudier la répartition des micromammifères de Loire-Atlantique, (ii) évaluer la diversité en espèces en relation avec leur milieu, (iii) dégager des mesures de gestion favorables à ces espèces. Les résultats proposés sont de plusieurs ordres : (i) estimation de la richesse spécifique de 8 sites particuliers, (ii) identification des variables environnementales liées à la composition des communautés, (iii) recherche de probabilité d'occupation d'un site en fonction des variables environnementales, (iv) approche de la répartition de chaque espèce sur l'ensemble du département, (v) comparaison la composition des communautés avec les données de 2003. L'analyse de 4130 pelotes, récoltées sur 458 sites du département, a permis l'identification de 17 espèces dont certaines très rares dans le département (*Crocidura suaveolens*, *Microtus pyrenaicus gerbei* et *Rattus rattus*). L'analyse des résultats met en évidence la simplification des paysages et des communautés de micromammifères depuis 2003, avec une abondance aujourd'hui plus élevée des espèces banales et communes.

Mots clés : Micromammifères, pelotes de réjection, Chouette effraie, biogéographie, variables environnementales/descripteurs du milieu, richesse spécifique.

Abstract

This master thesis II provides a new approach of the biogeography of several species of small mammals in Loire-Atlantique (44) from the Barn owl pellets analysis, *Tyto alba* (Scopoli, 1769). It's the updating of similar work carried out in 2003 by F. Touzalin. The study covers a full year from September 2011 to September 2012. The objectives are threefold: (i) study the distribution of small mammals in Loire-Atlantique, (ii) assess species diversity in relation to their environment, (iii) identify management measures favorable to these species. The results presented are of several kinds: (i) estimation of species richness of 8 specific sites, (ii) identification of environmental variables influencing community composition, (iii) define the probability of occupation of a site in relation with this environmental variables, (iv) approach the distribution of each species across the department, and (v) comparison community composition with 2003 data. Analysis of 4130 Barn owl pellets, collected from 458 sites, permitted the identification of 17 species, which some are very rare for the department (*Crocidura suaveolens*, *Microtus pyrenaicus gerbei* and *Rattus rattus*). The analysis of results reveals the simplification of landscapes and communities of small mammals since 2003 with higher abundance of common species.

Keywords : small mammals, Barn owl pellets, biogeography, environmental variables/environmental descriptors, specific richness.

Université Joseph-Fourier – UFR de Biologie

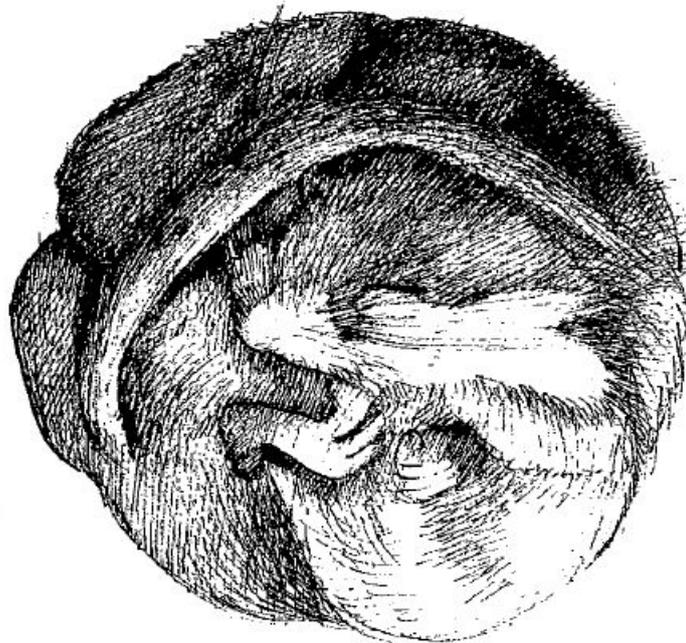
2231 rue de la Piscine – BP 53
38041 GRENOBLE CEDEX 9

Master 2ème Année Pro
Parcours Biologie Écologie Environnement

Quentin LELIEVRE

Première approche de la biogéographie de plusieurs espèces de micromammifères en Loire-Atlantique (44) au travers des pelotes de réjection de la Chouette effraie, *Tyto alba* (Scopoli, 1769).

**Recueil des cartographies de répartition des espèces
identifiées**



MUSCARDIN

Stage effectué du 01/02/2012 au 30/09/2012

Groupe Naturaliste de Loire-Atlantique

9 rue de Nantes

44830 BOUAYE

Sous la direction de Frédéric Touzalin et de Didier Montfort



Table des matières

Les Arvicolinés

Cartes n°1 : Campagnol des champs, <i>Microtus arvalis</i> (Pallas, 1778).....	4-5
Cartes n°2 : Campagnol agreste, <i>Microtus agrestis</i> (Lannaeus, 1761).....	6-7
Cartes n°3 : Campagnol roussâtre, <i>Myodes glareolus</i> (Schreber, 1780)	8-9
Cartes n°4 : Campagnol des Pyrénées sous espèce gerbe, <i>Microtus pyrenaicus gerbei</i> (De Sélys-Longchamps, 1847).....	10-11
Cartes n°5 : Campagnol souterrain, <i>Microtus subterraneus</i> (De Sélys-Longchamps ,1838).....	12-13
Cartes n°6 : Campagnol amphibie, <i>Arvicola sapidus</i> (Miller, 1908).....	14-15

Les Murinés

Cartes n°7 : Mulot sylvestre, <i>Apodemus sylvaticus</i> (Linnaeus, 1758).....	17-18
Cartes n°8 : Rat des moissons, <i>Micromys minutus</i> (Pallas, 1771).....	19-20
Cartes n°9 : Souris grise domestique, <i>Mus musculus domesticus</i> (Linnaeus, 1771).	21-22
Cartes n°10 : Rat surmulot, <i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout, 1769).....	23-24
Cartes n°11 : Rat noir, <i>Rattus rattus</i> (Linnaeus, 1758).....	25-26

Les Crociduriné

Cartes n°12 : Crocidure musette, <i>Crocidura russula</i> (Hermann, 1780).....	28-29
Cartes n°13 : Crocidure des jardins, <i>Crocidura suaveolens</i> (Pallas, 1811).....	30-31

Les Soricinés

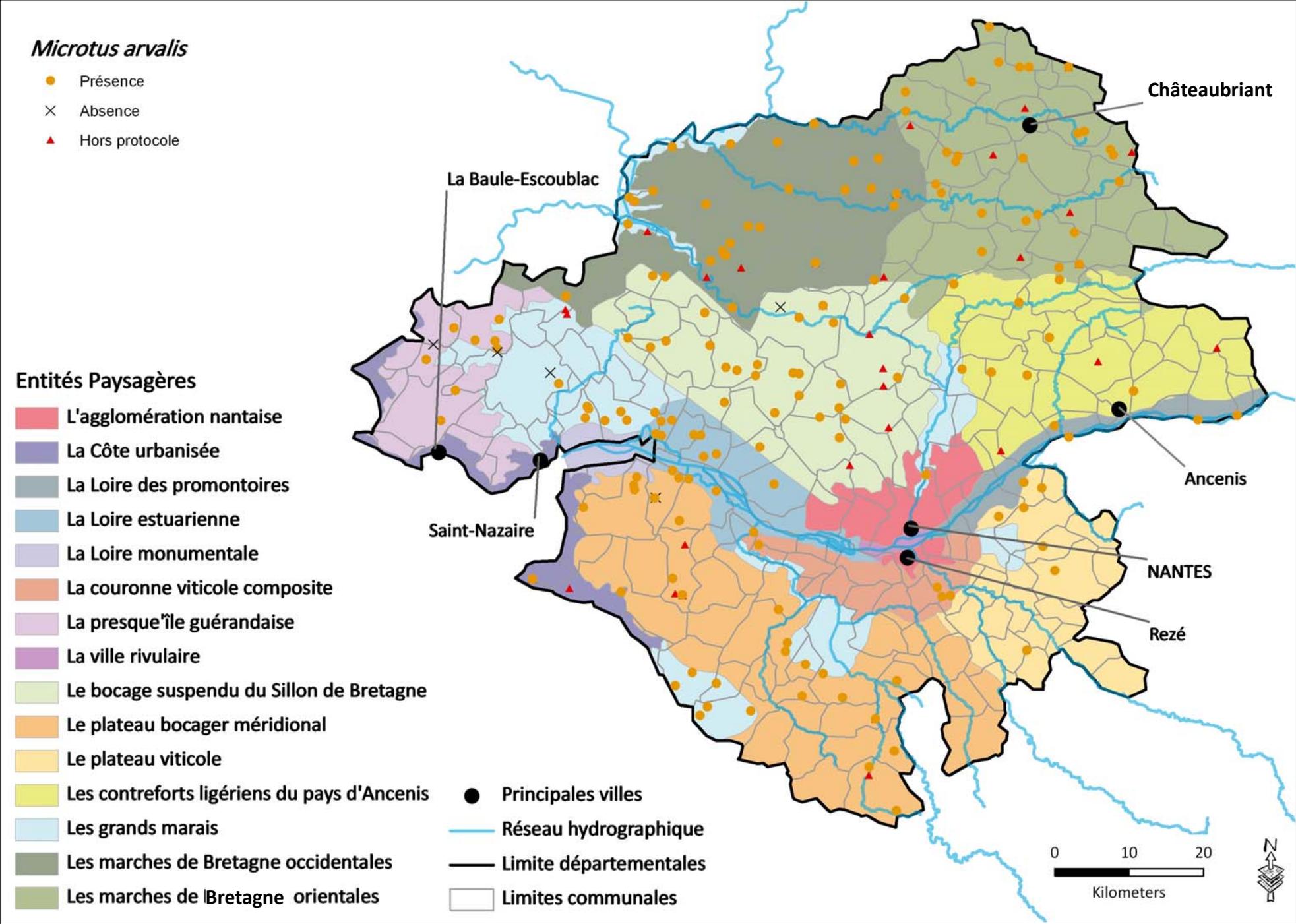
Cartes n°14 : Musaraigne couronnée, <i>Sorex coronatus</i> (Millet, 1828).....	33-34
Cartes n°15 : Musaraigne pygmée, <i>Sorex minutus</i> (Linnaeus, 1766).....	35-36
Cartes n°16 : Crossope aquatique, <i>Neomys fodiens</i> (Pennant, 1771).....	37-38
Petit point taxonomique.....	39

Les Arvicolinés

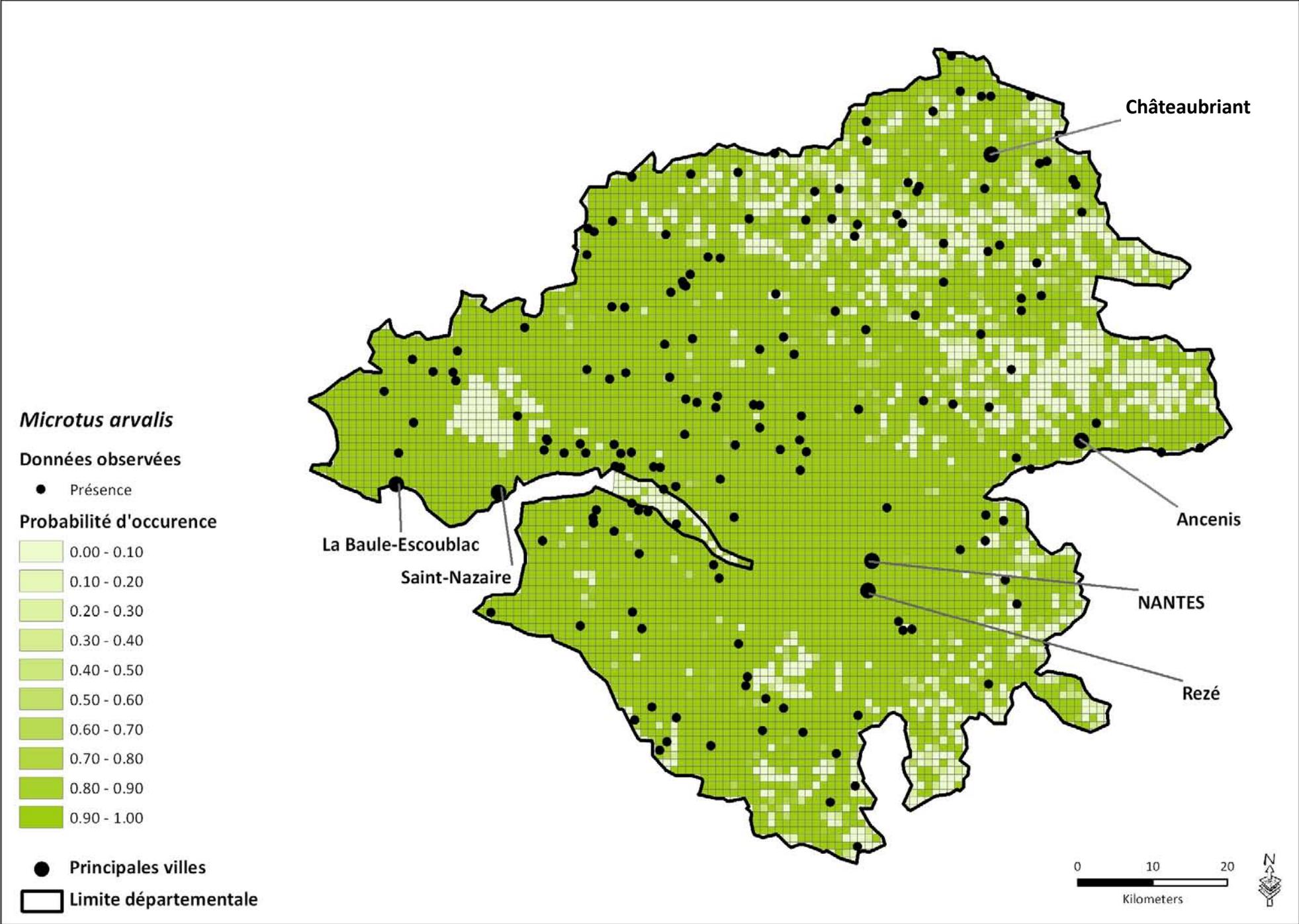


Campagnol des champs

Carte n°1 - a : Campagnol des champs, *Microtus arvalis* (Pallas, 1778) – Répartition réelle



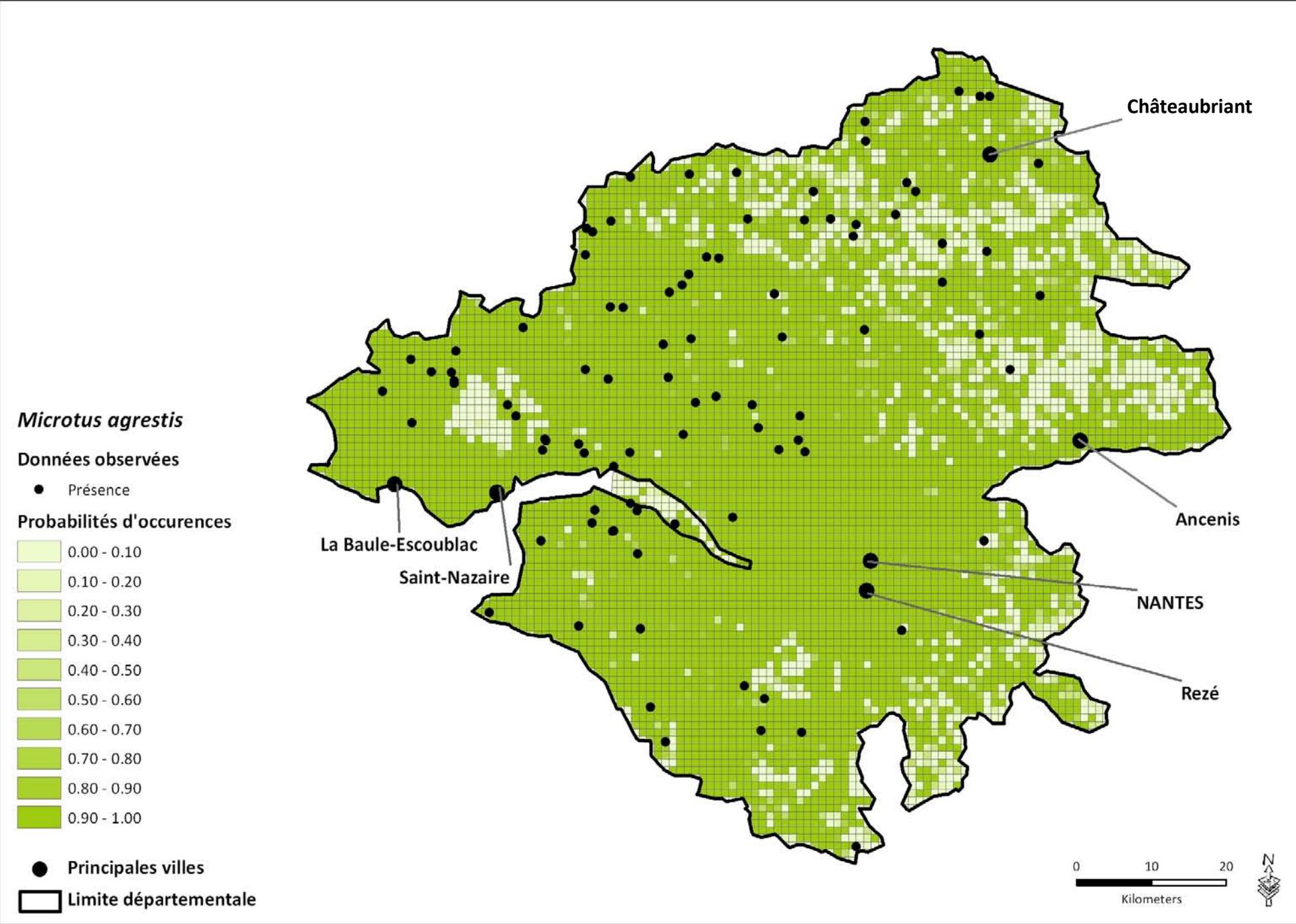
Carte n°1 - b : Campagnol des champs, *Microtus arvalis* (Pallas, 1778) – Répartition estimée



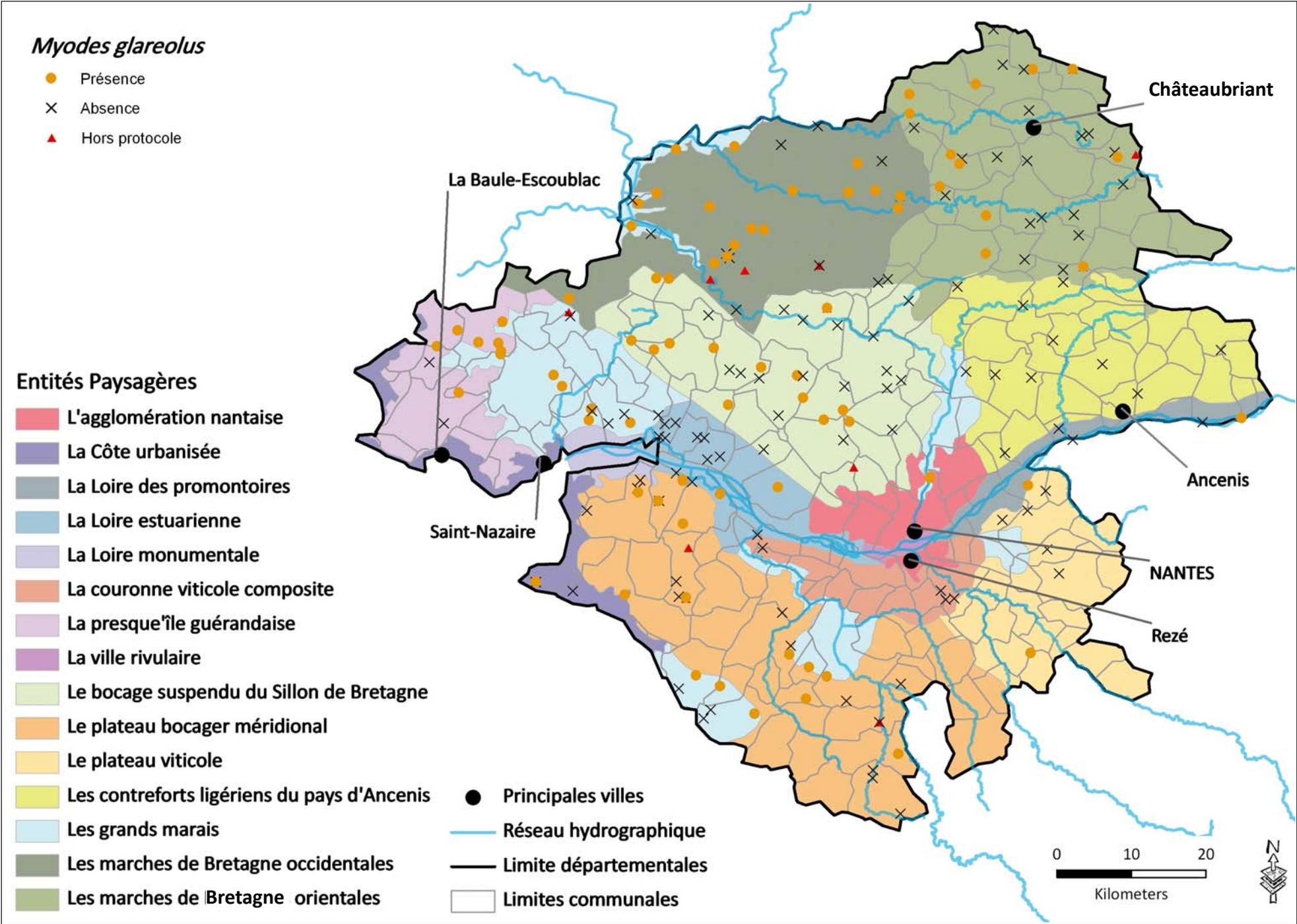
Carte n°2 - a : Campagnol agreste, *Microtus agrestis* (Lannaeus, 1761) – Répartition réelle



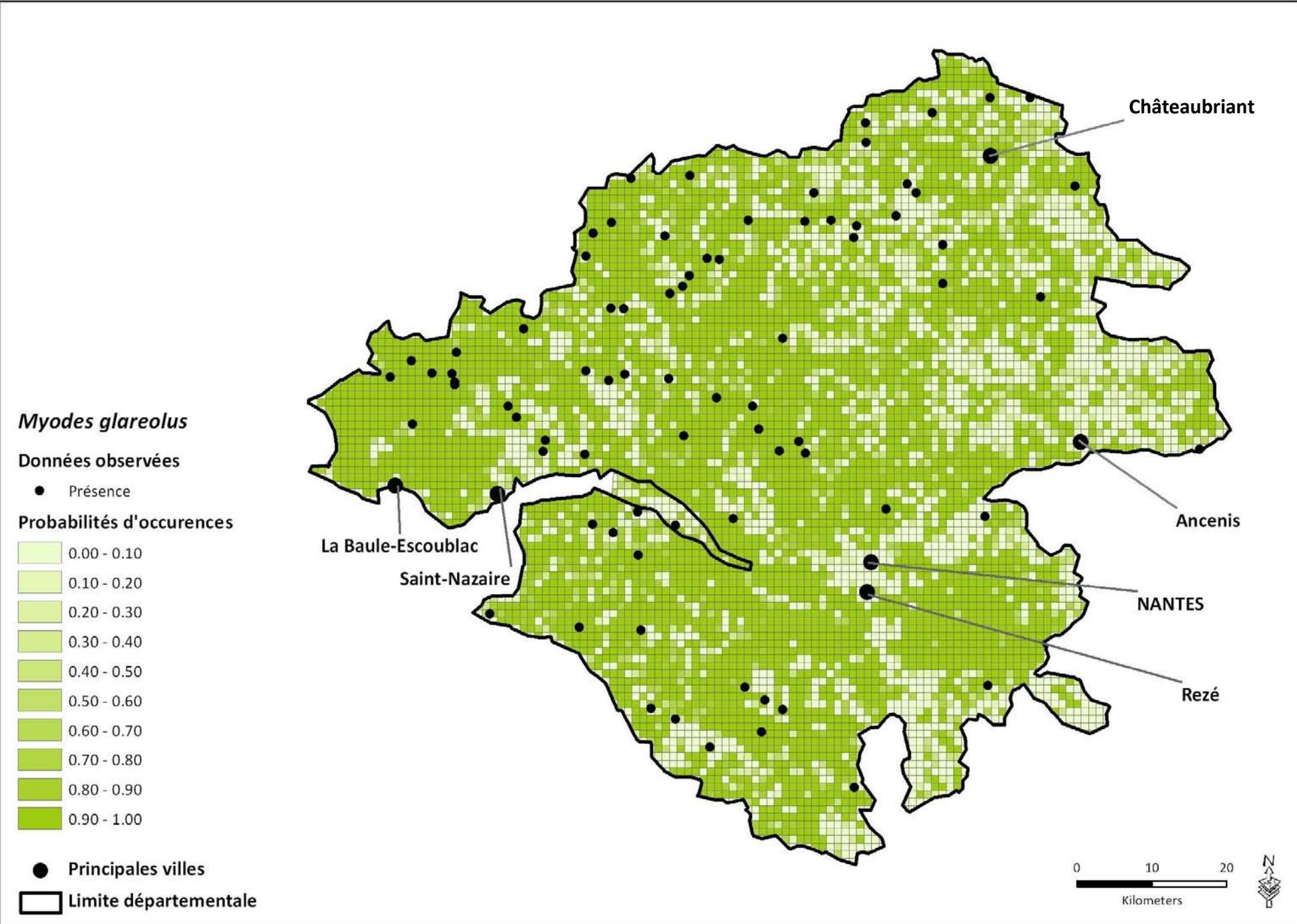
Carte n°2 - b : Campagnol agreste, *Microtus agrestis* (Lannaeus, 1761) – Répartition réelle



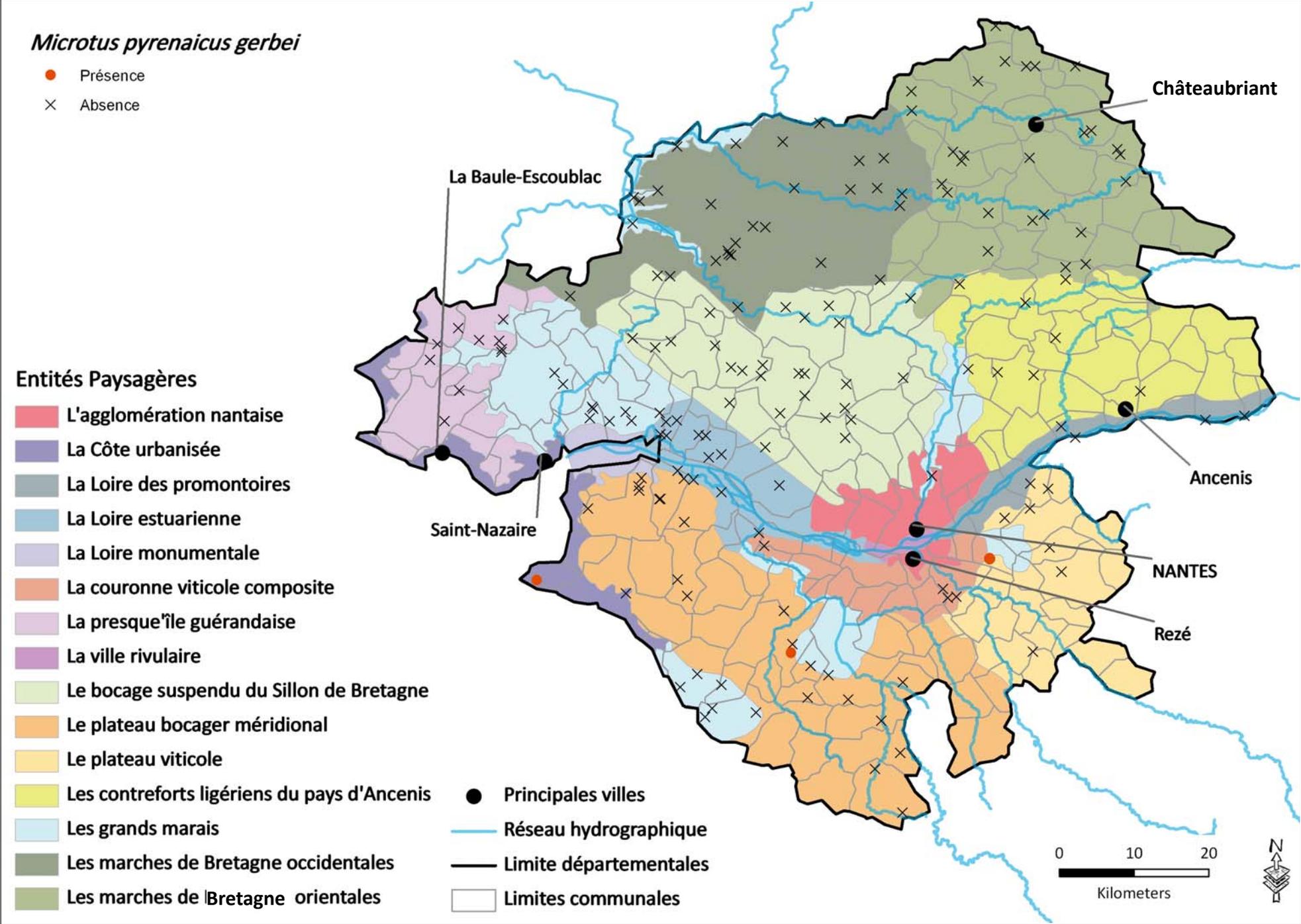
Carte n°3 – a : Campagnol roussâtre, *Myodes glareolus* (Schreber, 1780) – Répartition réelle



Carte n°3 – b : Campagnol roussâtre, *Myodes glareolus* (Schreber, 1780) – Répartition estimée

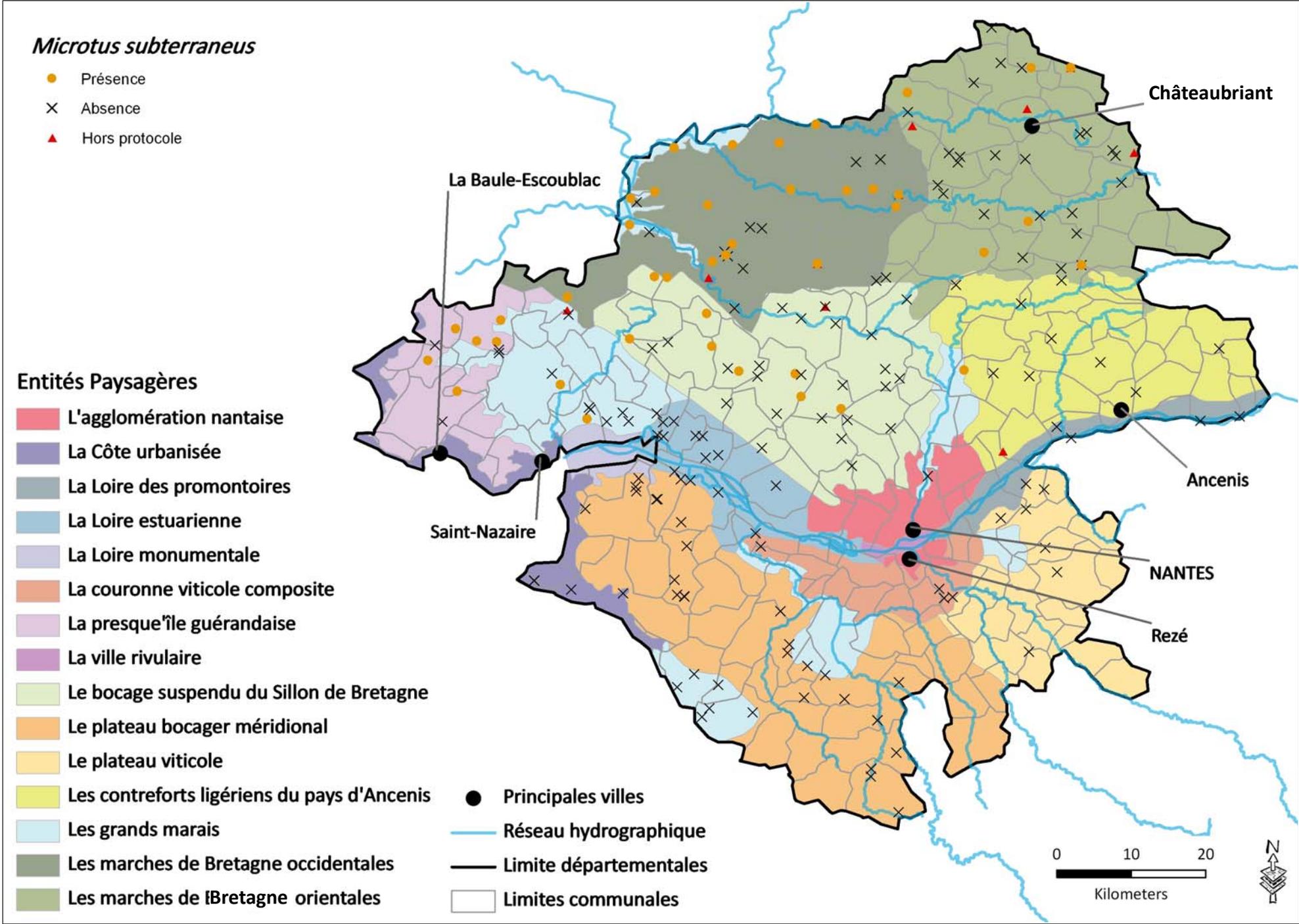


Carte n°4 – a : Campagnol des pyrénées ssp. gerbe, *Microtus pyrenaicus gerbei* (De Sélys-Longchamps, 1847) – répartition réelle

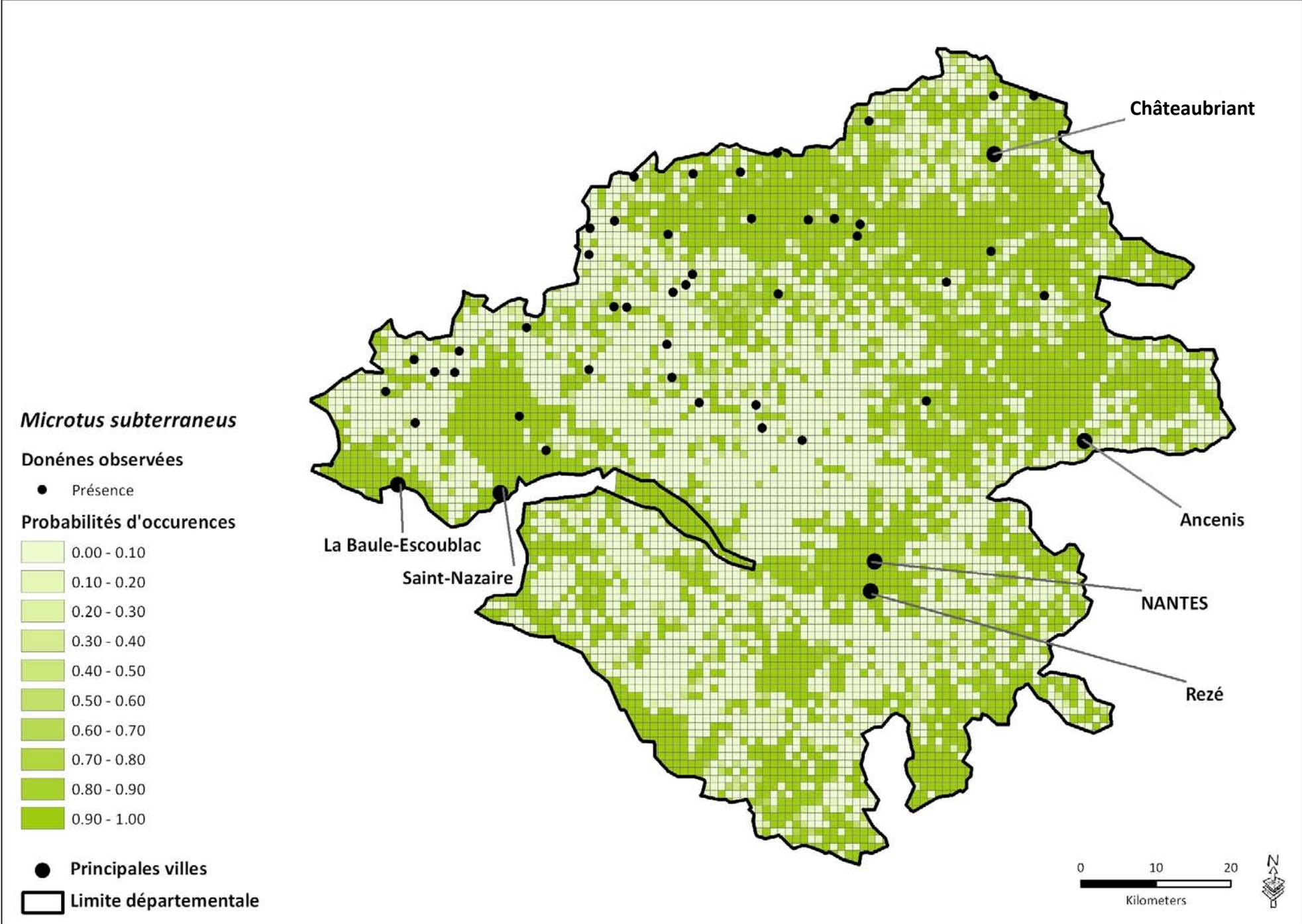


Non estimable

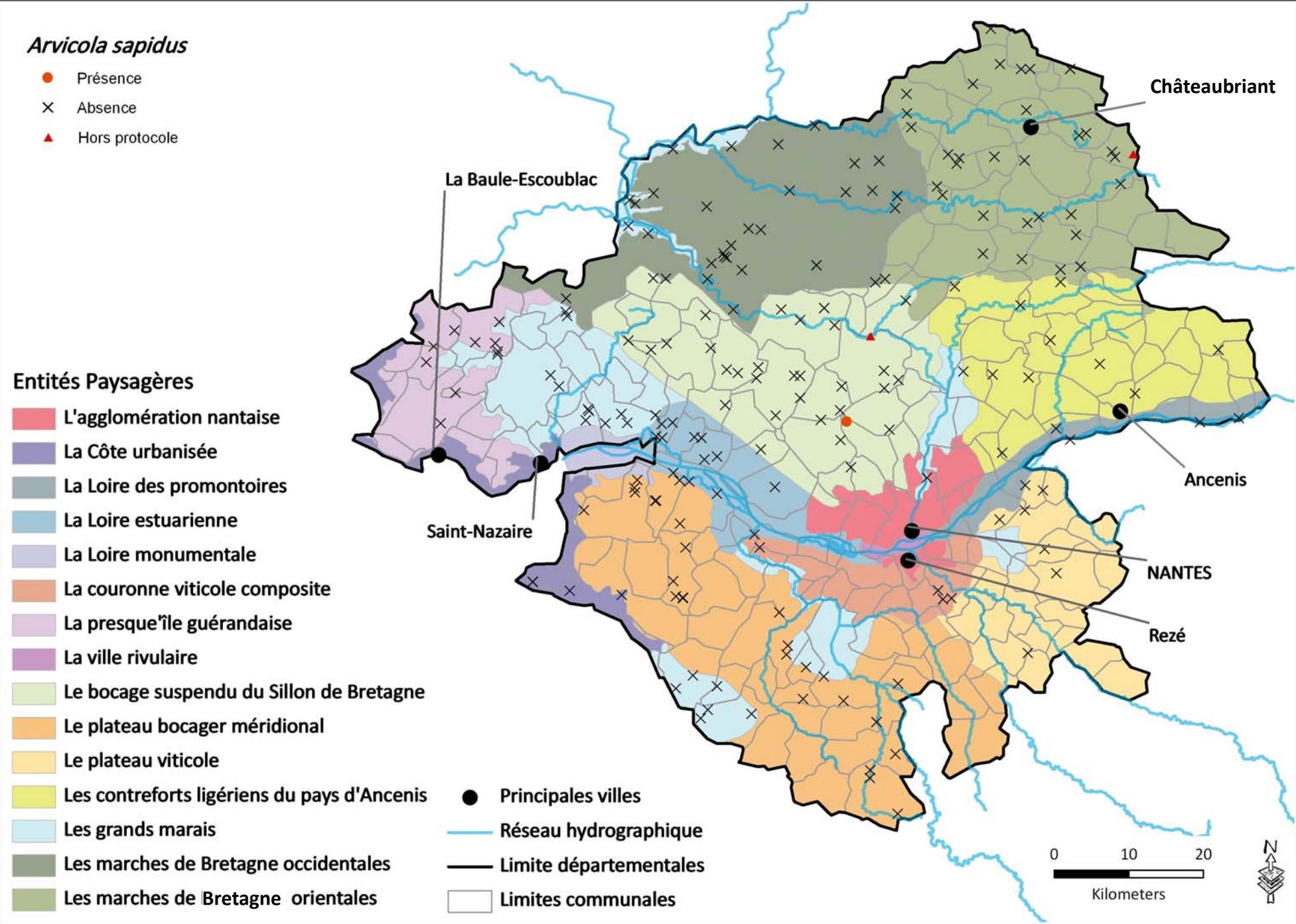
Cartes n°5 - a : Campagnol souterrain, *Microtus subterraneus* (De Sélys-Longchamps, 1838) – Répartition réelle



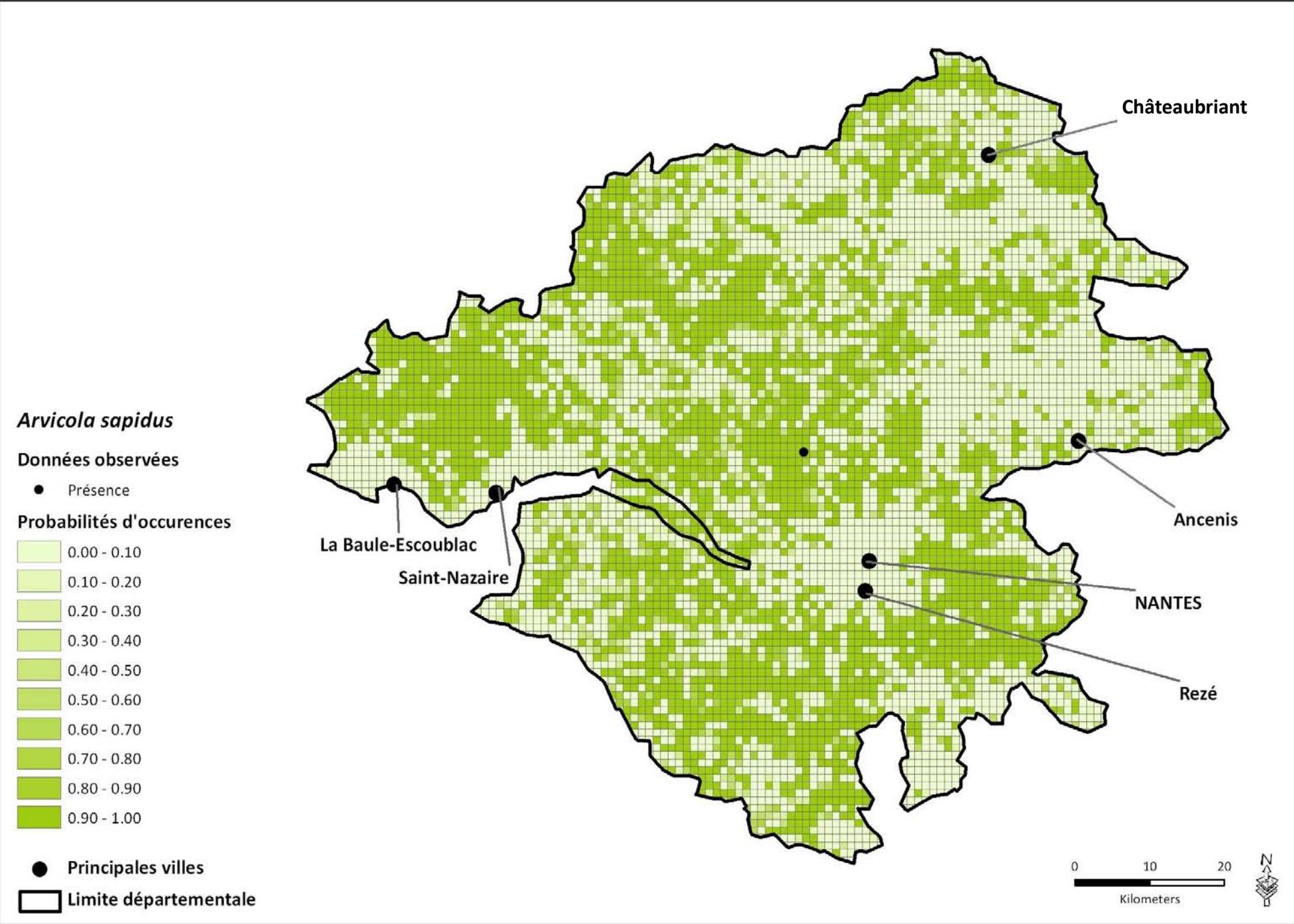
Cartes n°5 - b : Campagnol souterrain, *Microtus subterraneus* (De Sélys-Longchamps, 1838) – Répartition estimée



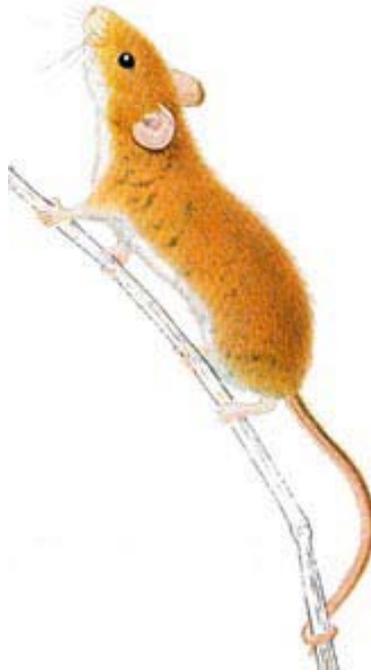
Carte n°6 – a : Campagnol amphibie, *Arvicola sapidus* (Miller, 1908) – Répartition réelle



Carte n°6 – b : Campagnol amphibie, *Arvicola sapidus* (Miller, 1908) – Répartition estimée

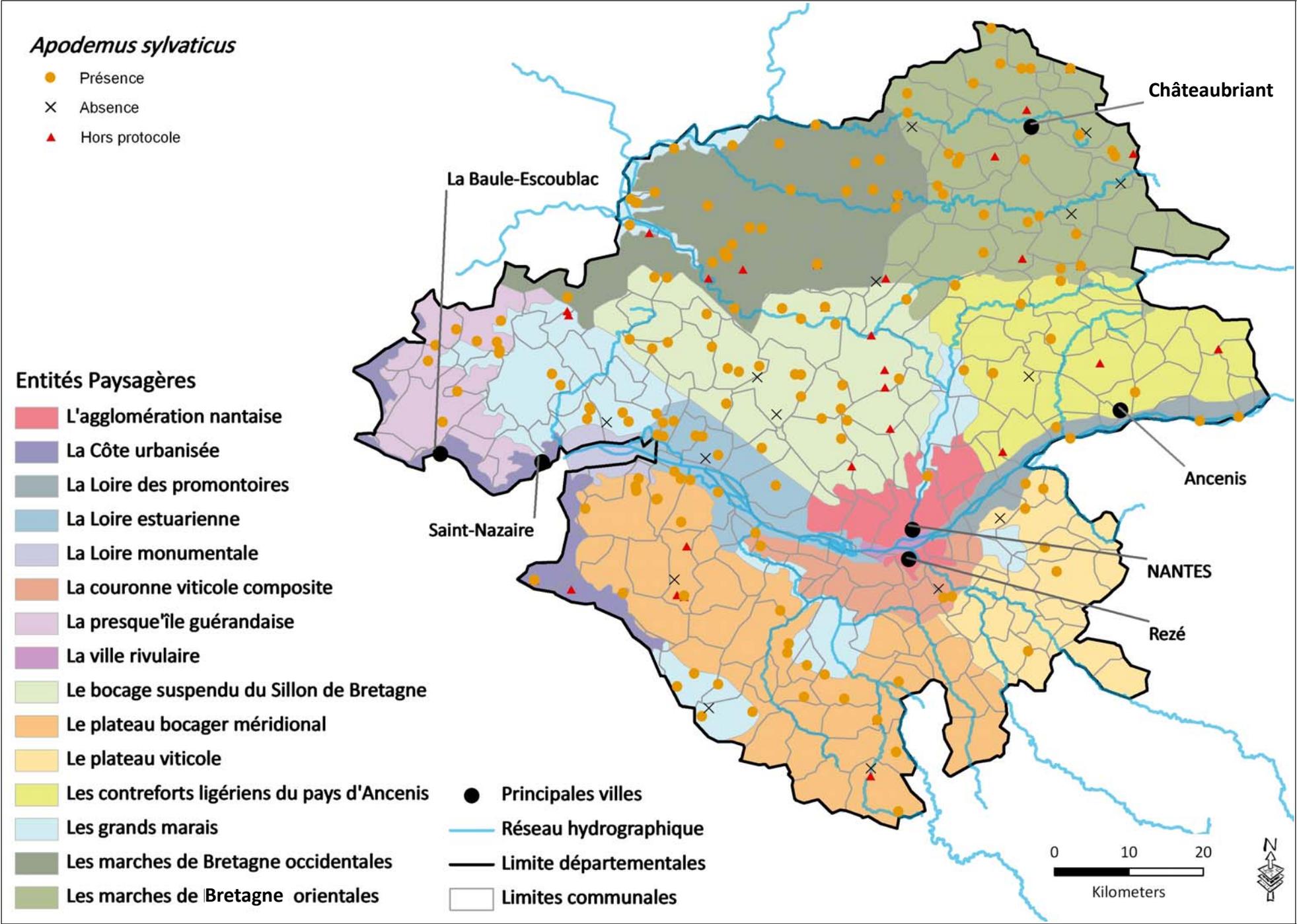


Les Murinés

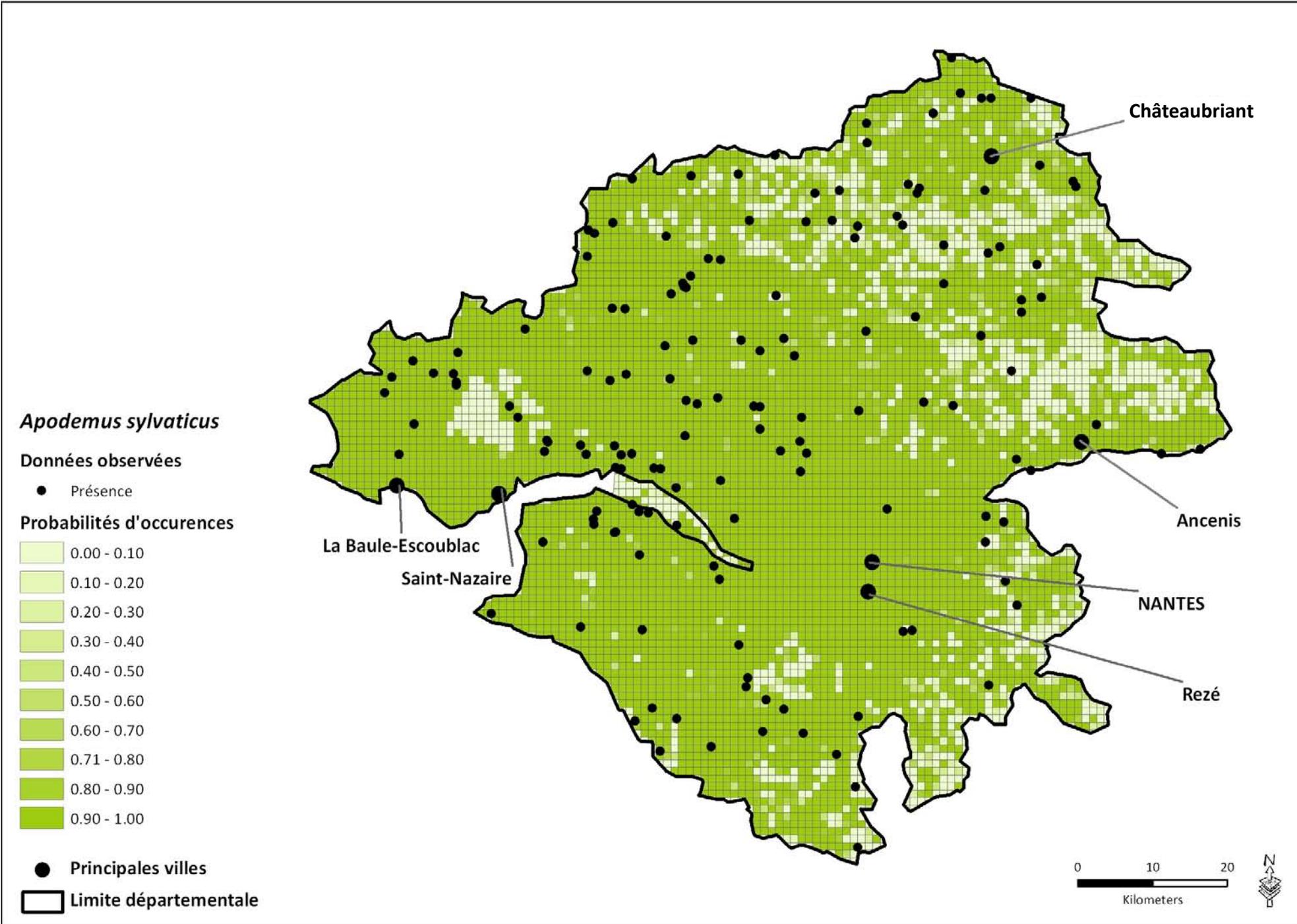


Rat des moissons

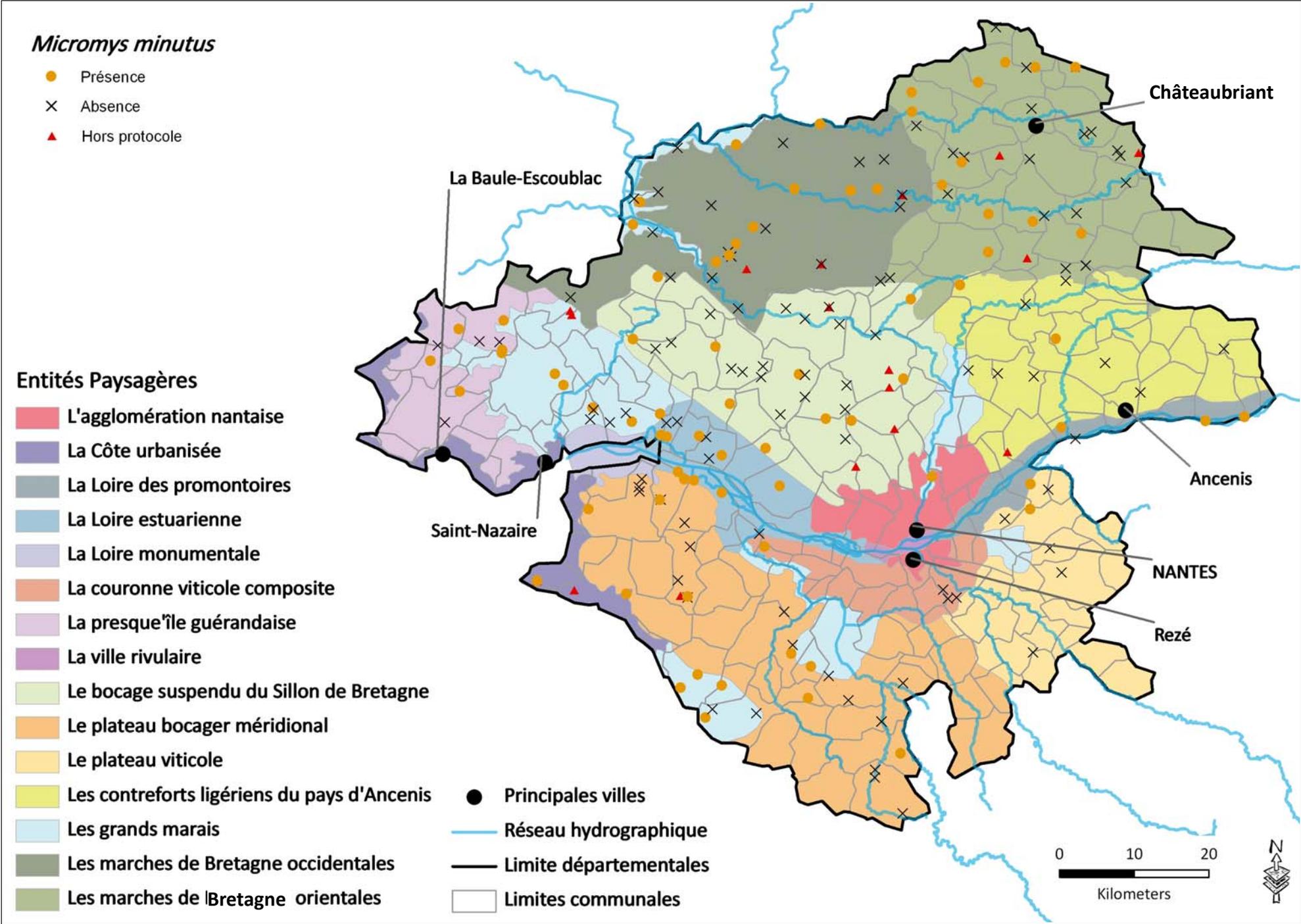
Carte n°7 - a : Mulot sylvestre, *Apodemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758) – Répartition réelle



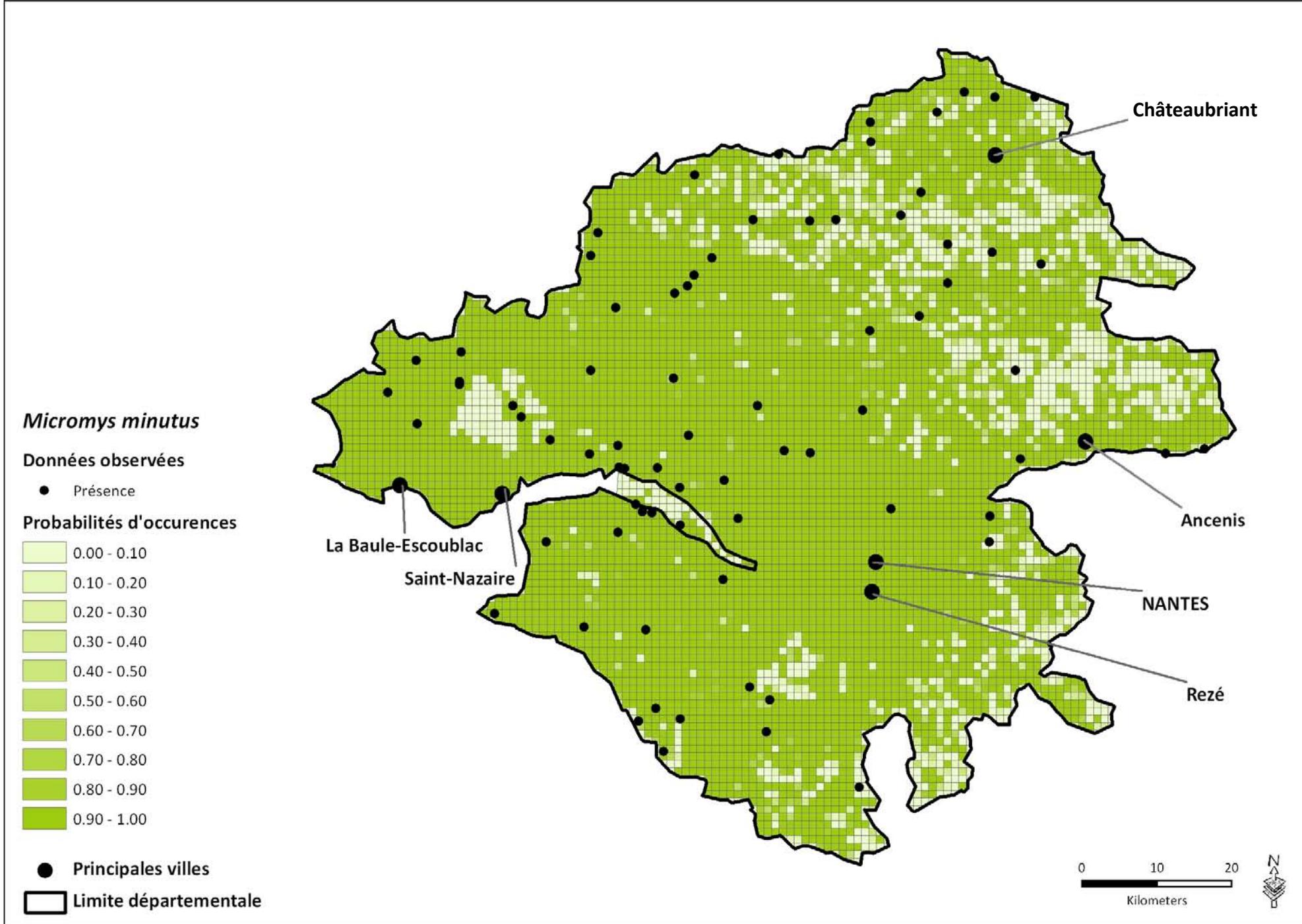
Carte n°7 - b : Mulot sylvestre, *Apodemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758) – Répartition estimée



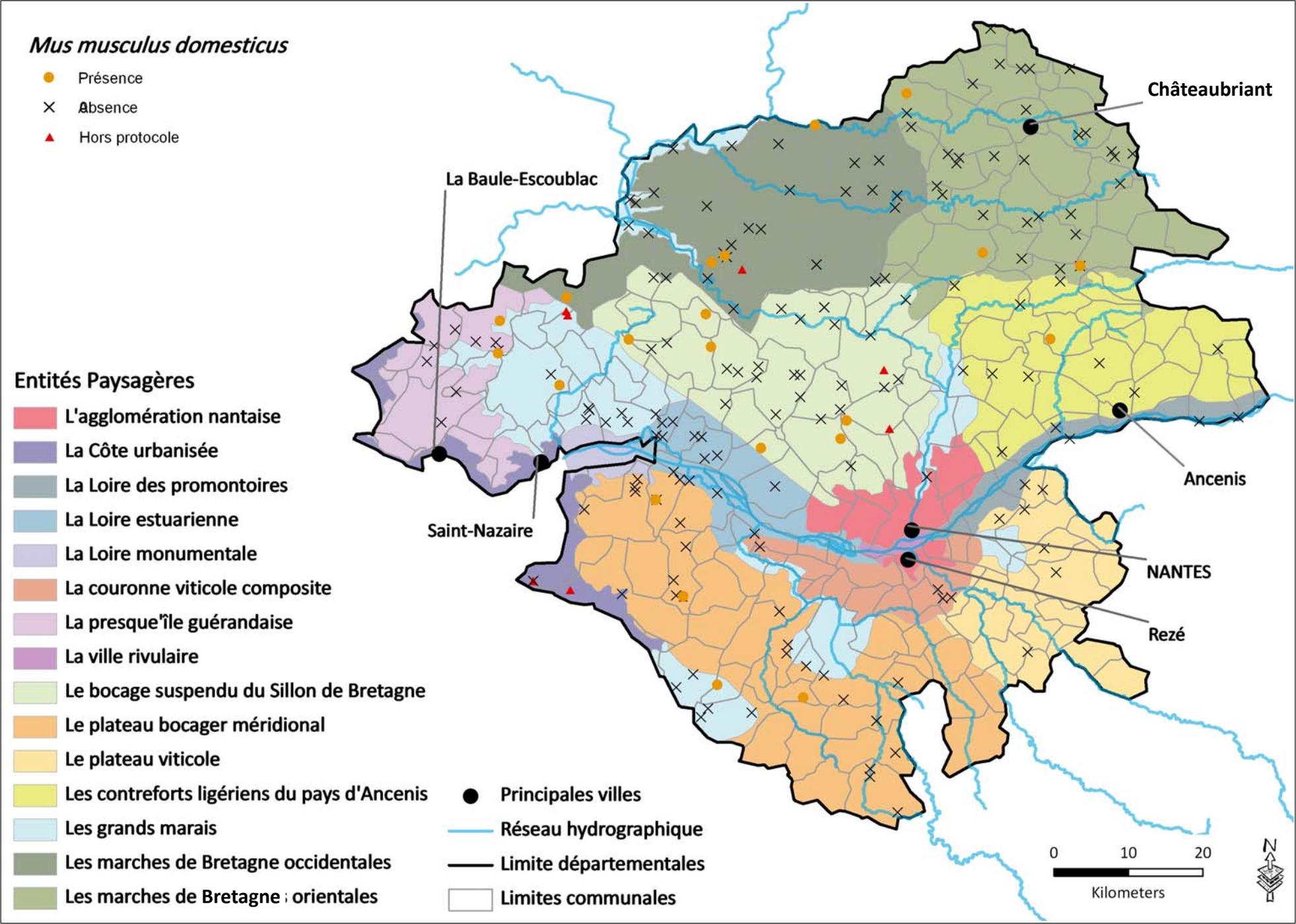
Carte n°8 - a : Rat des moissons, *Micromys minutus* (Pallas, 1771) – Répartition réelle



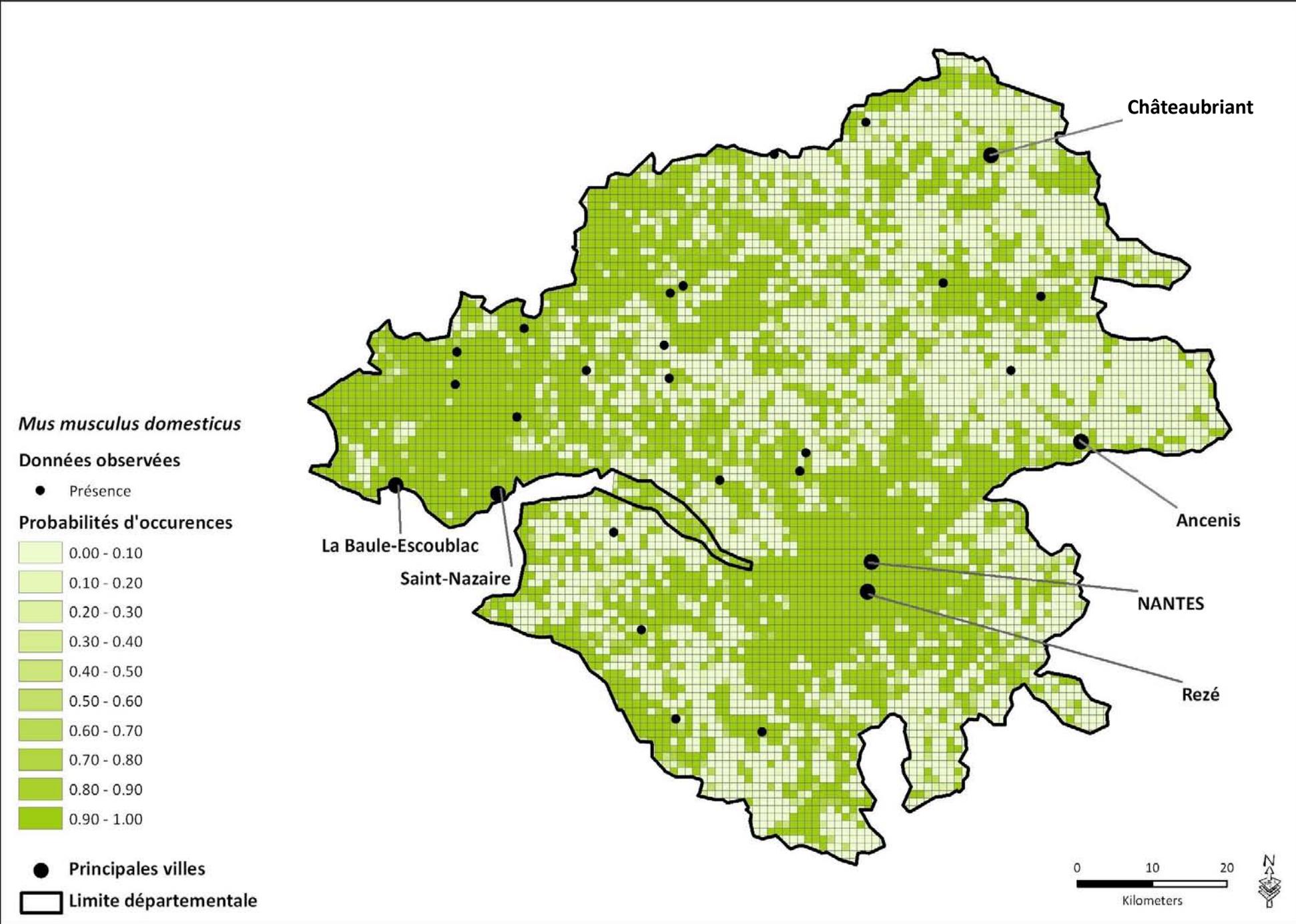
Carte n°8 - b : Rat des moissons, *Micromys minutus* (Pallas, 1771) – Répartition estimée



Carte n°9 – a : Souris grise domestique, *Mus musculus domesticus* (Linnaeus, 1771) – Répartition réelle



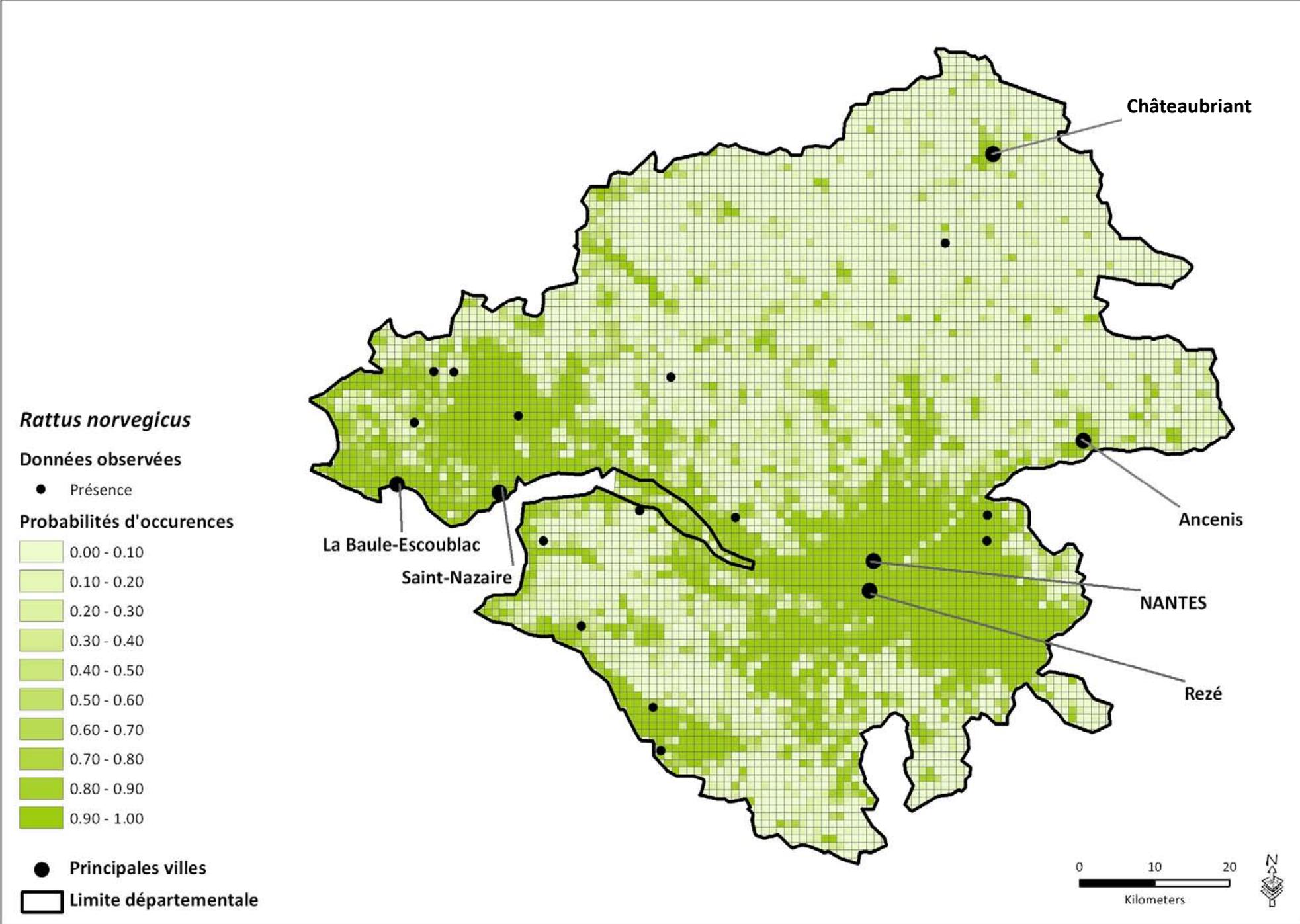
Carte n°9 – b : Souris grise domestique, *Mus musculus domesticus* (Linnaeus, 1771) – Répartition estimée



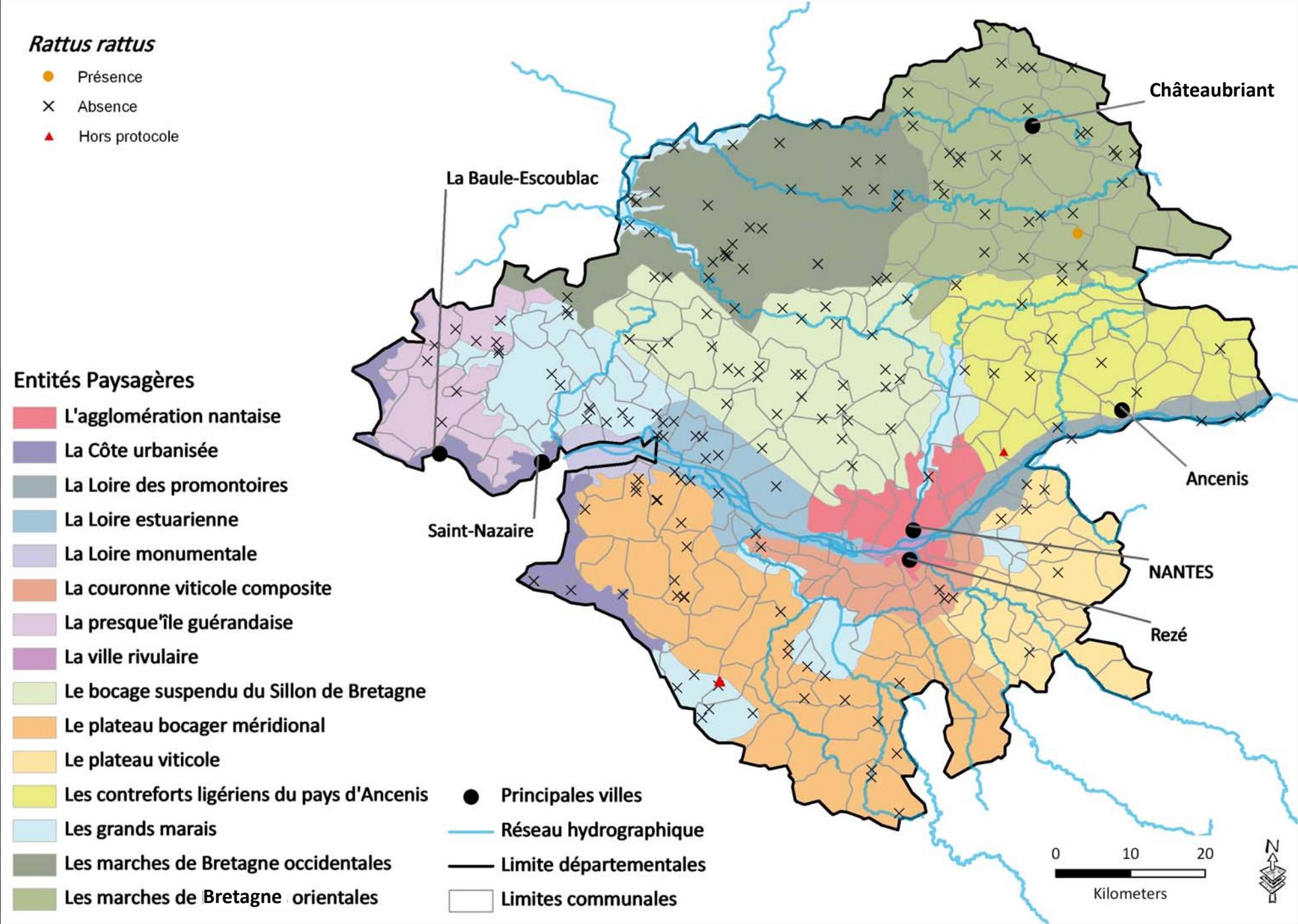
Carte n°10 - a : Rat surmulot, *Rattus norvegicus* (Berkenhout, 1769) – Répartition réelle



Carte n°10 - b : Rat surmulot, *Rattus norvegicus* (Berkenhout, 1769) – Répartition estimée

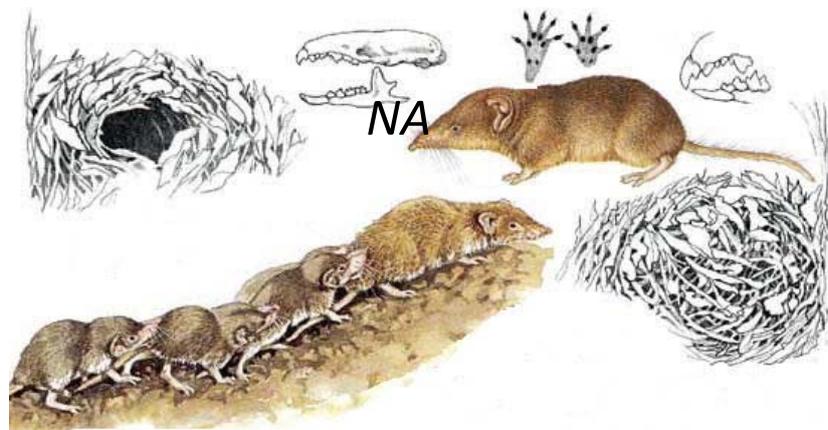


Cartes n°11 – a : Rat noir, *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) – Répartition réelle



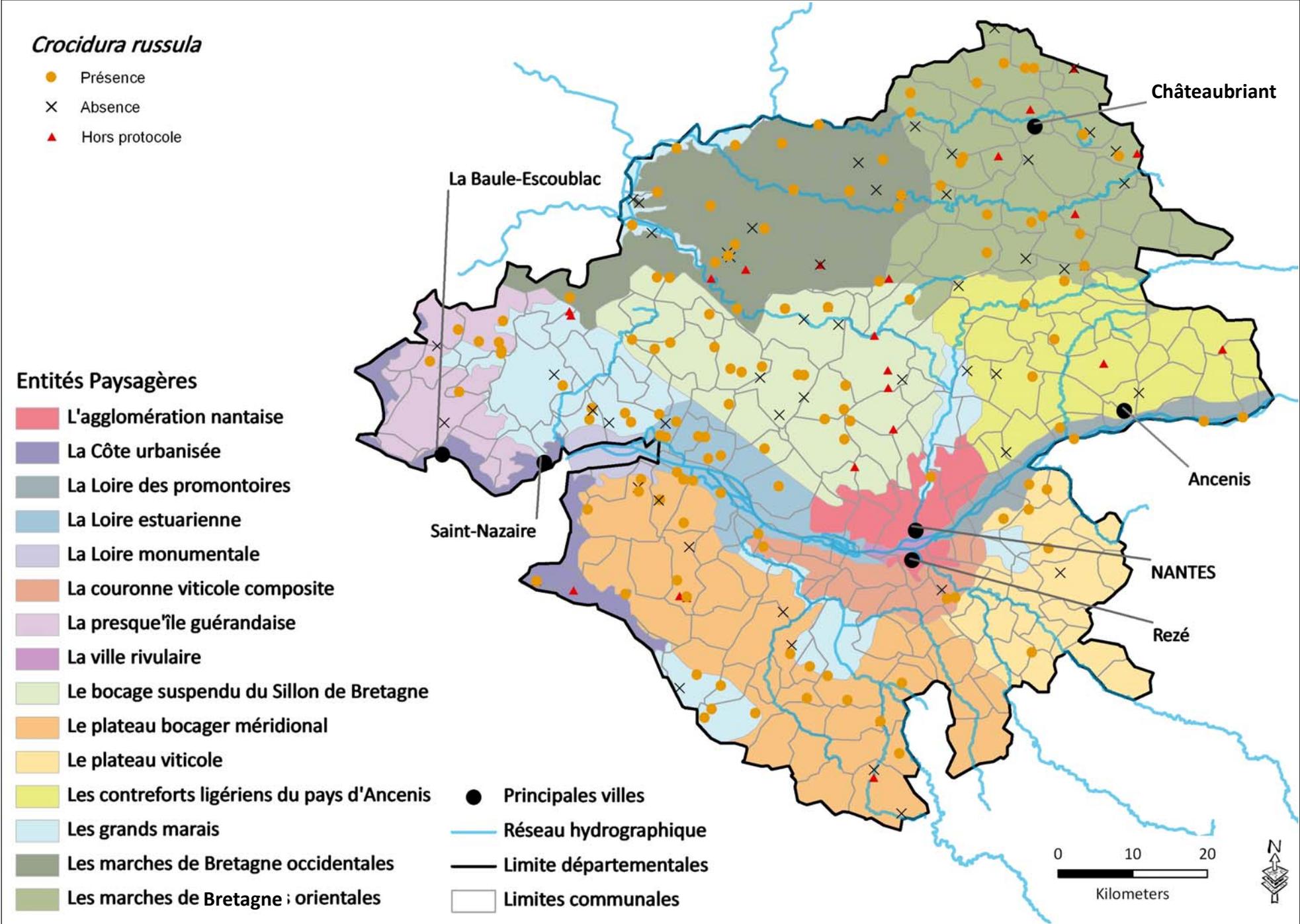
Non estimable

Les Crocidurinés

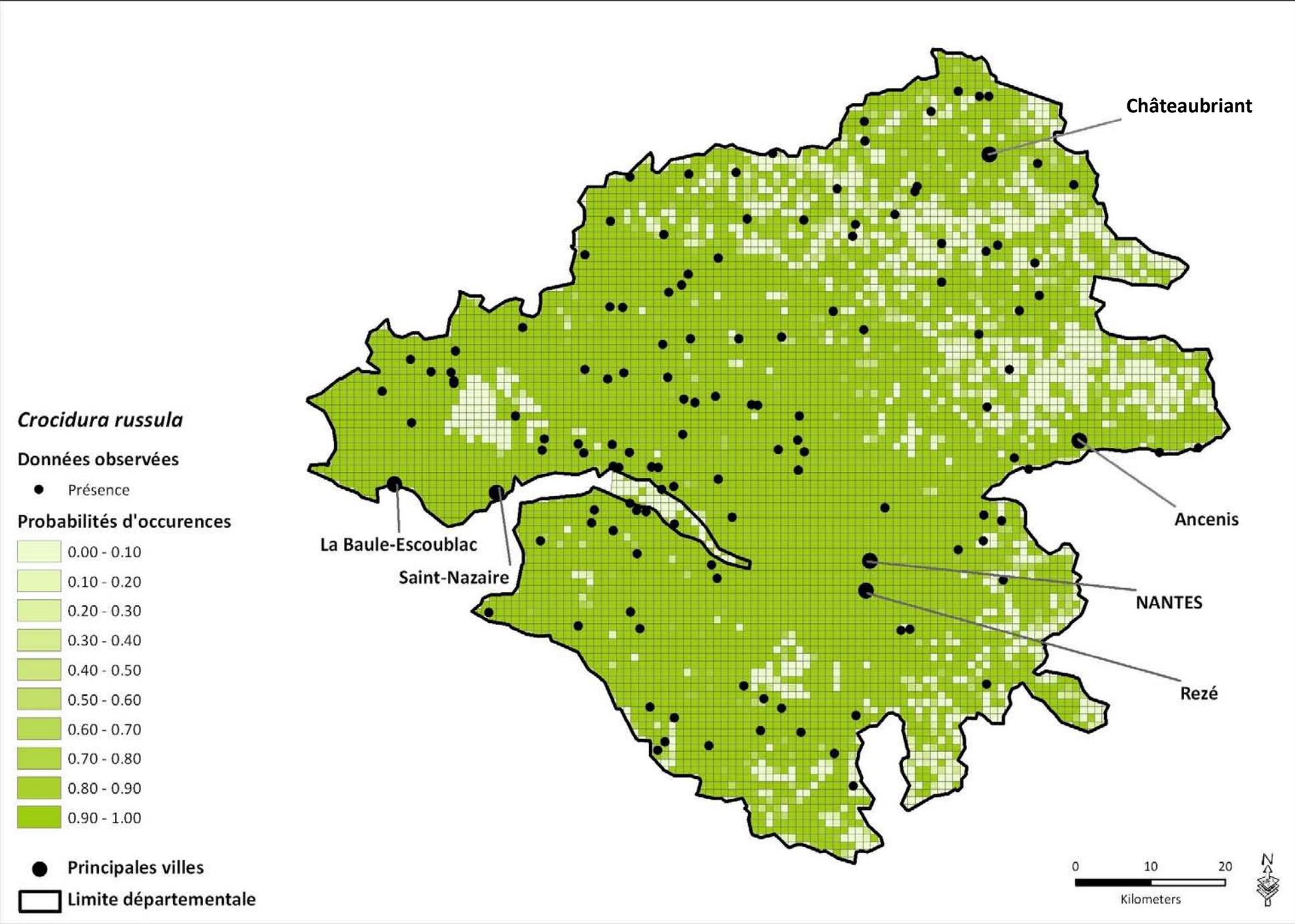


Crocidure musette

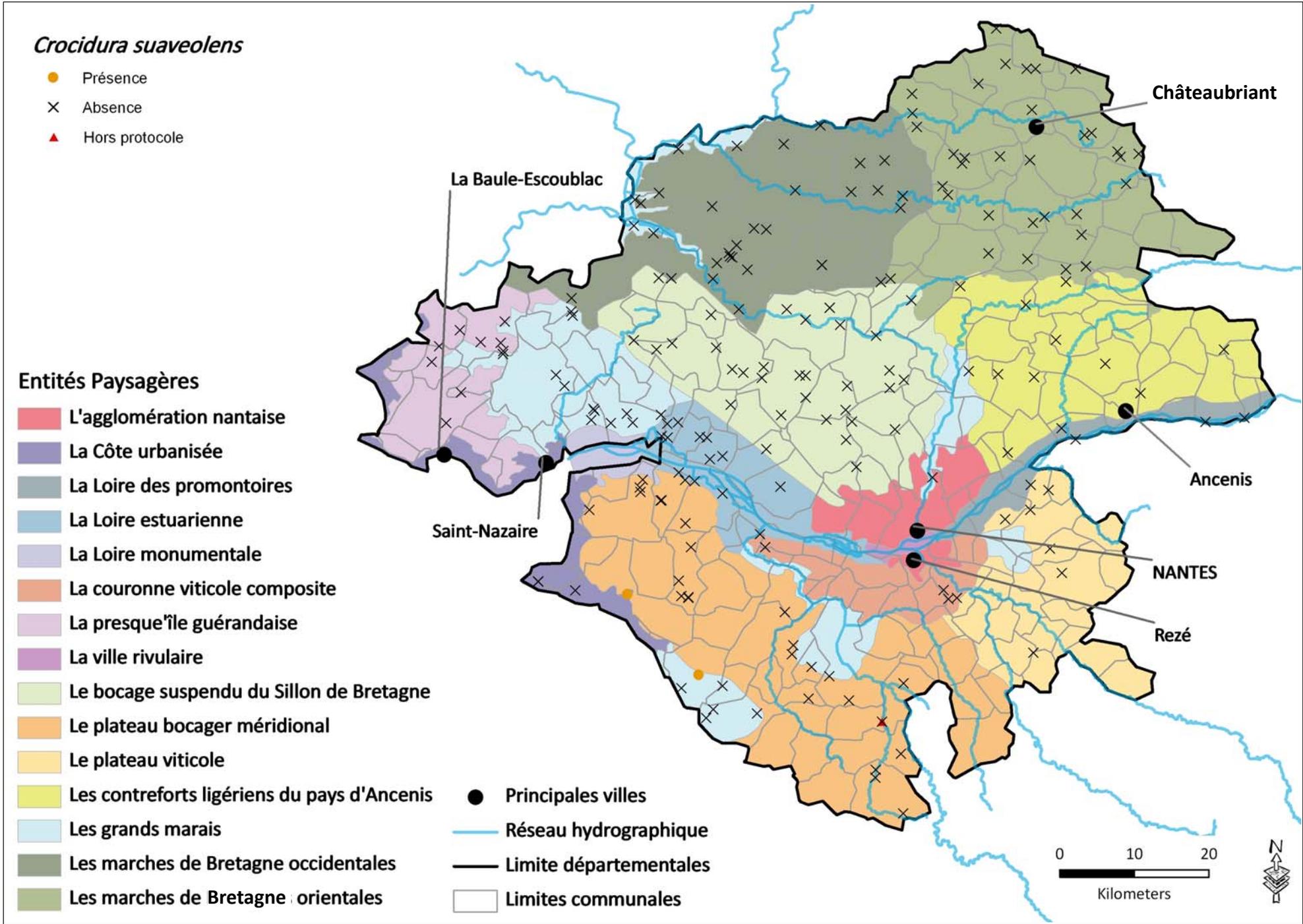
Carte n°12 – a : Crocidure musette, *Crocidura russula* (Hermann, 1780) – Répartition réelle



Carte n°12 – b : Crocidure musette, *Crocidura russula* (Hermann, 1780) – Répartition estimée

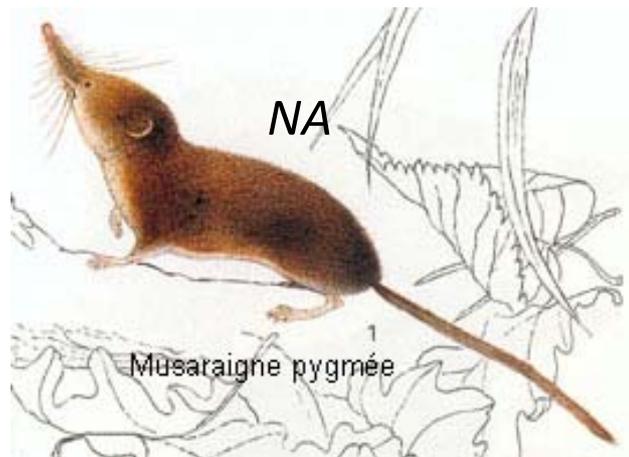


Carte n°13 – a : Crocidure des jardins, *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811) – Répartition réelle

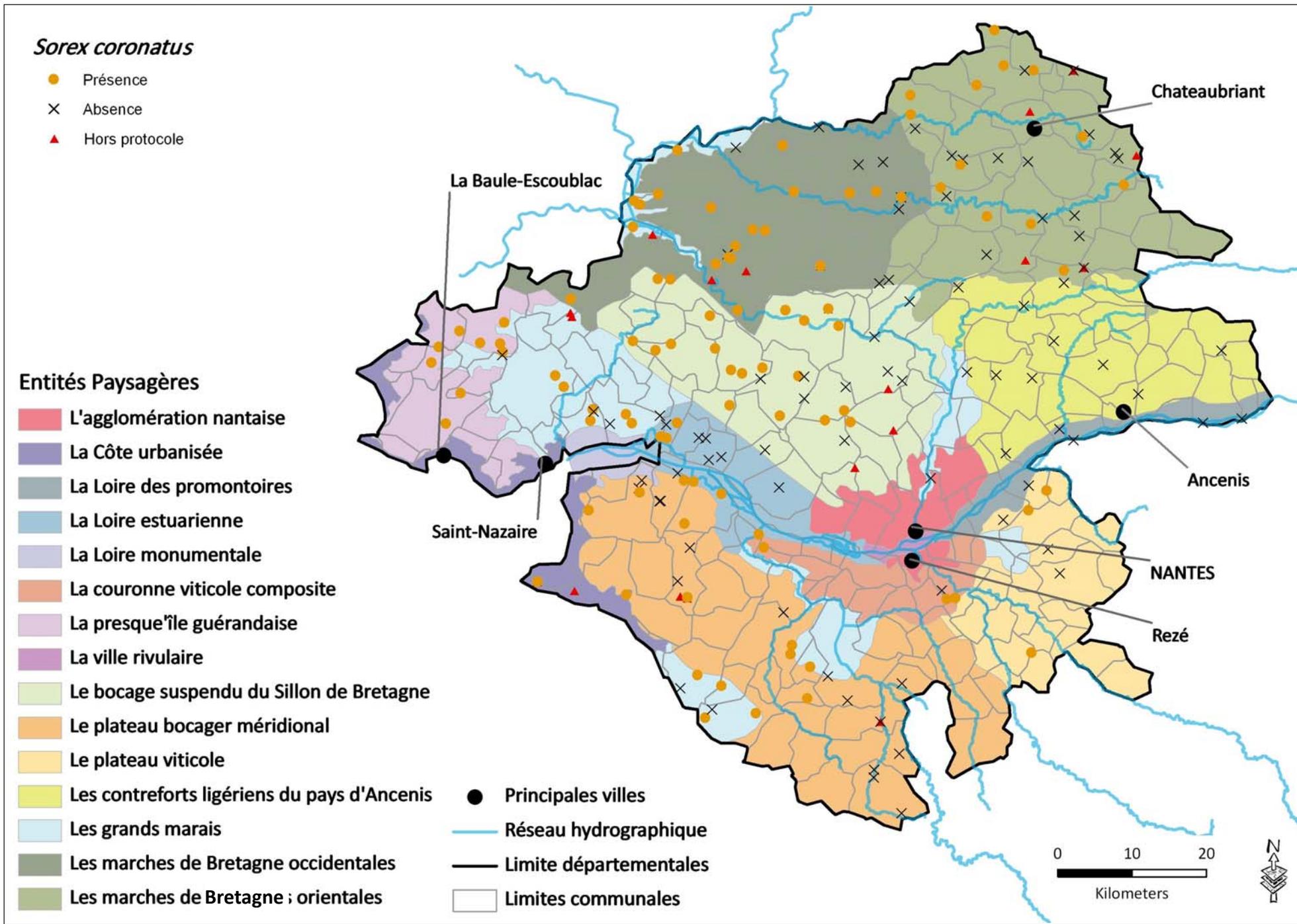


Non estimable

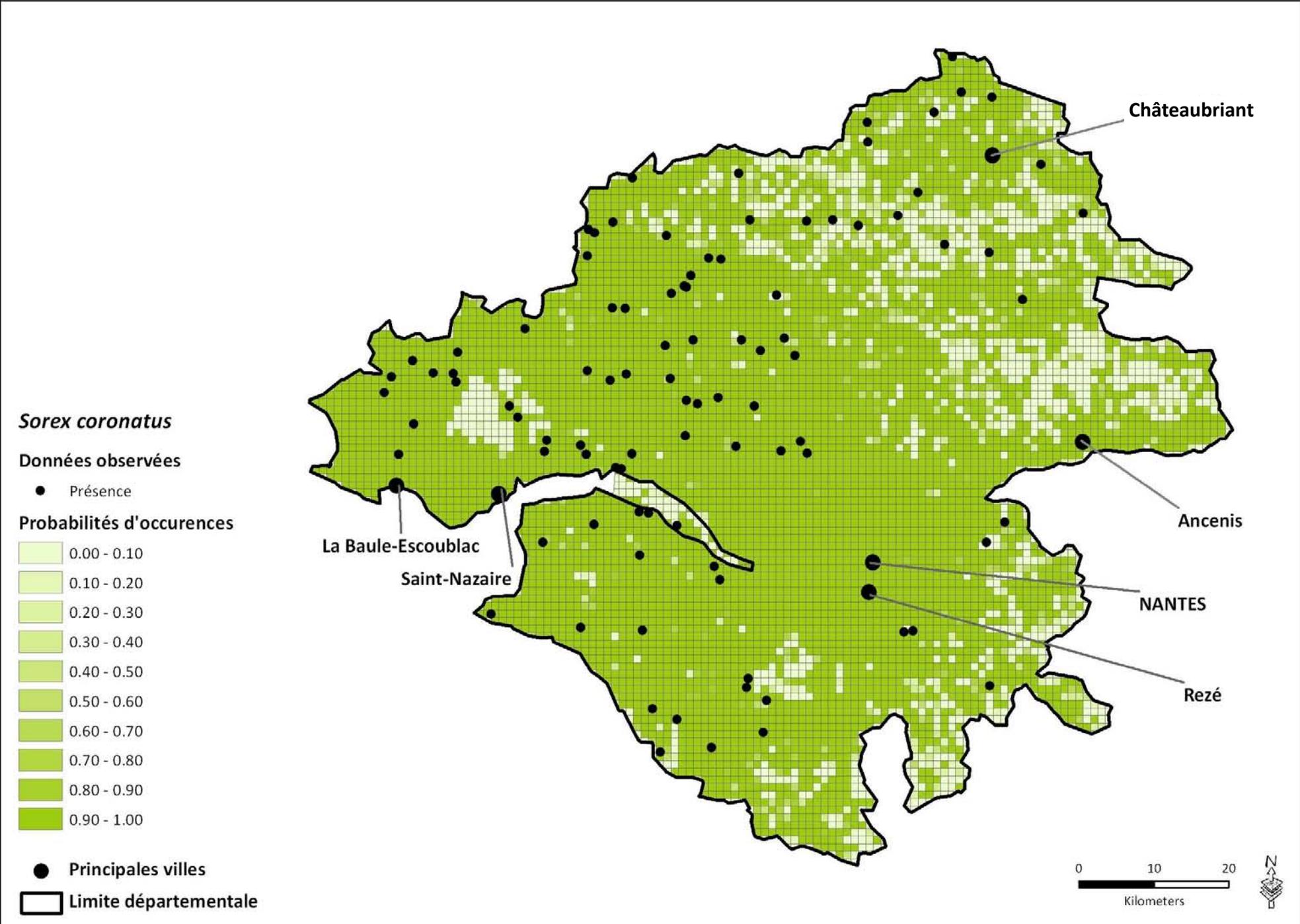
Les Soricinés



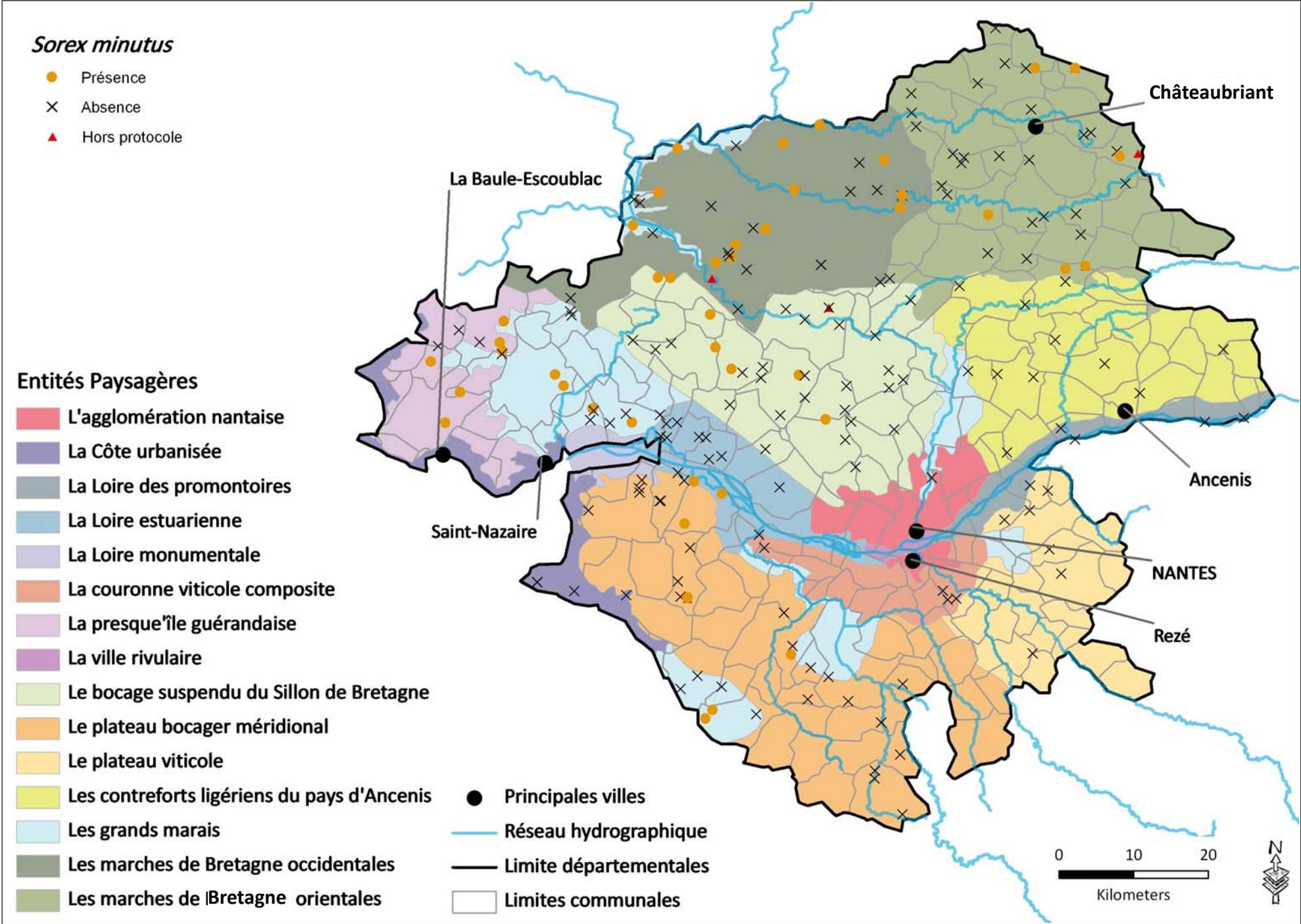
Carte n°14 - a : Musaraigne couronnée, *Sorex coronatus* (Millet, 1828) – Répartition réelle



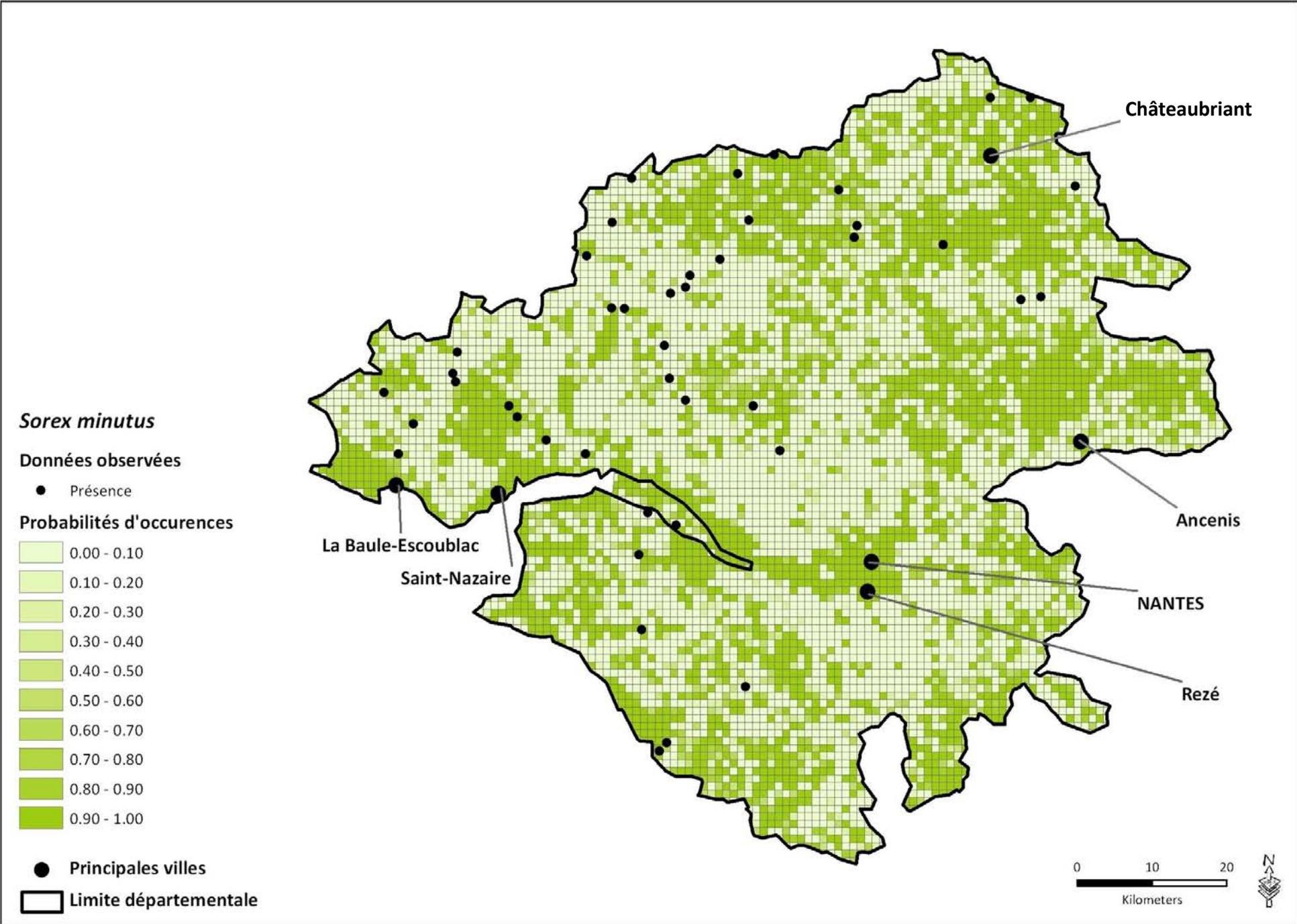
Carte n°14 - b : Musaraigne couronnée, *Sorex coronatus* (Millet, 1828) – Répartition estimée



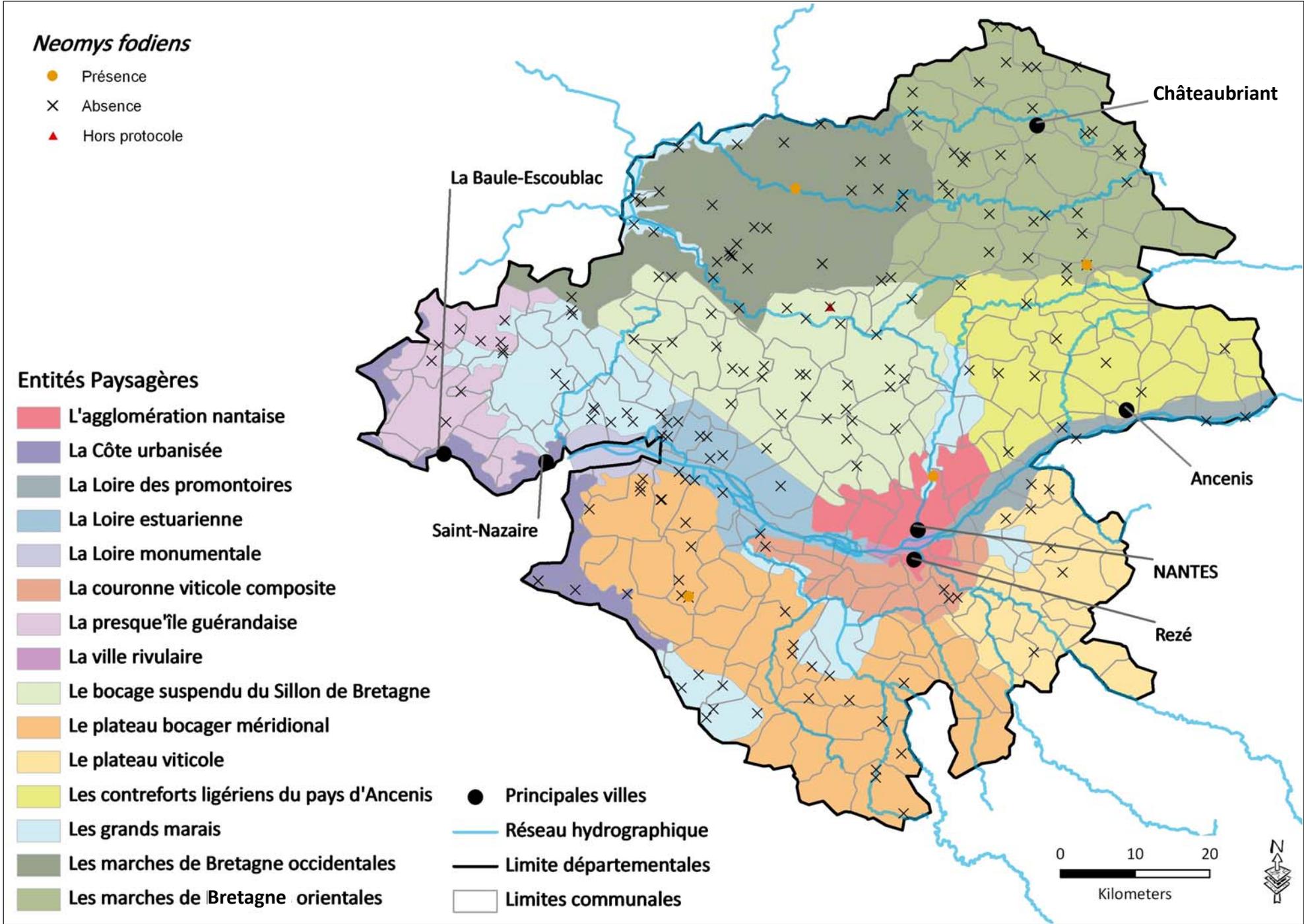
Carte n°15 - a : Musaraigne pygmée, *Sorex minutus* (Linnaeus, 1766) – Répartition réelle



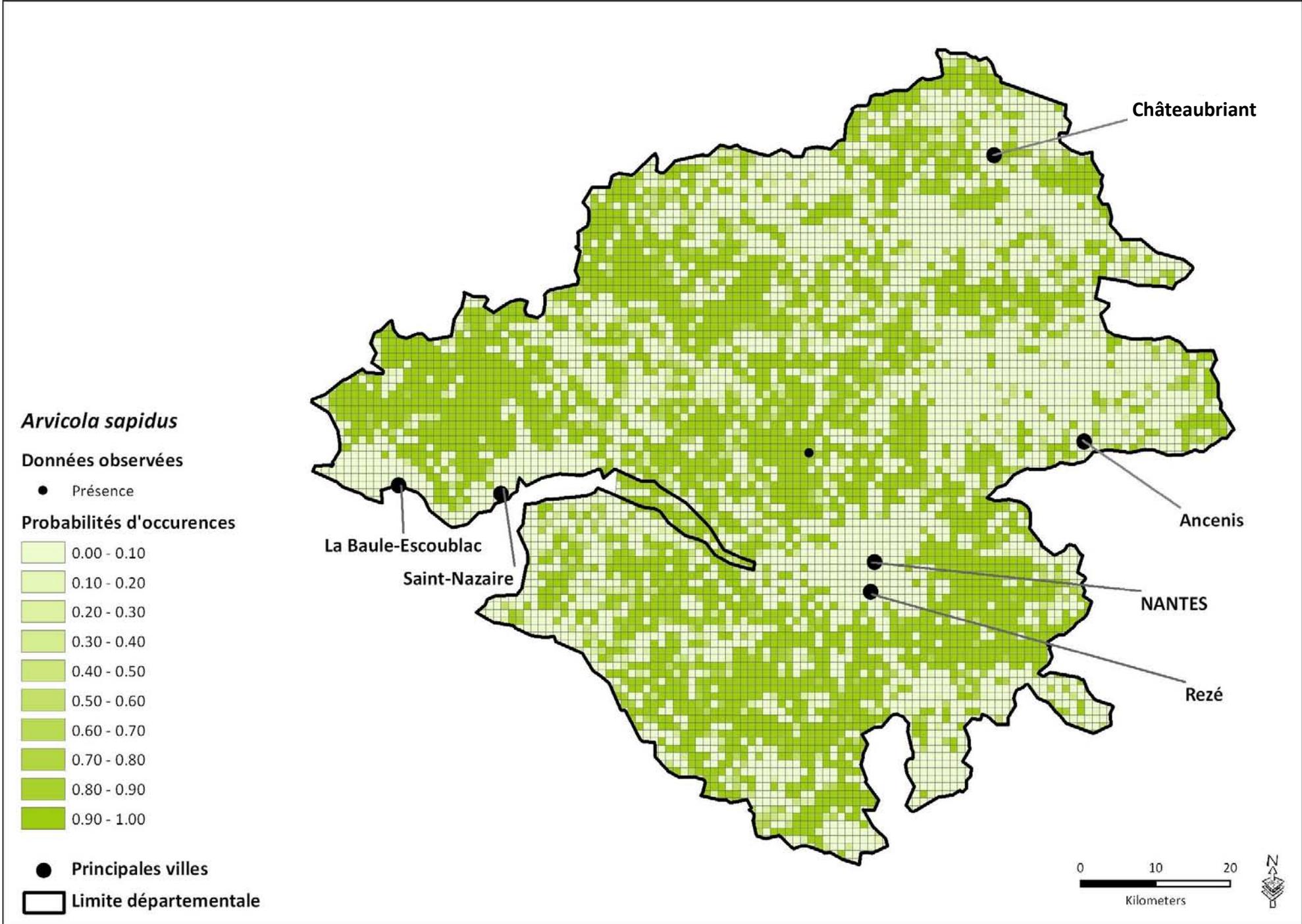
Carte n°15 - b : Musaraigne pygmée, *Sorex minutus* (Linnaeus, 1766) – Répartition estimée



Cartes n°16 – a : Crossope aquatique, *Neomys fodiens* (Pennant, 1771) – Répartition réelle



Cartes n°16 - b : Crossope aquatique, *Neomys fodiens* (Pennant, 1771) – Répartition estimée



Petit point taxonomique

- Concernant la Souris gris domestique, on lit dans de nombreux ouvrages et publications les noms scientifiques *Mus musculus* ou *Mus domesticus*. Il est bon de rapeller que l'appellation "souris domestique" recouvre en fait quatre sous-espèces (élevées parfois au rang d'espèce par certains auteurs) qui ont divergé dans le sous-continent Indien voici 500000 ans, à partir d'un ancêtre commun (*Mus musculus*) :

- x *Mus musculus domesticus* : Europe de l'Ouest, Amérique du Nord et du Sud, Afrique, Australie.
- x *Mus musculus musculus* : paléarctique nord sauf l'Europe de l'Ouest.
- x *Mus musculus bactrianus* : centre et sud de l'Inde, Chine.
- x *Mus musculus castaneus* : Asie du Sud-Est.

Mus m. domesticus, occupant l'Europe de l'Ouest depuis l'âge de bronze, y est séparée de *Mus m. musculus* par une étroite zone d'hybridation allant du Danemark à la Mer Noire.

LE LOUARN H., QUERE J.-P., 2011. Les Rongeurs de France – Faunistique et biologie – 3^e édition revue et augmentée. QUAE éditions, 313 p.

- Le Campagnol des Pyrénées, élevé à tort au niveau d'espèce est appelé Campagnol de Gerbe, *Microtus gerbei*. Mais selon BRUNET-LECOMTE [COM PERS, 2010], il y a un double problème. Il y a environ 30 ans en effet, un article de Spitz dans Mammalia pouvait laisser penser que le *pyrenaicus* décrit en 1847 pourrait être en fait un *lusitanicus* ; l'article paru en français semble avoir été mal compris par les anglophones qui depuis dans les ouvrages majeurs (comme Wilson et Reeder) utilisent *gerbei* pour définir ce taxon en disant que le nom *pyrenaicus* n'est plus valide suite à l'article de Spitz. L'autre problème, plus intéressant, est en fait de savoir si *gerbei* est seulement une sous-espèce de *pyrenaicus*, ou bien une espèce distincte comme peut le faire envisager sa position marginale. Il serait intéressant de pouvoir résoudre ce problème. Un troisième point, enfin, est la mauvaise localisation de la localité-type de *gerbei* comme rapporté dans la note de de BRUNET-LECOMTE dans Mammalia [2010].

Par sécurité, il a été utilisé l'appellation Campagnol des Pyrénées sous-espèce Gerbe, *Microtus pyrenaicus gerbei*, suite aux conseils de BRUNET-LECOMTE.