



GROUPE
MAMMALOGIQUE
BRETON

TRAME Mammifères DE BRETAGNE

Notice

Juin 2020

TRAME Mammifères DE BRETAGNE

Plan d'action en faveur des continuités écologiques pour les mammifères bretons



Remerciements

La Région Bretagne, la DREAL Bretagne, l'Observatoire de l'Environnement en Bretagne, GéoBretagne, et plus particulièrement Gaëlle Namont, Gaëlle Bodinaud, Stéphane Mével-Viannay, Elise Carnet, Coralie Moulin, Valérie Bésand, et François Siorat.

Nos partenaires VivArmor Nature, Bretagne Vivante, et la Fédération régionale des chasseurs de Bretagne pour leur contributions, notamment Jérémy Allain, Pierre-Alexis Rault, Bertrand Piel, Arnaud Le Houédec et Marie Capoulade.

Xavier Girardet, Jean-Christophe Foltête et Gilles Vuidel du laboratoire Théma, Eric Petit de l'INRAE, Solène Croci et Jean Nabucet du laboratoire LEGT, Frédéric Letouze de l'IGN, Christain Kerbiriou du MNHN, et Samuel Fauchon des Voies Navigables de Bretagne pour leur aide et leur appui aux différentes étapes de ce travail.

Réalisation des cartes

Thomas Dubos

Relecture

Josselin Boireau, Elise Carnet, Catherine Caroff, Nicolas Chenaival, Marie Le Roux, Gaëlle Namont, François Siorat, Franck Simonnet.

Mise en page

Thomas Dubos

Référence Bibliographique

DUBOS T. (*coord.*), BOIREAU J., CHENAIVAL N., LE CAMPION F., RAMOS M., SIMONNET F. & LE ROUX M., 2020. Trame Mammifères de Bretagne - Notice. Groupe Mammalogique Breton, Sizun. 38 p. + annexes

TRAME Mammifères DE BRETAGNE

Plan d'action en faveur des continuités écologiques pour les mammifères bretons



Introduction

La **préservation effective du patrimoine naturel** passe aujourd'hui, au-delà de la protection de quelques espaces et espèces choisis, par une intégration transversale des enjeux de conservation : dans l'ensemble des politiques publiques, dans l'ensemble de la société, et dans l'ensemble des territoires, à toutes les échelles. Cette approche intégrée se traduit notamment par le **Schéma Régional de Cohérence Ecologique de Bretagne** (prochainement intégré dans le SRADDET, Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires) qui s'appuie sur un outil opérationnel pour atteindre les objectifs de conservation et de restauration de la biodiversité : la **Trame Verte et Bleue**. La mise en œuvre de cette trame vise à définir les zones d'intervention, planifier les actions, et réaliser les opérations de restauration des continuités écologiques indispensables à la faune et à la flore.

Les **mammifères** terrestres sont, en Bretagne, à la fois un **patrimoine à forte valeur** (10% sont à responsabilité régionale forte) **et d'une grande fragilité** (40 % menacés ou quasi-menacés d'extinction). C'est pourquoi leur préservation, à travers la mise en œuvre des Trames Vertes et Bleues, est prioritaire, d'autant plus que ce groupe est particulièrement affecté par les problèmes de continuités écologiques (mortalité routière, fractionnement et isolement des populations...). De plus, l'aménagement de continuités pour les mammifères et la prise en compte d'obstacles particuliers tels que les ouvrages hydrauliques pour la Loutre ou les interruptions de la trame noire pour les chauves-souris, sont également utiles à d'autres espèces.

La restauration des "*continuités mammalogiques*" nécessite aujourd'hui d'avoir deux approches de la Trame Verte et Bleue. La première, déjà à l'œuvre, privilégie une échelle locale, pertinente en matière de concertation et de réalisation concrète des opérations, mais qui peut souffrir d'une hétérogénéité des méthodes selon les territoires et de possibilités d'intervention tributaires des dynamiques locales. La seconde, dont ce programme est l'objet, est une « **Trame Mammifères de Bretagne** » qui, à la fois traite globalement ces continuités à large échelle dans toute la Bretagne historique, et en même temps offre une restitution uniforme et à une précision suffisante à son application locale.

Le **Groupe Mammalogique Breton** s'est attelé à ce travail en janvier 2018 en réalisant dans un premier temps un **diagnostic régional des continuités** au sein des populations de mammifères. La seconde étape a consisté à construire et finalement diffuser, en mai 2020, **un outil cartographique** pour intégrer les continuités mammalogiques et identifier les enjeux qui s'y rapportent.

Cette notice présente l'outil cartographique « Trame Mammifères de Bretagne » : ses principes et objectifs, ses composantes, son utilisation et ses limites. Elle détaille ensuite la méthode et les résultats du travail ayant permis cette construction : de la démarche de diagnostic régional des continuités mammalogiques jusqu'aux processus d'élaboration des couches d'informations géographiques.

SOMMAIRE

Le Groupe Mammalogique Breton	3
Le programme Trame Mammifères de Bretagne 2018 - 2020.....	4
Partenaires.....	4
Objectifs.....	5
Résultats et perspectives.....	5
Utilisation de la Trame Mammifères de Bretagne.....	6
Principe.....	6
Objectifs.....	7
Limites.....	8
Composants de la TMB.....	10
Mode d'emploi.....	12
Construction de la Trame Mammifères	14
Principe.....	14
Espèces traitées.....	15
Données mobilisées.....	16
Emprise et résolution.....	20
Analyses spatiales des distributions.....	21
Modélisation des réseaux écologiques.....	25
Validation de l'outil.....	31
Formalisation des informations.....	35
Index des fiches TMB	37
Fiche 1.1 : Sensibilité des Mammifères à la fragmentation.....	37
Fiche 2.1 : Enjeux et responsabilités de conservation et de rétablissement des continuités dans les intercommunalités.....	37
Fiches 3.X : Fiches espèces.....	37
Fiche 4.1 : Mesures de conservation et de rétablissement des continuités pour les mammifères : exemples et illustrations.....	37
Bibliographie	38

LE GROUPE MAMMALOGIQUE BRETON

Le [Groupe Mammalogique Breton](#) (GMB), créé en 1988, est une association agréée de protection de la nature qui œuvre dans les cinq départements de la Bretagne historique. Il s'est fixé comme mission « d'engager toute action touchant au recensement, à l'étude, à la gestion et à la protection des mammifères sauvages de Bretagne et de leurs habitats ».

Son action s'articule autour de quatre grands axes :

- 🐾 **Connaître** : recensements (inventaires et suivis de populations de Loutre, Castor, Chauves-souris, micromammifères...) et études (répartition, écologie, habitats, déplacements...).
- 🐾 **Protéger** : gestion de plus de 80 sites protégés, mise en place d'aménagements pour la faune (passages à Loutre, gîtes à chauves-souris), conduite des opérations « Refuges pour les chauves-souris » et « Havres de Paix pour le Loutre », interventions pour la prise en compte des mammifères et de leurs habitats dans des domaines variés (sylviculture, agriculture, développement éolien, aménagement du territoire...).
- 🐾 **Former** : formation des bénévoles, des étudiants et des professionnels de la nature et de l'aménagement (routes, forêts, rivières...)
- 🐾 **Sensibiliser** : édition d'outils pédagogiques et de communication, animations et stands, médiation auprès du grand public sur des questions liées à la cohabitation entre humains et mammifères sauvages

En 2015, le GMB a rédigé l'[Atlas des Mammifères de Bretagne](#), aboutissement de cinq années de prospections à l'échelle des cinq départements de la Bretagne historique.

Depuis 2017, le GMB coordonne l'[Observatoire des Mammifères de Bretagne](#). Ce programme vise à suivre les différentes espèces afin d'identifier les tendances d'évolution des populations mais aussi à mutualiser les acteurs et les connaissances autour des mammifères pour fournir la meilleure information au grand public et aux pouvoirs publics.

Les actions sont menées par plus de 400 adhérents, 12 administrateurs et 8 salariés basés au siège (Sizun, 29) ou dans les antennes (Ploufragan, 22 et Redon, 35) de l'association.

Le GMB est membre de la Fédération Bretagne Nature Environnement, de Cap Loup et de la Société Française d'Etude et de Protection des Mammifères, et travaille avec de nombreux [partenaires](#) : associations naturalistes et amies, gestionnaires d'espaces naturels, particuliers et usagers de la nature, chercheurs et universitaires, institutions et administrations, collectivités territoriales...



LE PROGRAMME TRAME MAMMIFERES DE BRETAGNE

2018 - 2020

L'outil présenté dans cette notice est issu d'un travail de deux ans et demi, réalisé par le GMB, grâce au soutien financier de l'Union Européenne à travers son **Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER)**, de l'Etat Français par l'intermédiaire de la **Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)** de Bretagne, et de la **Région Bretagne** via son dispositif « **Contrat Nature Trame Verte et Bleue** ».

Partenaires

Les travaux du GMB ont été permis, appuyés et enrichis par de nombreux partenaires qu'ils soient naturalistes, scientifiques, techniques, relais des collectivités et institutions ou encore cartographes et géomaticiens :

- 🐾 Bretagne Vivante, VivArmor Nature, la Fédération Régionale des Chasseurs de Bretagne et l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage qui avaient produit, avec le GMB, les données de l'Atlas des Mammifères de Bretagne 2005-2014 (SIMONNET - coord., 2015),
- 🐾 les laboratoires Ecologie et Santé des Ecosystèmes (ESE) et Biodiversité Agroécologie et Aménagement du Paysage (BAGAP) de l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE), Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG) et Théoriser & Modéliser pour Aménager (Théma) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), le Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO) du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et Marie Le Roux Environnement, qui ont apporté leur support scientifique aux analyses (méthodes, ressources et interprétations),
- 🐾 l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et le portail de l'information environnementale en Bretagne GéoBretagne pour les ressources cartographiques et géomatiques,
- 🐾 le service patrimoine naturel et biodiversité de la Région Bretagne, le service patrimoine naturel de la DREAL Bretagne, l'Observatoire de l'Environnement en Bretagne, l'Office Français de la Biodiversité, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, les services Espaces Naturels Sensibles des Départements des Côtes d'Armor, du Finistère, d'Ille-et-Vilaine, et de Loire-Atlantique, l'Association des Gestionnaires d'Espaces Naturels Bretons, le Forum des Marais Atlantiques, l'Association des Techniciens de Bassins Versants Bretons, l'Association Bruded, l'Union Régionale des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement en Bretagne, le Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement et la Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest qui ont pu suivre et relayer ces travaux ainsi qu'apporter leurs conseils sur l'opérationnalité de l'outil,
- 🐾 les Voies Navigables de la Région Bretagne, les Parcs Naturels Régionaux du Golfe du Morbihan et de la Vallée de la Rance et la Côte d'Emeraude, et Lannion-Trégor Communauté qui ont pu expérimenter l'outil au fur et à mesure de sa construction et/ou pourront le déployer de manière opérationnelle dans les années à venir.

Objectifs

Le programme de construction d'une Trame Mammifères de Bretagne (TMB) s'est déroulé de janvier 2018 à mai 2020, avec pour objectifs :

- 🐾 d'identifier les continuités écologiques au sein de différentes populations de mammifères, et définir les enjeux prioritaires de conservation, renforcement et rétablissement de celles-ci,
- 🐾 de construire un outil cartographique et méthodologique permettant aux différentes collectivités d'intégrer de manière pertinente et reproductible les enjeux de conservation des mammifères dans leurs démarches de construction de Trames Vertes et Bleues territoriales, où que soit situé leur territoire en Bretagne,
- 🐾 d'expérimenter sur des territoires pilotes l'application de l'outil Trame Mammifères de Bretagne, d'en mesurer ses intérêts, ses limites et ses complémentarités avec d'autres outils « TVB » existants ou en construction,
- 🐾 d'élaborer un programme régional d'actions de gestion et d'aménagements répondant des enjeux prioritaires de conservation des populations de mammifères en Bretagne.

Résultats et perspectives

L'achèvement principal de ce programme est donc la mise à disposition de l'outil Trame Mammifères de Bretagne présenté dans cette notice.

Le GMB a également construit un programme régional d'opérations concrètes qui sera déployé avec les Voies Navigables de Bretagne, sur le domaine public fluvial. En effet, il est apparu, à l'examen de nos résultats, que le Canal de Nantes à Brest, la vallée du Blavet ou encore la Vilaine et le canal d'Ille-et-Rance sont structurants et stratégiques pour les continuités mammalogiques régionales. Les canaux bretons et leurs annexes et dépendances constituent la colonne vertébrale du réseau écologique de bon nombre des espèces traitées. Ainsi après un travail de localisation fine des enjeux de renforcement ou rétablissement des continuités les plus forts et des diagnostics de terrain, différentes actions seront réalisées : aménagement de gîtes pour les chauves-souris dans les maisons éclésières, déploiement de nichoirs, installation de passages à petite faune, installation de « catiches » pour la Loutre, renforcement des capacités d'accueil des boisements et alignements d'arbres pour les espèces arboricoles, gestion des dépendances humides pour le Campagnol amphibie, des lisières pour le Muscardin...

Enfin, le travail de diffusion de l'outil TMB pour le faire connaître largement et d'assistance à sa mise en œuvre (ateliers, tutoriels, accompagnement des collectivités) reste à poursuivre et sera engagé à partir du second semestre 2020.

UTILISATION DE LA TRAME MAMMIFERES DE BRETAGNE

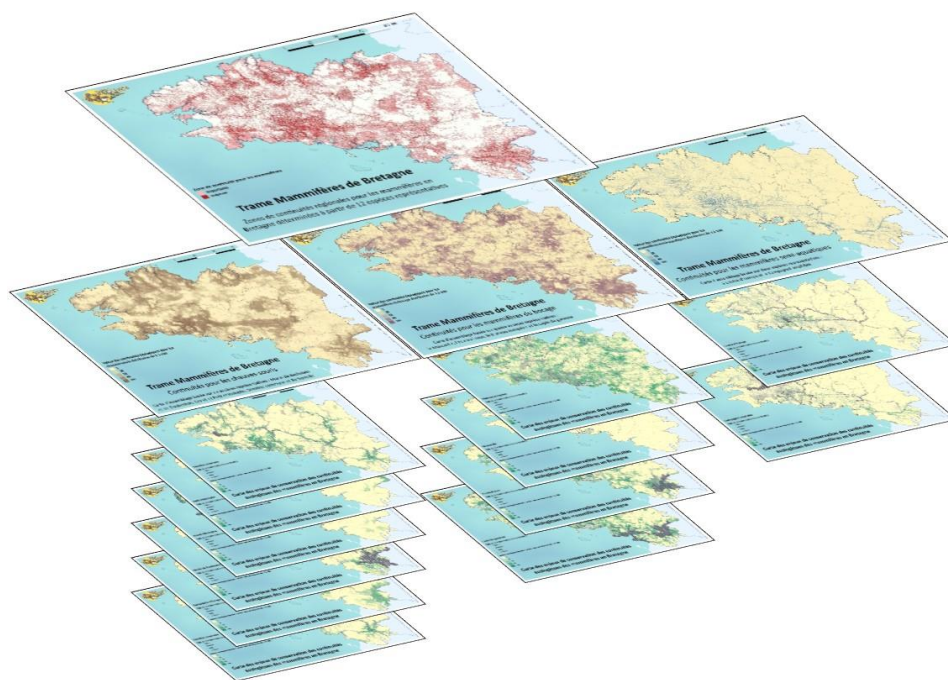
La Trame Mammifères de Bretagne est un outil cartographique conçu par le Groupe Mammalogique Breton pour visualiser, traiter et intégrer les continuités écologiques propres aux mammifères (*ou continuités mammalogiques*) dans différents projets, aménagements, plans d'action, documents... Il est disponible depuis le portail [GéoBretagne](#) et le [site Internet du GMB](#) et libre d'utilisation sous réserve de mentionner sa source : *Trame Mammifères de Bretagne – Groupe Mammalogique Breton, 2020*. La TMB se compose de plusieurs données cartographiques (couches d'informations vecteurs et raster) accompagnées de la présente notice ainsi que plusieurs "fiches TMB" (*voir Index des fiches TMB*).

Principe

Les données cartographiques de la TMB figurent les continuités écologiques (réservoirs et corridors) de 12 espèces de mammifères sauvages représentatives du peuplement mammalogique de la Bretagne et de la Loire Atlantique. Ces informations sont obtenues en modélisant les réseaux écologiques de chacune de ces espèces à partir de leurs données de présence, collectées par le GMB et ses partenaires, croisées avec de nombreuses variables environnementales (*voir principe et détails de la procédure à partir de la page 14*).

Les productions cartographiques spécifiques sont également assemblées par groupes d'espèces aux écologies voisines d'une part et selon une synthèse de l'ensemble des espèces d'autre part, pour en simplifier et faciliter l'accès aux usagers ne souhaitant pas manipuler la totalité des cartes des 12 espèces.

La manipulation des données de la TMB nécessite des moyens (logiciels SIG¹ usuels) et compétences en cartographie relativement basiques. La présente notice apporte les informations nécessaires au bon usage et à la bonne compréhension des différents éléments constituant l'outil TMB. Le GMB proposera également jusqu'en 2022 un service d'appui aux usagers (tutoriels, fiches techniques, ateliers et formations...), et, dans une certaine mesure, une assistance plus personnalisée aux collectivités.



¹ Systèmes d'Information Géographique : logiciels de cartographie tels que QGIS, ArcGIS, MapInfo...

Objectifs

La Trame Mammifères de Bretagne vise, tout d'abord, à **intégrer les continuités mammalogiques aux Trames Vertes et Bleues et à l'aménagement du territoire**. Les informations apportées par la TMB sont à la fois uniformes dans l'ensemble de la Bretagne historique continentale (*voir Emprise et résolution*), et suffisamment étayées et précises (résolution de 10 mètres permettant un usage jusqu'au 1 : 25 000^{ème}) pour pouvoir être exploitées dans de nombreux domaines qui touchent directement ou indirectement les mammifères : biodiversité et espaces naturels, urbanisme, agriculture, sylviculture, infrastructures et transports...

Le second objectif de la TMB est de **susciter et permettre l'action en faveur des mammifères et de leurs habitats**. En proposant des actions pertinentes (nécessaires, efficaces, éprouvées, réalisables) et en identifiant les secteurs où celles-ci seront les plus bénéfiques pour renforcer ou rétablir les continuités, la TMB permet de concrétiser des opportunités d'intervention offertes par le cadre réglementaire et financier des Trames Vertes et Bleues.

De nombreuses applications de la TMB (liste non exhaustive) peuvent être envisagées et données ici à titre d'exemple (*voir Fiches 3.X : Fiches espèces & Fiche 4.1 : Mesures de conservation et de rétablissement des continuités pour les mammifères : exemples et illustrations pour plus de détails*) :

- orienter la stratégie d'acquisition d'Espaces Naturels Sensibles d'un département dans les espaces les plus pertinents pour renforcer ou rétablir des continuités,
- alimenter la définition d'une Trame Verte et Bleue dans un territoire, ou directement abonder la délimitation de zones naturelles ou moins sensibles d'un Plan Local d'Urbanisme,
- orienter la gestion d'un espace naturel vers des espèces pour lesquelles il porte une responsabilité importante dans la cohésion des réseaux écologiques régionaux,
- aménager des passages à faune aux endroits précis de conflits entre des infrastructures de transport et des corridors écologiques importants,
- mettre en œuvre un pâturage adapté (période et chargement à l'hectare, exclus des berges...) dans les cœurs d'habitats du Campagnol amphibie,
- engager un programme de restauration et d'entretien de haies bocagères dans une zone de fragmentation des populations régionales du Muscardin,
- désigner des îlots de sénescence importants, en nombre comme en surface, dans un massif forestier essentiel aux continuités écologiques régionales du Murin de Bechstein,
- localiser un projet d'implantation d'éoliennes en dehors de zones de continuités importantes pour les chauves-souris,
- encourager l'extinction des éclairages nocturnes en ville, par la matérialisation de zones de déplacement privilégiées par les mammifères...

Limites

🦋 Précision et échelle

Les données cartographiques de la TMB ont été construites à partir d'informations retranscrites à une précision de 10 mètres, résultant notamment en des couches raster constituées de pixels de 10 x 10 m. La limite de précision des données de la TMB est induite par cette **résolution de 10 mètres**. C'est à dire que **la lecture des cartes est déconseillée à une échelle plus précise que le 1 : 25 000^{ème}**. **Au-delà, les contours des objets deviennent grossiers et trop pixélisés, et les informations imprécises.**

🦋 Potentialités et réalité

Par ailleurs, la construction des données par modélisation repose certes sur des données d'inventaires et de prospections et a été contrôlée par des vérifications de terrain, mais elle constitue néanmoins une extrapolation spatiale à large échelle des relations établies entre les présences et des facteurs écologiques (*voir Principe*). Cette procédure induit donc que **les données de la TMB constituent des informations de potentialités (de présence, de continuité, de déplacement...) et non des mesures avérées sur le terrain** qu'il serait matériellement impossible d'obtenir pour toutes les espèces en tout point d'un territoire d'étude aussi étendu. Il en résulte que des continuités potentielles de nos cartes peuvent s'avérer localement imparfaites ou erronées sur le terrain, du fait de facteurs explicatifs qui n'ont pas été intégrés aux modèles (faute de disponibilité des informations le plus souvent).

Par exemple, au niveau des intersections entre routes et vallées, les cartographies peuvent indiquer des continuités élevées (circulation privilégiée des mammifères semi-aquatiques, des chauves-souris le long de ripisylves...), mais elles ne préjugent pas de la perméabilité des ponts. En effet, **la TMB nous indique qu'une vallée sera privilégiée pour les déplacements, mais elle ne peut pas nous dire si le franchissement d'un pont sera aisé ou difficile et fragmentant** parce que les caractéristiques de l'ouvrage (hauteur de la lame d'eau en crue, largeur, hauteur, longueur, configuration des berges, existence d'un remblai...) ne sont pas disponibles pour l'analyse et la construction des cartes (à l'échelle des dizaines de milliers d'ouvrages hydrauliques de la Bretagne historique).

🦋 Biais et imprécisions relevés

La construction des cartographies de la TMB s'est déroulée selon une procédure standardisée pour l'ensemble des espèces, dans une limite temporelle contrainte qui ne nous a pas autorisé à beaucoup retravailler et affiner les analyses de manière spécifique au-delà d'un résultat d'ensemble satisfaisant. Il en résulte que parmi les quelques biais et imprécisions inhérents à la procédure qui ont été relevés, certains n'ont pas pu être corrigés faute de temps et/ou d'informations ou données disponibles pour ce faire. Nous les indiquons ici afin d'éclairer les usagers de la TMB, et ils sont également précisés dans les fiches espèces (*voir Fiches 3.X : Fiches espèces*) :

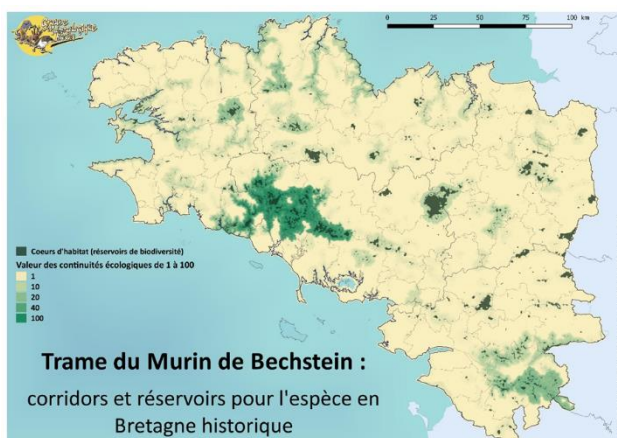
- **Effets de bord** : pour plusieurs espèces, et notamment celles à grand rayon de dispersion (Barbastelle d'Europe, Sérotine commune, Grand rhinolophe et Loutre d'Europe), les enjeux de rétablissement des continuités au niveau des marges Est de la région peuvent être ponctuellement surévalués. Ceci est dû à l'absence de liens vers les départements limitrophes (dans lesquels les cœurs d'habitats n'apparaissent pas faute de données en dehors du territoire d'étude) qui diminue d'autant les valeurs des continuités calculées sur ces marges. Ainsi, l'importance de rétablir des continuités est artificiellement augmentée au vu des continuités probablement existantes mais non cartographiées à l'Est de la Bretagne historique.
- **Effets d'insularité partielle** : de la même manière que pour les effets de bord, mais pour une raison physique (l'espace marin) cette fois, les enjeux de rétablissement des continuités ont tendance à être surestimés au niveau des pointes de l'Ouest (Corsen, Crozon, Cap Sizun) pour plusieurs espèces (Murins, Sérotine, Loutre, Campagnol amphibie, Blaireau). En effet, au niveau de ces secteurs presque entièrement insularisés, le rétablissement de continuités, par ailleurs réduites et contraintes par des goulots d'étranglement de rattachement au continent, apparaît comme plus bénéfique qu'il ne l'est certainement en réalité.

- **Enjeux de rétablissement des continuités d'espèces en limite de répartition** : pour le Petit rhinolophe, et dans une moindre mesure le Muscardin, espèces dont la limite de distribution occidentale se situe à l'Est du Finistère, les enjeux de rétablissement des continuités calculés par nos analyses apparaissent comme forts dans une partie plus ou moins importante du Finistère, indiquant, par là même, que les espèces auraient la capacité de s'étendre vers l'Ouest de la région en rétablissant des habitats continus dans cette direction. Même si le Petit rhinolophe progresse vers l'Ouest ces dernières années, notre interprétation des limites orientales de distribution de ces deux espèces est moins optimiste ; et bien que nous n'en comprenons pas encore tous les déterminants, elles nous semblent plus figées que ne le laissent entendre ces enjeux finistériens de rétablissement des continuités.
- **Continuités urbaines** : nous avons constaté sur le terrain que des zones de continuités en milieu urbain peuvent apparaître comme artificielles, rien ne les distinguant d'autres secteurs proches moins continus. Ce biais s'explique par le calcul des continuités : dans des espaces tels que les centres urbains², assez uniformes du point de vue des paramètres traités dans nos analyses (forte artificialisation, importante pollution lumineuse, faible densité arborée...), les déplacements les moins coûteux sont modélisés en ligne droite, au plus court, dès lors que ces zones sont trop étendues pour être contournées à travers des milieux plus perméables.
- **Continuités dans les grands marais et vastes zones humides** : pour les mammifères affiliés plus ou moins strictement aux zones humides et plans d'eau (Loutre, Campagnol amphibie, Murin de Daubenton), nos analyses de distribution ont produit des cartes de capacité d'accueil des milieux où les vastes marais tels que la Brière, Grand-Lieu, ou Guérande apparaissent comme peu favorables, et par voie de conséquence, où les valeurs de continuités apparaissent certainement plus faibles qu'en réalité. Ce biais s'explique d'une part parce que ces espaces sont considérés comme de vastes zones d'eau libre dans les données spatiales dont nous disposons, et d'autre part parce que les observations collectées pour ces espèces l'ont été depuis les berges ou marges extérieures de ces espaces. L'absence de données au cœur de vastes zones en eau a conduit les analyses à considérer ces grands marais comme relativement défavorables en leur cœur alors qu'ils sont plus probablement assez largement fréquentés. Il faut donc avoir à l'esprit que les continuités écologiques réelles au sein des grands marais, pour ces trois espèces au moins, sont plus importantes que celles figurées par la TMB.
- **Cartographies du Blaireau** : l'analyse spatiale de distribution du Blaireau, et par voie de conséquence en partie la modélisation de ses continuités, établissent une affinité forte, probablement un peu surestimée de notre point de vue, à la proximité des cours d'eau. Ce biais est difficile à mesurer puisque l'espèce a réellement besoin d'une certaine proximité avec des points d'eau. Il s'explique par le fait que les données de Blaireau ont été collectées, durant l'Atlas des Mammifères de Bretagne, en grande partie par l'observation d'indices de présence le long de cours d'eau à l'occasion des prospections de mammifères semi-aquatique. Malgré un ré-échantillonnage des données initiales afin de rééquilibrer le jeu de données, ce biais nous semble encore légèrement marqué dans les cartographies de l'espèce.
- **Cartographies du Lapin** : un premier biais est lié au manque de finesse des cartes de pelouses et prairies traitées. En effet des secteurs où les prairies sont humides ou inondables en grande partie (cas du bassin versant de l'Ellé en particulier), celles-ci sont considérées favorables au même titre que les prairies sèches alors que leur humidité les rend plutôt inhospitalières au Lapin en réalité. En second lieu, des enjeux de conservation des continuités importants apparaissent dans les mailles qui chevauchent la Loire, alors que celle-ci est infranchissable par le Lapin en dehors des ponts. Ce biais est lié à l'emprise de mailles d'enjeux de 2 km de côté qui peuvent contenir à la fois les rives Nord et Sud du fleuve et donc considérer celles-ci comme liées du point de vue de la circulation de l'espèce alors qu'elles ne le sont pas en réalité.

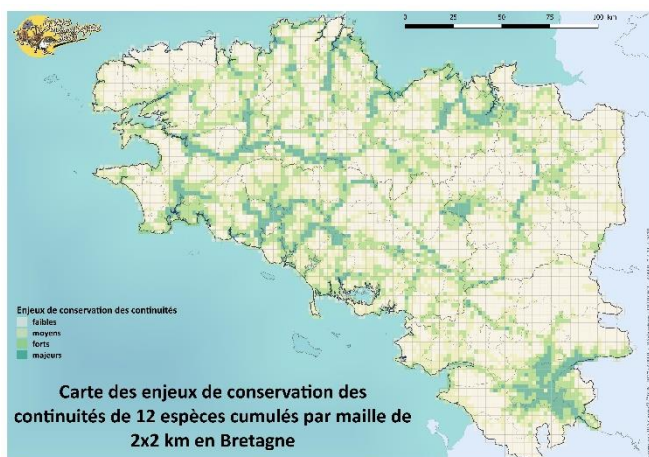
² Cela peut aussi être le cas ponctuellement dans d'autres espaces peu perméables comme de grands espaces cultivés sans bocage ou vallée

🐾 **25 données spécifiques : les cœurs d'habitats, trames et enjeux de conservation et de rétablissement des continuités des espèces**

Pour chacune des douze espèces, une donnée vectorielle figure les **cœurs d'habitats** (\equiv réservoirs) et une **trame** (donnée raster) indique la valeur des continuités écologiques (de 1 à 100) dans l'ensemble du territoire (voir *Modélisation des réseaux écologiques*). Ces informations spécifiques sont les plus pertinentes pour appréhender la fonctionnalité du territoire pour les différents mammifères et pour programmer précisément les interventions de conservation, renforcement ou rétablissement des continuités.

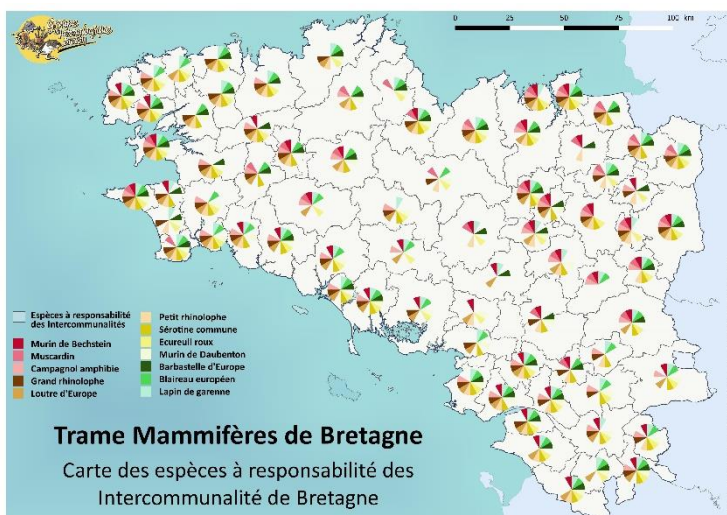


Pour ce faire, une **grille des enjeux** (donnée vectorielle) a été élaborée : dans chaque maille de 2 x 2 km des enjeux de conservation (champ "GenEspCons") et des enjeux de restauration (champ "GenEspRest") ont été évalués (1 : faibles ou localisés, 2 : moyens, 3 : forts, 4 : majeurs) en fonction de métriques mesurées sur les éléments des réseaux écologiques modélisés pour chaque espèce (voir *Modélisation des réseaux écologiques*).



"GenEspRest") ont été évalués (1 : faibles ou localisés, 2 : moyens, 3 : forts, 4 : majeurs) en fonction de métriques mesurées sur les éléments des réseaux écologiques modélisés pour chaque espèce (voir *Modélisation des réseaux écologiques*). Cette grille permet de localiser où les actions seront les plus profitables aux continuités régionales des espèces, tout en laissant une indispensable souplesse pour leur mise en œuvre sur le terrain (maille de 4 km² suffisamment large pour trouver l'espace, l'habitat, ou l'interlocuteur nécessaires).

Afin d'offrir aux utilisateurs de la TMB la possibilité d'exploiter ces informations précises et détaillées sans nécessairement devoir manipuler l'ensemble des douze espèces, la responsabilité de territoires intercommunaux a été identifiée pour chaque espèce en fonction des enjeux. Dans une intercommunalité, une espèce sera à enjeu de conservation, de restauration, ou les deux, si le cumul des enjeux sur le territoire représente une part plus importante de la totalité des enjeux régionaux que ne l'est sa surface relative (voir *Fiche 2.1 : Enjeux et responsabilités de conservation et de rétablissement des continuités dans les intercommunalités*). De cette manière, on pourra choisir de ne traiter que les espèce à enjeu dans un territoire donné plutôt que la totalité de celles-ci.



Mode d'emploi

L'ensemble des données et la documentation de la TMB sont accessibles depuis le portail [GéoBretagne](#) (application thématique « Trame Mammifères de Bretagne » à venir bientôt) et depuis le [site Internet du GMB](#).

Les données sont librement accessibles et utilisables sous SIG par téléchargement (ou chargement par flux) des couches d'information et documents, en prenant soin de mentionner la source suivante : *Trame Mammifères de Bretagne – Groupe Mammalogique Breton, 2020*.

Les couches d'information sont proposées avec une représentation (symbologie) prédéfinie qui pourra être ré-exploitée à partir de fichiers de style SLD ou QML (pour QGIS) fournis avec les fichiers géographiques.

Utilisation clé en main

Afin de consulter facilement l'outil et naviguer dans l'ensemble des informations disponibles de la [Trame Mammifères de Bretagne](#), nous proposons la démarche suivante, non obligatoire mais qui pourra guider son utilisation :

1. Consulter les "[zones de continuités régionales essentielles aux mammifères](#)". Cette première étape apporte rapidement et simplement une idée du contexte dans lequel se situe la zone étudiée en termes de continuité mammalogique. Sans être exhaustive, cette première carte alertera sur des espaces potentiellement sensibles ou à risques pour les mammifères si des zones de continuités majeures ou importantes se trouvent dans le territoire concerné. Certains utilisateurs pourront se contenter de cette information très synthétique suivant la question posée, même si elle sera insuffisante dans la plupart des cas.
2. Consulter les "[trame des mammifères du bocage](#), [trame des mammifères semi-aquatiques](#), ou [trame des chauves-souris](#)". Cette seconde étape permet d'identifier sommairement si le territoire étudié est concerné par des continuités importantes de l'une ou plusieurs de ces catégories d'espèce. Suivant les groupes concernés, on aura une première idée des grands types de milieux (bocager, aquatique ou plus hétéroclite pour les chauves-souris) qu'il faudra protéger pour ne pas porter atteinte aux populations ou des grands types d'actions (restauration de haies, renaturation des cours d'eau, aménagement des bâtiments pour les chauves-souris...) susceptibles de concourir à renforcer et rétablir des continuités. Pour certains besoins « sectoriels » liés à des paysages ou des interlocuteurs particuliers (techniciens de bassins versants et trame mammifères semi-aquatiques, politiques du bocage et trame des mammifères du bocage, gestion du patrimoine bâti ou développement éolien et trame chauves-souris...) cette étape pourra apporter une information déjà intégrée et applicable en tant que telle, ou encore permettre un premier filtre vers les données espèces concernées.
3. Pour des utilisateurs travaillant à l'échelle d'intercommunalités, consulter la "[Fiche 2.1 : Enjeux et responsabilités de conservation et de rétablissement des continuités dans les intercommunalités](#)", afin de déterminer pour quelles espèces, à responsabilité locale, les enjeux de conservation ou de rétablissement des continuités sont les plus forts. Cette étape permettra de filtrer les espèces traitées à l'étape suivante si l'on ne souhaite pas manipuler les informations de l'ensemble des douze mammifères de la TMB.

4. Consulter les "[cœurs d'habitat](#)" et "[trames espèces](#)" de chacun des mammifères choisis (tout ou partie). Ces données peuvent être manipulées pour comprendre la fonctionnalité du territoire pour le déplacement et la continuité des populations, les objets cartographiques pourront être consultés et retravaillés pour contribuer à d'autres zonages (TVB, PLUi, espaces naturels...). La "[grille des enjeux de conservation et de restauration des continuités](#)" sera également consultée pour les espèces choisies afin de déterminer, dans son territoire, où prioriser les actions. Ces couches sont directement opérationnelles pour répondre à des besoins concrets et passer à la phase d'intervention (aménagement, actions de gestion...) : par exemple où replanter des haies pour reconnecter un isolat de population du Muscardin, où étudier la faisabilité de passages à Loutre sur un tronçon routier...
5. Consulter les "[Fiches 3.X : Fiches espèces](#)". Pour les espèces choisies, celles-ci apporteront des détails sur l'écologie, la distribution, les résultats de nos analyses, et surtout des propositions d'actions dans les zones à enjeu de conservation des continuités et dans les zones à enjeu de rétablissement des continuités. Une fois les actions à mettre en œuvre déterminées, quelques illustrations pourront être consultées à titre d'exemple dans la "[Fiche 4.1 : Mesures de conservation et de rétablissement des continuités pour les mammifères : exemples et illustrations](#)".

Utilisation poussée et besoins spécifiques

Au-delà de l'utilisation « clé en main » et normale de la Trame Mammifères de Bretagne, certains interlocuteurs ou besoins spécifiques dans des territoires définis pourront vouloir interroger l'outil plus en profondeur et en détail. Les objets modélisés peuvent par exemple être réinterrogés pour connaître le gain de connectivité attendu d'un nouvel habitat localisé dans un site prédéfini, ou alors l'effet d'une perte d'habitat et/ou de connectivité pourra être modélisé pour estimer à quelle hauteur et où ces dernières devraient être restaurées...

Pour toutes ces questions très particulières, les objets mathématique et cartographiques issus de nos analyses, mais non mis en forme ni à disposition tels quels, sont nécessaires, ainsi que des compétences et moyens techniques de calculs lourds et complexes.

Dans ces cas de figure, le GMB devra être consulté, et pourra, dans les limites de ses disponibilités et moyens, répondre par la fourniture de données complémentaires ou la réalisation en propre des analyses complémentaires. Dans ce dernier cas, nous attirons l'attention des usagers qui souhaiteraient faire appel au GMB, que conformément à nos statuts et notre projet associatif, nous privilégierons aux prestations et commandes ponctuelles, les relations de collaboration élargies aux questions de protection des mammifères dans leur ensemble et pérennes dans le temps (sous forme de conventions de partenariat notamment).

Pour nous consulter : <http://gmb.bzh/contact/>

CONSTRUCTION DE LA TRAME MAMMIFERES

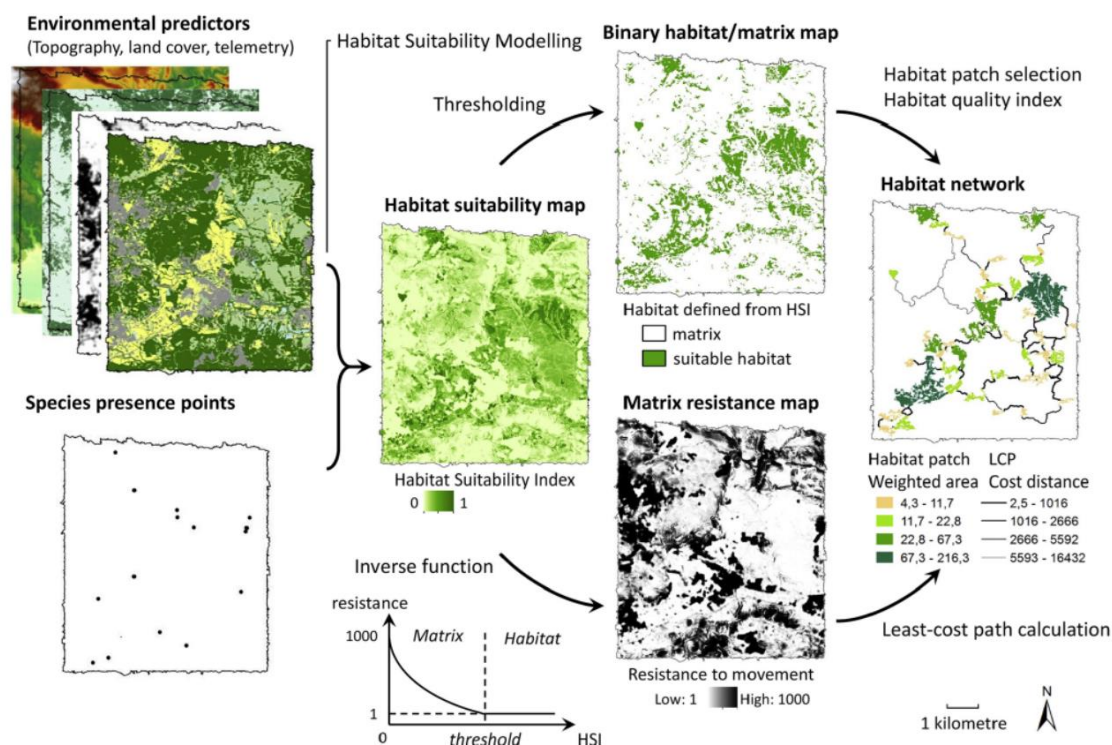
L'outil Trame Mammifères de Bretagne est le résultat d'une construction en plusieurs phases. Une première étape, après avoir sélectionné un jeu d'espèces suffisamment représentatif du peuplement mammalogique régional, fut d'en réaliser les analyses spatiales de distribution. Le choix et l'apprentissage d'une méthode de modélisation des réseaux écologiques, et sa mise en œuvre pour chacune des espèces retenues sont intervenus dans un second temps. Une troisième phase a été consacrée aux diverses validations des cartographies et analyses et à leur confrontation aux réalités de terrain. La formalisation des cartes, et de l'outil a enfin fait l'objet d'une dernière étape. Chacune de ces phases du travail a fait l'objet d'une présentation des réalisations et d'échanges avec les différents partenaires du programme, permettant de valider les travaux et d'ajuster les productions.

Principe

La TMB repose sur l'identification des continuités écologiques³ des mammifères en Bretagne et Loire-Atlantique. Pour ce faire, nous avons modélisé, dans l'ensemble du territoire d'étude, les réseaux écologiques d'un spectre étendu d'espèces pour apprécier et représenter les continuités mammalogiques dans leur ensemble. Nous avons choisi, pour modéliser « en série » les réseaux écologiques d'un lot d'espèces important, une **méthode combinant des analyses spatiales de distribution avec des graphes paysagers** selon la procédure décrite par DUFLOT *et al.* en 2018 et développée et enseignée par le laboratoire ThÉMA de l'Université de Bourgogne Franche-Comté.

R. Duflot *et al.*

Journal for Nature Conservation 46 (2018) 38-47



³ Ensemble des **réservoirs** (zones vitales où les individus peuvent réaliser l'ensemble de leur cycle de vie) et **corridors** (voies de déplacement empruntées par les espèces entre les réservoirs) permettant la connexion fonctionnelle et effective indispensable au fonctionnement, à la stabilité et à la résilience des écosystèmes sur le long terme.

Cette méthode a notamment pour intérêts de pouvoir implémenter des données de terrain (observations naturalistes) aux analyses, de pouvoir intégrer des gradients environnementaux autres que la seule occupation du sol (climat, géographie, topographie, pressions anthropiques...), et de pouvoir se dispenser d'une définition des coûts de friction du paysage souvent délicate et relativement aléatoire.

Les réseaux écologiques ainsi modélisés sont constitués de zones de présence importante et continue définissant des taches d'habitat (ou nœuds des graphes) reliées entre elles par des chemins de moindre coût (ou liens des graphes) définis au sein d'une matrice de perméabilité aux déplacements. Ces éléments dépendent des capacités de dispersion des espèces, et nous permettent de calculer différentes mesures (ou métriques) de surface, distance, et connectivité pour le réseau dans son ensemble et pour ses différents constituants.

Nous avons également complété ces constructions par une analyse dite « Corridor » [CLAUZEL *et al.*, 2017] des graphes paysagers qui consiste à cumuler tous les déplacements possibles entre les différentes taches d'habitats dans la limite de dispersion des espèces plutôt que de ne retenir que les seuls chemins de moindre coût qui ne représentent qu'une réduction assez théorique et stéréotypée de la réalité des déplacements des animaux sur le terrain. Les continuités sont ainsi figurées en des « trames diffuses » selon un gradient qui nous semble bien plus conforme à l'écologie et au comportement des différentes espèces traitées.

L'outil TMB s'appuie en définitive sur trois constructions :

- 🐾 **les enjeux de conservation ou de rétablissement** des continuités définis en fonction des métriques calculées dans chaque réseau écologique,
- 🐾 **les cœurs d'habitat** (≡ taches d'habitat) représentant les réservoirs de biodiversité de chaque espèce,
- 🐾 **les trames** (spécifiques et assemblages) figurant la circulation et la dispersion des espèces dans le territoire par une valeur de continuité.

Espèces traitées

Le principe et la méthode du diagnostic régional des continuités mammalogiques reposent sur des analyses cartographiques et statistiques lourdes et longues à réaliser qui excluent de fait de pouvoir les conduire sur l'ensemble des 62 mammifères bretons. Le choix d'un **lot d'espèces suffisamment représentatif du peuplement mammalogique régional dans son ensemble** a donc été fait selon plusieurs critères :

- 🐾 statut et état de conservation en Bretagne (protections réglementaires, listes rouges...)
- 🐾 quantité et qualité des données disponibles,
- 🐾 variété des écologies et des groupes/familles représentées

Certaines espèces menacées et/ou intéressantes du point de vue de leur écologie n'ont par exemple pas été retenues du fait d'une distribution trop réduite à l'échelle régionale (Castor, Lérot), ou parce que les observations étaient trop peu nombreuses (Crossope aquatique, Crocidure leucode), trop imprécises (observations de micromammifères comme le Rat des moissons localisées dans les bâtiments où sont collectés les pelotes de réjection de Chouette effraie qui permettent leur détection), ou encore trop biaisées (Martre des pins principalement détectée par collision routière alors que son habitat naturel n'est pas la route).

Dix-sept espèces ont d'abord été retenues et ont fait l'objet d'une analyse spatiale de distribution. Celles-ci n'ont pas été assez satisfaisante pour la Belette et la Musaraigne pygmée uniquement. Parmi les 1 restantes, seules **les 12 espèces les plus sensibles à la fragmentation** (voir [Fiche 1.1 : Sensibilité des Mammifères à la fragmentation](#)) ont finalement été retenues et fait l'objet d'une modélisation de leur réseau écologique et **figurent dans l'outil Trame Mammifères de Bretagne** (voir *ci-après*).

ORDRE	FAMILLE	NOM FRANÇAIS	STATUT & CONSERVATION /20	JEU DE DONNEES /20	ÉCOLOGIE <i>appréciation rapide</i>	PRIORITE ANALYSE
Carnivora	Mustelidae	Loutre d'Europe	11	14	Aquatique strict	1
Chiroptera	Rhinolophidae	Grand Rhinolophe	16	17	Bocager large	1
Chiroptera	Vespertilionidae	Murin de Bechstein	15	17	Forestier strict	1
Rodentia	Cricetidae	Campagnol amphibie	12	17	Aquatique large	1
Rodentia	Gliridae	Muscardin	10	14	Bocager large	1
Chiroptera	Vespertilionidae	Sérotine commune	8	14	Ubiquiste anthropophile	2
Chiroptera	Vespertilionidae	Murin de Daubenton	6	14	Aquatique large	2
<i>Carnivora</i>	<i>Mustelidae</i>	<i>Belette</i>	4	11	<i>Ubiquiste</i>	2
Chiroptera	Vespertilionidae	Barbastelle d'Europe	14	14	Forestier large	2
Rodentia	Sciuridae	Ecureuil roux	3	14	Bocager large	2
Lagomorpha	Leporidae	Lapin de garenne	11	14	Bocager large	3
<i>Cetartiodactyla</i>	<i>Cervidae</i>	<i>Chevreuril</i>	2	14	<i>Bocager large</i>	3
Carnivora	Mustelidae	Blaireau européen	5	14	Bocager large	3
Chiroptera	Rhinolophidae	Petit Rhinolophe	10	17	Bocager large	3
<i>Chiroptera</i>	<i>Vespertilionidae</i>	<i>Grand Murin</i>	12	17	<i>Forestier large</i>	3
<i>Soricomorpha</i>	<i>Soricidae</i>	<i>Musaraigne pygmée</i>	5	11	<i>Bocager strict</i>	4
<i>Erinaceomorpha</i>	<i>Erinaceidae</i>	<i>Hérisson d'Europe</i>	5	14	<i>Bocager large</i>	4

Il s'agit de six chauves-souris de deux familles (Petit rhinolophe, Grand rhinolophe, Murin de Bechstein, Murin de Daubenton, Sérotine commune et Barbastelle d'Europe), trois rongeurs de familles différentes (Muscardin, Campagnol amphibie, et Ecureuil roux), deux carnivores mustélidés (Loutre d'Europe et Blaireau européen) et d'un lagomorphe (Lapin de garenne).

Des fiches avec une présentation des espèces et de leur écologie, les principaux résultats de nos analyses les concernant, et des propositions d'actions pour conserver et rétablir leurs continuités écologiques sont proposées en annexe de la présente notice (voir *Fiches 3.X : Fiches espèces*)

Données mobilisées

Les données naturalistes

Les données naturalistes utilisées ont été celles collectées durant l'Atlas des Mammifères sauvages de Bretagne (2005-2014), éventuellement complétées de celles collectées par le GMB entre 2015 et 2018 quand c'était opportun (connaissances nouvelles dans la répartition notamment).

Seules les observations d'une précision suffisante (géolocalisées ou localisées au lieu-dit) collectées par les observateurs du GMB, de Bretagne Vivante et du VivArmor Nature ont été exploitées (les données des fédérations des chasseurs étant localisées à la commune simplement).

Elles pouvaient constituer, suivant les cas, des jeux de données d'occurrence seulement, ou de présence/absence quand un protocole fiable le permettait.

Des données (collisions routières notamment, ou certaines issues de pelotes de réjection) qui auraient pu interférer et biaiser les analyses ont été retirées pour quelques espèces pour lesquelles elles représentaient une part significative des observations. Les données de collision ainsi extraites ont ensuite servi de jeu de contrôle lors de l'étape de validation des continuités modélisées.

Afin de corriger une pression d'observation qui pouvait être relativement hétérogène chez certaines espèces et former des agrégats aux endroits où des études et inventaires poussés avaient été conduits, un sous-échantillonnage par maille de 500 m, 1 km ou 2 km a été tiré aléatoirement dans les jeux de données. Pour toutes les espèces, une correction ultérieure du biais d'observation interviendra également par une pondération des observations inverse à leur densité (voir *Analyses spatiales des distributions*).

Espèce	Période des données	Sous-échantillonnage	Nombre données de présence retenues	Prise en compte de données d'absence
Murin de Bechstein	01/2005 - 09/2018	/	210	NON
Campagnol amphibie	01/2005 - 09/2018	/	2259	OUI (1020)
Muscardin	01/2005 - 11/2018	léger : 1 obs / 50 m	504	NON
Grand Rhinolophe	01/2005 - 12/2014	3 obs max / maille 1x1	921	OUI (88)
Loutre d'Europe	01/2005 - 05/2018	/	3543	OUI (888)
Petit Rhinolophe	01/2005 - 12/2018	2 obs max / maille 2x2	498	OUI (96)
Murin de Daubenton	01/2005 - 12/2014	/	1031	NON
Ecureuil roux	01/2005 - 12/2014	/	3958	NON
Lapin de garenne	01/2005 - 06/2018	2 obs max / maille 1x1	3658	NON
Blaireau européen	01/2005 - 12/2014	2 obs max / maille 2x2	2931	NON
Barbastelle d'Europe	01/2005 - 05/2018	4 obs max / maille 2x2	1000	NON
Sérotine commune	01/2005 - 12/2014	/	856	NON
Grand Murin	01/2005 - 12/2018	2 obs max / maille 1x1	418	OUI (120)
Chevreuil	01/2005 - 06/2018	2 obs max / maille 1x1	7417	NON
Hérisson d'Europe	01/2005 - 06/2018	3 obs max / maille 1x1	5942	NON
Belette	01/2005 - 12/2014	/	706	NON
Musaraigne pygmée	01/2005 - 09/2018	/	490	OUI (849)

🌿 Les données écologiques

64 variables écologiques qui seront croisées avec les données d'espèce pour les analyses spatiales de distribution ont été construites à partir de nombreuses sources. Elles recouvrent tous les champs déterminant les biotopes des espèces et influençant leur distribution, depuis la géographie/topographie jusqu'aux pressions anthropiques en passant par les habitats, le climat ou les interactions entre espèces.

Les sources de données sont des couches d'information produites par l'IGN (Modèle Numérique de terrain, BD TOPO, BD FORET, BD CARTHAGE), le BRGM, les Agences de l'Eau, les Etats membres de l'Union Européenne (Corinne Land Cover), les DREAL, le CES « Occupation des sols » (couche OSO 2017), des organisations internationales (couches BIOCLIM ou de la luminosité nocturne DMSP-OLS), ou encore les associations naturalistes.

Les extraits, extrapolations, transformations, assemblages, ré-échantillonnage de ces différentes données sources pour construire les variables environnementales spécifiques à nos analyses ont été élaborées par des algorithmes, calculs et opérations réalisées avec les logiciels suivants :

- QGIS 2.14 & QGIS 2.18
- SAGA GIS 6.3.0
- R 3.5.0

Les 64 variables, leurs sources et procédés de construction, sont présentés dans le tableau ci-après.

Catégorie	Variable	Source et construction
Géographie / Topographie	Longitude (valeur de X)	
	distance du trait de côte	
	Pente (en degrés)	Algorithme "Slope, Aspect, Curvature" sur MNT 10m sous SAGA
	microtopographie (plaines/plateaux/coteaux/vallées...)	Algorithme "Topographic Position Index" sur MNT 10m sous SAGA
Climat	Température moyenne annuelle (1970 - 2000) - BIO1	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Amplitude thermique annuelle moyenne (1970 - 2000) - BIO7	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Température moy. du trimestre le plus froid (1970 - 2000) - BIO11	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Précipitations moyennes annuelles (1970 - 2000) - BIO12	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Précipitations moy. du trimestre le plus sec (1970 - 2000) - BIO17	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Précipitations moy. du trimestre le plus froid (1970 - 2000) - BIO19	d'après BIOCLIM2 (moyennes établies sur la période 1970 - 2000)
	Insolation annuelle (cumul insolation directe et diffuse entre mars et octobre)	Algorithme "Potential Incoming Solar Radiation" sous SAGA avec latitude 48° résolution 4 h cumul annuel de 6 à 22h entremars et octobre)
Paysage	Exposition aux vents dominants (OSO)	Algorithme "Wind Effect (Windward / Leeward Index)" sous SAGA avec vent dominant du WSW (souffle vers la dir 60°)
	Indice de diversité des milieux dans un rayon de 500 m	Algorithme "Diversity of Categories" (Conrad 2015) sous SAGA sur la couche CLC 2012 dans un rayon de recherche de 500 m
	Hétérogénéité du paysage (moyenne de l'indice de diversité de Conrad à 500 m) dans un rayon de 5 km	Moyenne de l'indice de diversité des milieux dans un rayon de 5000 m
	Couverture arborée moyenne dans un rayon de 500 m	D'après la couche haute résolution du taux de couvert arboré - Résolution 20m - 2012
Urbanisation / artificialisation	Couverture arborée moyenne dans un rayon de 5 km	D'après la couche haute résolution du taux de couvert arboré - Résolution 20m - 2012
	Pollution lumineuse (quantité de lumière nocturne moyenne sur la période 2010-2013)	Quantité lumineuse nocturne normalisée moyenne sur la période 2010-2013, calculée à partir du produit "avg_lights_x_pct" de la base de données "DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series-Version 4"
	Distance de la zones hyper-artificialisée la plus proche (hyper-centre urbain, zones industrielles et commerciales...)	Construction des zones "hyperurbaines" à l'aide de l'algorithme "Fragmentation" sous SAGA sur un extrait des zones avec taux d'imperméabilisation > 75 % --> zones de cœurs (val 1 et 2) retenues
	Distance de la zone périurbaine / d'urbanisation lâche la plus proche	Construction des zones "périurbaines" à l'aide de l'algorithme "Fragmentation" sous SAGA sur un extrait des zones avec taux d'imperméabilisation > 75 % --> zones de cœurs (val 1 et 2) soustraites
	Taux moyen d'imperméabilisation des sols dans un rayon de 5 km	D'après la couche haute résolution du taux d'imperméabilisation des sols - Résolution 20m - 2012
	Densité des routes de plus de 5 m de large (ou importance moyenne du trafic selon le plus adapté) dans un rayon de 500 m	D'après la BDTOPO : sélection des routes de plus de 5 m de large --> soit densité des routes soit moyenne de l'importance des routes (champ de la BDTOPO de classement d'importance du trafic)
Eau / Hydrographie / Hygrométrie...	Densité des routes de plus de 5 m de large (ou importance moyenne du trafic selon le plus adapté) dans un rayon de 2 km	D'après la BDTOPO : sélection des routes de plus de 5 m de large --> soit densité des routes soit moyenne de l'importance des routes (champ de la BDTOPO de classement d'importance du trafic)
	Distance à l'eau (plans d'eau et cours d'eau)	D'après BDTOPO : sélection de tous les cours d'eau et plan d'eau
	Humidité potentielle des sols	Algorithme "SAGA Wetness Index" sur MNT 10m sous SAGA
	Indice du caractère inondable moyen (par remontée de nappe) du terrain dans un rayon de 500 m	D'après la couche du BRGM "risque d'inondation par remontée de nappe" en domaine de socle (georisques.gouv.fr)
Habitats aquatiques - humides	Qualité écologique moyenne des cours d'eau de la zone hydrologique	Moyenne de l'état écologique des Masses d'Eau Rivières (2013 - source Agences de l'Eau) par zones hydr (BDCarthage)
	Qualité physicochimique moyenne des cours d'eau de la zone hydrologique	Moyenne de l'état physicochimique des Masses d'Eau Rivières (2013 - source Agences de l'Eau) par zones hydr (BDCarthage)
	Densité de plans d'eau dans un rayon de 2 km	Calcul sur sélection des plans d'eau de plus de 1000m ² dans la BDTOPO
Habitats bocagers - lisières	Surface d'eau libre (cours d'eau d'au moins 5 m de large et plans d'eau) dans un rayon de 500 m	Cumul des surfaces des plans d'eau et cours d'eau de plus de 5 m de large de la BDTOPO
	Densité de marais dans un rayon de 2 km	Calcul sur sélection de zones temporairement couvertes d'eau de plus de 2ha d'un seul tenant sur la couche haute résolution des zones humides - Résolution 20m - 2012
Habitats bocagers - lisières	Distance de l'écotone arboré (haies + lisières) le plus proche	Construction des écotones à partir des bois et haies de la BDTOPO, et des lisières (raster 10m des périmètres) des forêts fermées et ouvertes de tous types de la BD FORET
	Densité de haies et bosquets dans un rayon de 500 m	Calcul sur les objets Haies et Bois de la BD TOPO
	Densité de lisières forestières (externes / internes / allées) dans un rayon de 500 m	Construction à partir des périmètres d'objets 'forêts fermées' ou 'forêts ouvertes' de la BD FORET
	Densité d'écotones arborés (haies +lisières) dans un rayon de 2 km	Construction des écotones à partir des bois et haies de la BDTOPO, et des lisières (raster 10m des périmètres) des forêts fermées et ouvertes de tous types de la BD FORET
	Densité d'écotones arborés (haies +lisières) dans un rayon de 5 km	Construction des écotones à partir des bois et haies de la BDTOPO, et des lisières (raster 10m des périmètres) des forêts fermées et ouvertes de tous types de la BD FORET

Catégorie	Variable	Source et construction
Habitats forestiers	Distance du "Cœur forestier" le plus proche	Construction de "Cœurs forestiers" de plus de 5 ha à l'aide de l'algorithme "Fragmentation" sous SAGA sur une sélection de l'ensemble des forêts fermées de la BD FORET (Neigh 2-5 sur Raster 20m)
	Densité de "Cœurs forestiers" dans un rayon de 5 km	Construction de "Cœurs forestiers" de plus de 5 ha à l'aide de l'algorithme "Fragmentation" sous SAGA sur une sélection de l'ensemble des forêts fermées de la BD FORET (Neigh 2-5 sur Raster 20m)
	Densité de boisements "riches" dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection de forêts fermées (couvert arbres > 40%) de feuillus (chênaies, hêtraies, mélanges feuillus ou mixtes à dominante feuillue) et de forêts ouvertes (couvert arbres > 10 %) de feuillus ou mixtes (BD Foret)
	Densité de boisements "riches" dans un rayon de 2 km	Calcul sur sélection de forêts fermées (couvert arbres > 40%) de feuillus (chênaies, hêtraies, mélanges feuillus ou mixtes à dominante feuillue) et de forêts ouvertes (couvert arbres > 10 %) de feuillus ou mixtes (BD Foret)
	Densité de boisements "riches" dans un rayon de 5 km	Calcul sur sélection de forêts fermées (couvert arbres > 40%) de feuillus (chênaies, hêtraies, mélanges feuillus ou mixtes à dominante feuillue) et de forêts ouvertes (couvert arbres > 10 %) de feuillus ou mixtes (BD Foret)
	Densité de forêts anciennes dans un rayon de 5 km	Calcul sur sélection de forêts de la carte de Cassini (18ème/19ème) de plus de 20 ha
	Fragmentation moyenne des espaces forestiers dans un rayon de 2000 m	Moyenne de la valeur de l'indice de fragmentation (algorithme Fragmentation sous SAGA - neigh 8-10 sur raster 20m) des forêts fermées de tous type de plus de 5 h de la BD FORET
	Densité de zones ouvertes en forêt (coupes, régénération, clairières, forêts ouvertes) dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection de coupes et régénération de forêts fermées, de formations herbacées en forêt et de forêts ouvertes (10% < couvert arboré < 40%) de la BD FORET
	Densité de parcs arborés urbains dans un rayon de 2 km	Construction de parcs arborés urbains à partir des classes "forêts en contexte urbain" de la couche haute résolution des types de forêts - forêts Non FAO - Résolution 20m - 2012
Habitats ouverts / semi-ouverts hors culture	Densité de prairies dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection des classes "pelouse" et "prairie" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de prairies dans un rayon de 5 km	Calcul sur sélection des classes "pelouse" et "prairie" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de friches/fourrés/landes dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection la classe "landes ligneuses" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de friches/fourrés/landes dans un rayon de 2 km	Calcul sur sélection la classe "landes ligneuses" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de plages/dunes dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection des plages et dunes de la couche CLC 2012
	Densité de jardins et vergers dans un rayon de 500 m	Assemblage des haies et Bois (BDTOPO), Vergers (BDTOPO) et pelouses/prairies (OSO 2017) présents dans les périmètres péri-urbains (d'après la construction à partir de surface imperméabilisées > 75 %)
	Densité de vergers dans un rayon de 5 km	Calcul sur sélection la classe "vergers" de la couche Végétation de la BDTPO
Agriculture / habitats agriculture intensive	Densité de cultures dans un rayon de 500 m	Calcul sur sélection des classes "culture été" et "culture hiver" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de cultures dans un rayon de 2 km	Calcul sur sélection des classes "culture été" et "culture hiver" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Densité de cultures dans un rayon de 5 km	Calcul sur sélection des classes "culture été" et "culture hiver" de la couche OSO à la résolution 10m produite par le CES Occupation des sols en 2017
	Intensité de l'agriculture (= densité des gros élevages ICPE) dans un rayon de 2 km	Carte de chaleur des données d'ICPE d'élevage soumis à autorisation ou enregistrement des DREAL Bretagne, Pays de Loire et Normandie
	Intensité de l'agriculture (= densité des gros élevages ICPE) dans un rayon de 5 km	Carte de chaleur des données d'ICPE d'élevage soumis à autorisation ou enregistrement des DREAL Bretagne, Pays de Loire et Normandie
Variables spécifiques	Densité de cavités souterraines dans un rayon de 25 km	Carte de chaleur des données de cavités souterraines recensées par le BRGM, complétées des cavités recensées par les associations naturalistes
	Fréquence relative de Musaraigne couronnée (pelotes) dans un rayon de 2000 m	D'après les données du GMB
	Fréquence relative de Crocidure musette (pelotes) dans un rayon de 2 km	D'après les données du GMB
	Densité des données de Blaireau dans un rayon de 500 m	D'après les données du GMB
	Densité des pop / observations de Grand rhinolophe dans un rayon de 2 km	D'après les données de l'Atlas des Mammifères de Bretagne
	Indice de qualité piscicole des cours d'eau	D'après la moyenne pour la période 2010/2015 des données d'indice de qualité biologique "poisson" des cours d'eau 2010-2015 des agences de l'eau extrapolées
	Distance des zones de maintien de la Loutre (rangs d'éloignement des sous-bassins depuis ceux occupés dans les années 1980)	D'après les données du GMB d'occupation historique des zones hydrographiques par la Loutre

Emprise et résolution

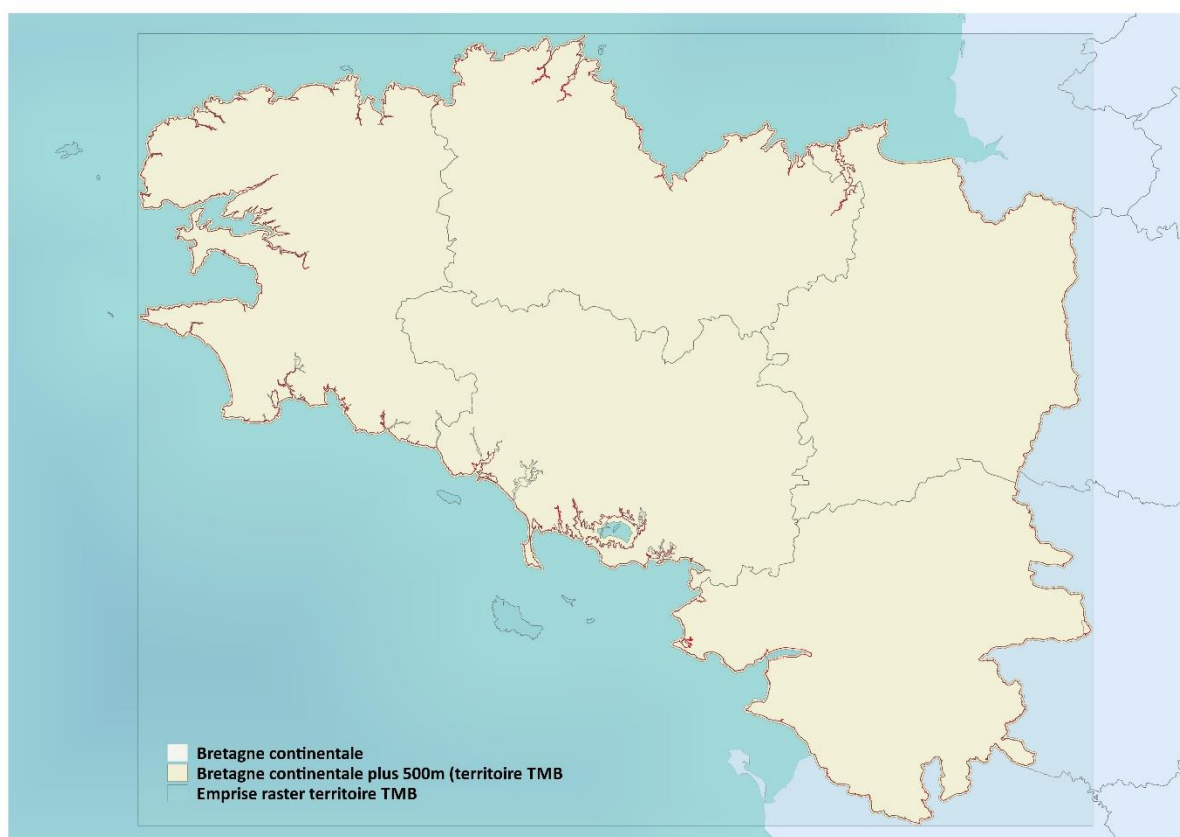
L'ensemble des données, couches raster et vecteurs manipulées et construites sont projetées dans le système de coordonnées français **Lambert 93** (EPSG : 2154).

Les cartographies et analyses sont basées sur des données d'espèces et des variables raster de résolution suffisamment précise (**pixels de 10x10 m**) définies dans l'emprise de la Bretagne historique (région Bretagne et Loire-Atlantique) à l'exclusion des îles et îlots, compte-tenu du caractère plus ou moins aléatoire de la dispersion en mer des différentes espèces vers ces espaces (xMin,yMin 123922,6649991 : xMax,yMax 404382,6882061).

La construction des variables environnementales qui pouvaient, pour certaines, nécessiter de calculer des densité d'éléments dans un rayon élargi a donc considéré un territoire continental élargi de 20 km dans les régions Normandie et Pays de la Loire (xMin,yMin 123927,6630002 : xMax,yMax 424380,6882056).

Pour la modélisation des continuités, nous avons élargi la matrice de perméabilité des déplacements dans les estuaires, bras de mer, et zones d'estran à 1300 m du trait de côte afin que ces espaces plus ou moins franchissables selon les espèces ne soient pas considérés comme une sorte de vide absolument infranchissable. L'emprise définitive des couches raster de continuités a, en dernier lieu, été réduite à une limite de 500 m de l'emprise de la Bretagne historique continentale.

Les cartes de trames définitives sont donc des couches raster d'une **résolution de 10m** (655 947 370 pixels) définie dans **la partie continentale de la Bretagne historique élargie de 500 mètres** (xMin,yMin 123428,6649495 : xMax,yMax 404878,6882555).

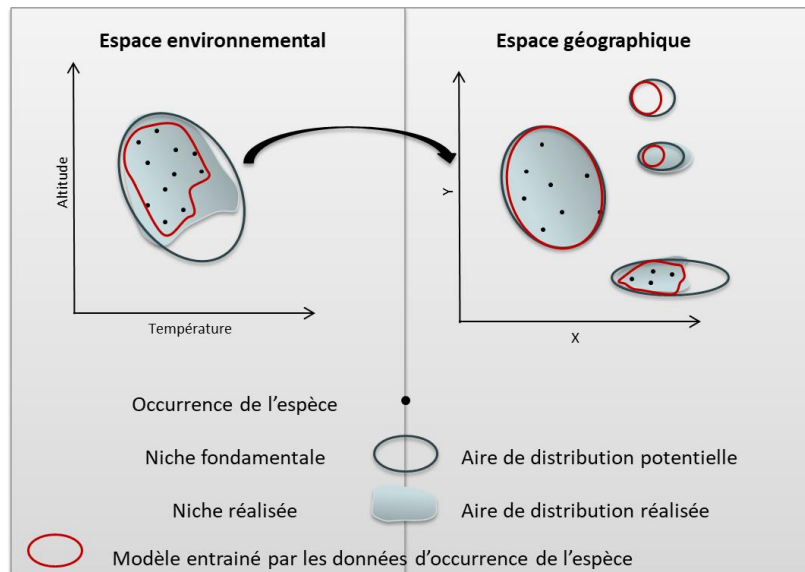


Analyses spatiales des distributions

🐾 Principe et théorie

L'analyse spatiale des distributions d'espèces repose sur le concept de niche écologique introduit par Hutchinson en 1957 : une combinaison de caractères écologiques (conditions abiotiques et environnementales) dans lesquelles une population viable peut se développer. Ces N caractères déterminent un espace environnemental à N dimensions représentant une niche fondamentale, au sein de laquelle des limites (dynamique des populations, compétition, dispersion, isolement géographique...) délimitent un sous-ensemble correspondant à la niche réalisée.

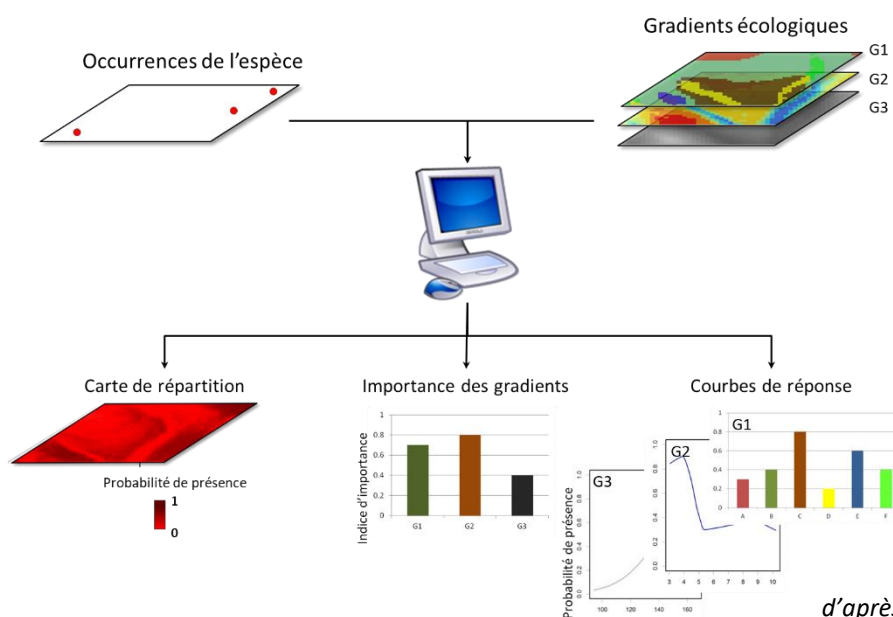
La traduction spatiale des niches fondamentales et réalisées dans un espace géographique détermine respectivement une aire de distribution potentielle et une aire de distribution réalisée. L'analyse spatiale des distributions est une méthode plus ou moins performante et restrictive pour réaliser cette traduction spatiale à l'aide de modèles « entraînés » par des données d'occurrence des espèces. Elle définit alors une combinaison à la fois de la distribution réalisée et de la distribution potentielle qu'on



d'après Le Roux, 2016

peut considérer comme **un espace où les variables environnementales sont favorables à l'espèce** (\equiv capacité d'accueil du milieu ou « *habitat suitability* », \equiv aptitude).

Ces analyses permettent d'établir des relations entre les gradients (ou variables) écologiques et les données d'occurrence d'espèces, à la fois par leur importance dans l'explication des présences, mais



aussi par leurs effets (courbes de réponse) qui peuvent être positifs, négatifs, variables, seuils... Ces résultats sont complétés par des cartes de probabilité de présence (\equiv d'aptitude) résultant de l'extrapolation des relations précitées dans l'ensemble de l'espace géographique.

d'après Le Roux, 2016

🐾 Méthode

Pour réaliser les analyses, nous avons utilisé la plateforme **BIOMOD2** [THUILLIER et al., 2015] avec le logiciel de statistique **R 3.5.0**. Ce package propose 10 algorithmes de modèles différents, qui peuvent être réalisés en série pour un même jeu de données et de variables. Parmi ceux-ci, des modèles de régression (modèle linéaire généralisé – GLM, régression multivariée par spline adaptative – MARS, analyse discriminante flexible – FDA), mixtes de régression et d’arbres décisionnels (modèle linéaire généralisé boosté – GBM) et d’apprentissage (maximum d’entropie – Maxent) ont été utilisés lors de nos analyses.

Les modélisations sont réalisées avec les données de présence collectées, des données d’absence dans quelques cas, et des pseudo-absences, générées aléatoirement en nombre au moins 10 fois supérieur au nombre des autres données, à distance des données de présence recensées.

Lors de la procédure, **les données de présence et d’absence sont pondérées par une fonction inverse à la densité d’observations afin de lisser le biais lié à la pression d’observation** (à l’aide d’une carte de chaleur réalisée sous QGIS), en plus de l’éventuel sous-échantillonnage déjà réalisé (*voir plus haut*).

Chaque modèle fait l’objet de 10 répétitions avec tirage de 75% de données de calibration et 25% de données de validation, avant d’être compilé dans un modèle complet.

La performance des modèles est déterminée par plusieurs mesures :

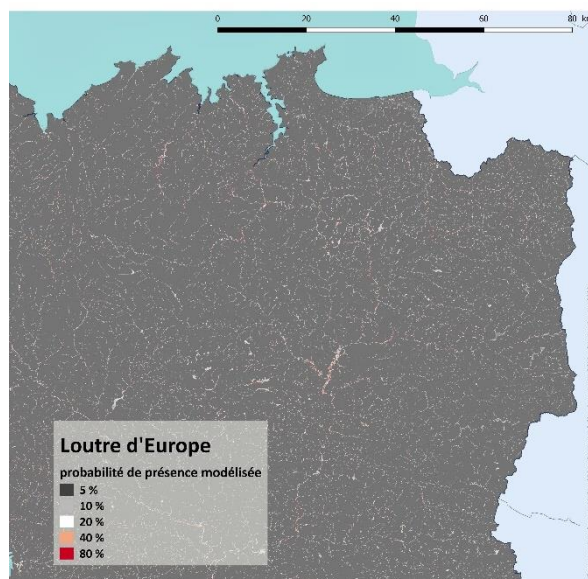
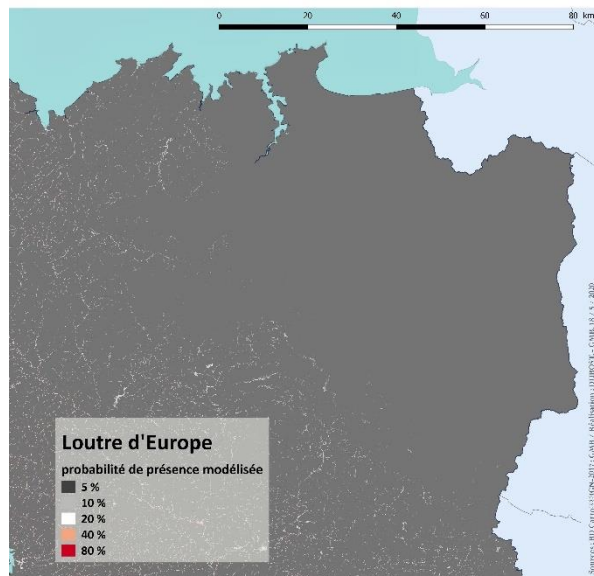
- la sensibilité (0 à 1) est la capacité du modèle à prévoir correctement les présences,
- la spécificité (0 à 1) est la capacité du modèle à prévoir correctement les absences,
- la valeur d’aire sous la courbe ROC (Area Under Curve – AUC) est la précision (performance globale) du modèle, entre 0 et 1 (cas idéal où toutes les données sont correctement modélisées).

Valeur AUC	Précision / performance du modèle
0,5 – 0,6	mauvaise
0,6 – 0,7	faible
0,7 – 0,8	correcte
0,8 – 0,9	bonne
0,9 - 1	excellente

Plusieurs **algorithmes et combinaisons de variables, non corrélées entre-elles, sont testés de manière itérative, jusqu’à obtenir le meilleur modèle possible**, tant en termes de performance que de qualité de la projection cartographique et de cohérence des effets avec l’écologie des espèces. De nombreux modèles sont donc testés pour chaque espèce, et en définitive, 525 modèles auront été réalisés, pour n’en retenir qu’un seul par espèce (*voir paragraphe suivant*).

Une procédure complémentaire a été conduite pour la Loutre d’Europe, compte tenu de sa situation particulière actuelle (en phase de recolonisation) dans la région. En effet, son aire de distribution s’est fortement rétractée jusqu’aux années 1980 avant de commencer à se rétablir à partir des années 1990, mais sans toutefois avoir encore retrouvé son emprise initiale dans l’ensemble du territoire régional. Afin d’expliquer la distribution actuelle de l’espèce, une variable « historique » d’éloignement hydrographique de la zone de maintien a été construite (*voir Données mobilisées*). Une fois le meilleur modèle déterminé, nous avons alors reconstruit la carte de présence potentielle avec les mêmes effets, en remplaçant la variable historique par une même variable projetant une situation de proximité des zones recolonisées probable dans dix ans. De cette manière cette nouvelle cartographie révèle la capacité d’accueil des milieux des zones qui seront bientôt recolonisées sans les amoindrir à cause d’une absence seulement actuelle, liée à un facteur historique.

Grâce à cette procédure, la cartographie de probabilité de présence de la Loutre est d'une part très satisfaisante et précise (AUC = 0,93) pour figurer l'état actuel de sa distribution, avec une absence d'une large part de l'Ille-et-Vilaine notamment (*voir ci-dessous*).



Et par ailleurs, elle permet de connaître la capacité d'accueil des habitats dans l'ensemble de la région à un horizon proche (*voir ci-dessus*), pour pouvoir proposer une analyse des continuités valable pour les prochaines années.

🐾 Résultats

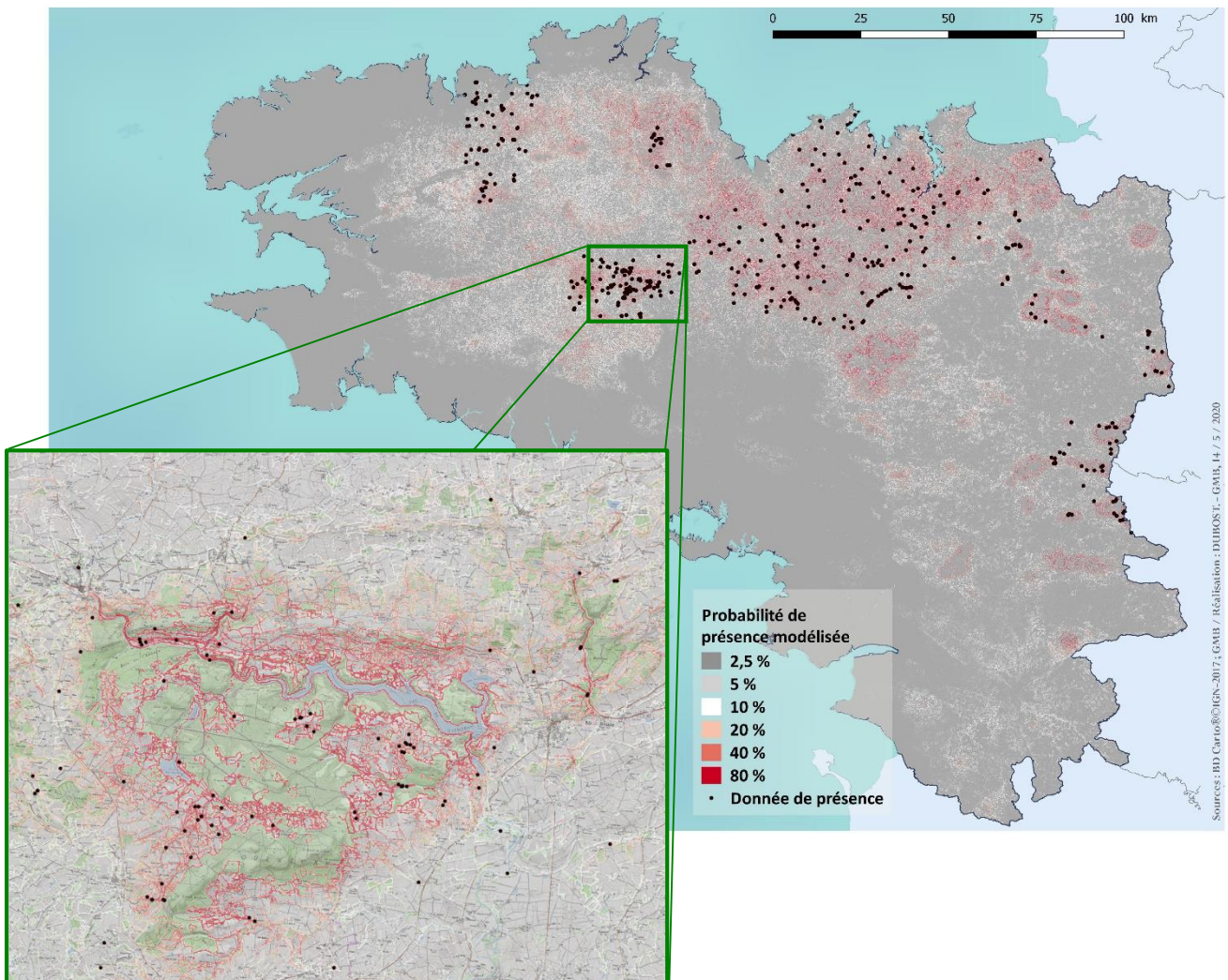
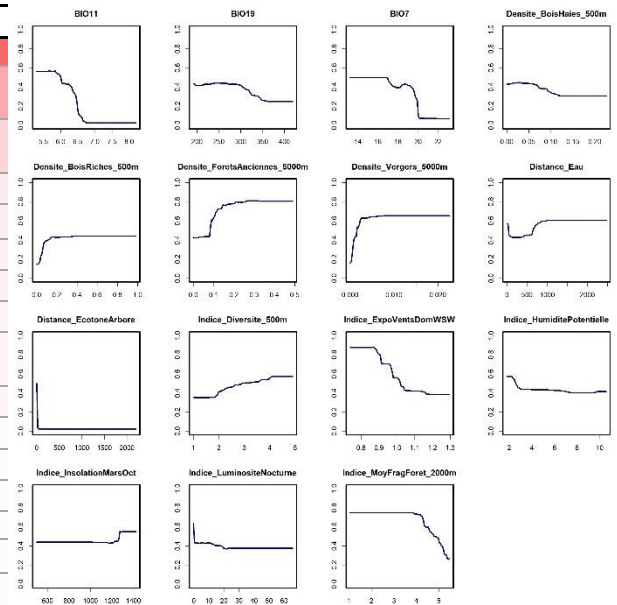
525 modèles ont donc été testés pour les 17 espèces analysées avec différents algorithmes et combinaisons de variables. 53 de ces dernières sont finalement utilisées dans les 17 modèles définitifs parmi les 64 variables initialement construites. C'est en particulier l'hétérogénéité du paysage et la proximité des haies et lisières (pour 15 espèces chacune), la densité des cultures (pour 13 espèces) ou la proximité de l'eau (pour 10 espèces) qui sont les plus souvent retenues comme explicatives des présences de mammifères en Bretagne.

Espèce	Nombre de tests (combinaisons de différents modèles et jeux de variables)	Nombre de variables écologiques testées	Meilleur modèle	Nombre de variables explicatives retenues	Valeur AUC	Sensibilité	Spécificité	Qualité de la modélisation
Murin de Bechstein	28	30	FDA	12	0,80	70,38	78,77	bonne
Campagnol amphibie	26	32	MARS	8	0,87	77,16	85,18	bonne
Muscardin	57	40	GBM	16	0,91	87,86	80,15	excellente
Grand Rhinolophe	53	35	MARS	10	0,83	74,76	76,48	bonne
Loutre d'Europe	34	31	GBM	11	0,93	87,28	88,80	excellente
Petit Rhinolophe	39	30	MARS	10	0,83	78,55	73,43	bonne
Murin de Daubenton	21	30	FDA	10	0,84	74,32	79,82	bonne
Ecureuil roux	12	22	FDA	9	0,80	76,04	70,82	bonne
Lapin de garenne	26	30	MARS	8	0,72	62,19	70,18	correcte
Blaireau européen	34	28	MARS	7	0,71	63,18	67,80	correcte
Barbastelle d'Europe	22	28	MARS	9	0,81	73,80	76,29	bonne
Sérotine commune	14	25	MARS	9	0,77	65,28	78,19	correcte
Grand Murin	39	31	MARS	10	0,83	77,12	73,60	bonne
Chevreuil	14	30	MARS	10	0,71	64,01	67,07	correcte
Hérisson d'Europe	21	33	MARS	6	0,76	65,90	73,18	correcte
Musaraigne pygmée	66	34	FDA	7	0,58	58,03	57,00	mauvaise
Belette	19	26	GBM	12	0,72	63,03	69,24	correcte

Pour chaque espèce, nous obtenons en définitive les contributions et les courbes de réponse des variables explicatives retenues et une carte de probabilité de présence ou capacité d'accueil des milieux / aptitude.

L'exemple du Muscardin, ci-dessous, illustre les résultats pour une espèce (les résultats de chaque espèce sont détaillés dans les Fiches 3.X : Fiches espèces en annexe de la présente notice) :

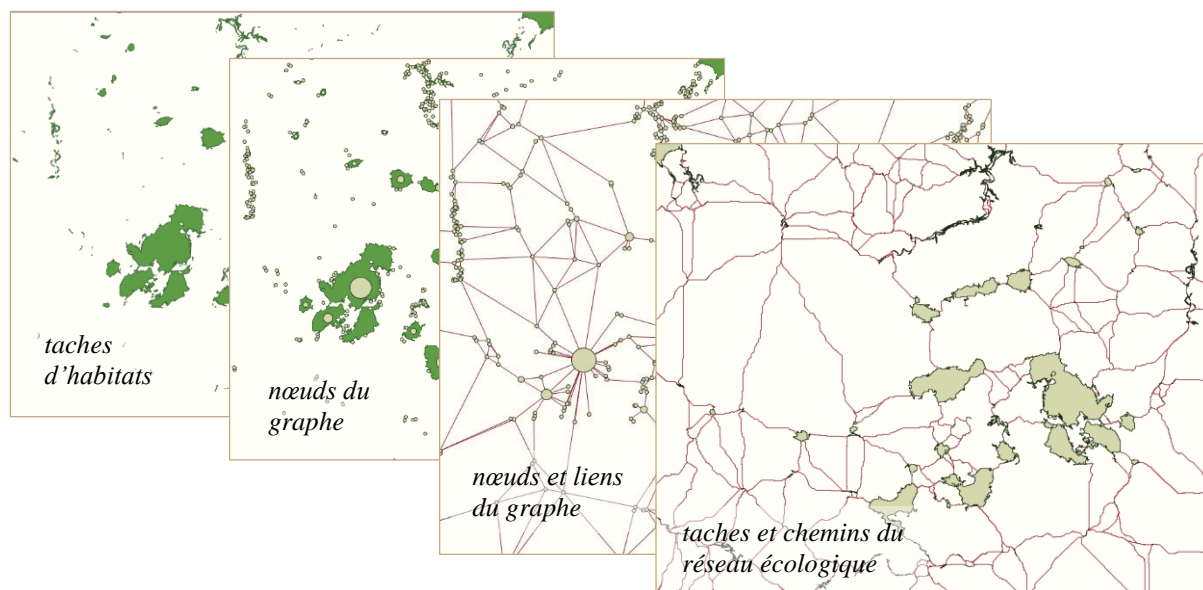
Variable écologique	Contribution
distance de l'écotone arboré (haies + lisières) le plus proche	41,9%
Température moy. du trimestre le plus froid (1970 - 2000) - BIO11	23,5%
Amplitude thermique annuelle moyenne (1970 - 2000) - BIO7	10,9%
densité de vergers dans un rayon de 5000 m	5,1%
Fragmentation moy. des espaces forestiers rayon de 2 km	4,4%
densité de forêts anciennes dans un rayon de 5 km	3,3%
Exposition aux vents dominants (OSO)	3,0%
densité de boisements "riches" dans un rayon de 500 m	2,2%
Précipitations moy. du trimestre le plus froid (1970 - 2000) - BIO19	2,1%
microtopographie (plaine/plateaux/coteaux/vallées...)	2,1%
distance à l'eau (plans d'eau et cours d'eau)	0,6%
Indice de diversité des milieux dans un rayon de 500 m	0,4%
densité de haies et bosquets dans un rayon de 500 m	0,2%
pollution lumineuse	0,1%
Insolation annuelle (cumul entre mars et octobre)	0,1%
humidité potentielle des sols	0,1%



Modélisation des réseaux écologiques

🐾 Principe et théorie

Afin d'identifier et de cartographier les continuités écologiques des 12 espèces retenues à ce stade, nous avons procédé à une modélisation de leurs réseaux écologiques. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel Graphab [FOLTETE *et al.*, 2012] (versions 2.2.6 et 2.4) qui est basé sur la théorie des graphes. Selon cette approche, le **réseau écologique** d'une espèce est modélisé en reliant des **taches d'habitats** (nœuds du graphe) par des **chemins de moindre-coût⁴** (liens du graphe), à travers une **matrice de perméabilité aux déplacements**, dans la **limite de dispersion** de l'espèce considérée.



🐾 Méthode

Pour pouvoir réaliser ces analyses, il faut donc, pour chaque espèce, disposer d'une carte des taches d'habitat et d'une matrice de perméabilité (\equiv carte de friction ou résistance) de même emprise, et connaître les distances de dispersion (quotidienne, saisonnière et d'émancipation des jeunes).

Pour les dispersions, un travail de recherche bibliographique, complété par l'expérience naturaliste des membres du GMB, nous a permis de les établir de manière satisfaisante (*voir paragraphe suivant*).

Pour les taches d'habitat et matrice de perméabilité aux déplacements, l'approche choisie (*voir Principe*) a permis de les obtenir par une seule et même opération, à partir des cartes d'aptitude élaborées précédemment (*voir Analyses spatiales des distributions*).

Cette opération consiste à établir un seuil dans les valeurs des cartes d'aptitude pour isoler des zones de présence importante et continue qui constitueront les taches d'habitat du reste qui formera la matrice de perméabilité. Cette dernière est ensuite transformée par la fonction inverse suivante : $e((\ln(0,001)/S)*DP)*1000$ [KEELEY *et al.*, 2016] pour que ses valeurs se distribuent comme des coûts de friction ou résistance de 1 à 1000.

Faute d'une méthode fiable et satisfaisante de détermination des seuils, le choix de ces derniers a été fait à dire d'expert (membres du GMB) par comparaison de plusieurs seuils testés et examen de zones de présence des différentes espèces bien établies par des études de terrain précédentes.

⁴ représentation cartographique des voies privilégiées qu'empruntent les espèces pour se déplacer dans le paysage. Ils sont définis comme des chemins minimisant le coût de déplacement entre deux zones de vie en fonction des biotopes traversés (*par exemple un plan d'eau sera difficilement traversé par le Muscardin, alors que le Loutre y trouvera un milieu de circulation privilégié*)

Le réseau écologique ainsi construit est aussi partitionné (algorithme « *clustering* ») en **compartiments** (ou composantes) correspondant à des sous-unités cohérentes de populations constituées des taches d'habitats reliées entre elles uniquement par des liens d'une distance inférieure à la dispersion d'une génération.

Plusieurs métriques (mesures de connectivité principalement) sont calculées pour les différents objets du réseau écologique modélisé :

Métrique	Objets ciblés	Dispersion considérée	Interprétation
Indice de Connectivité Equivalente (EC)	ensemble du réseau	dispersion saisonnière	mesure de la connectivité régionale qui permet d'évaluer l'état de fragmentation des populations en Bretagne
Indice de centralité intermédiaire ou « <i>Betweenness Centrality</i> » (BC)	taches d'habitat et chemins de moindre coût	dispersion saisonnière (ou <i>juvéniles pour les espèces peu mobiles à forte reproduction</i>)	mesure qui révèle les objets qui permettent de lier le réseau dans sa globalité au moindre coût, matérialise une sorte de « colonne vertébrale » du réseau
Flux (F)	taches d'habitat	dispersion saisonnière (ou <i>juvéniles pour les espèces peu mobiles à forte reproduction</i>)	mesure indicatrice du rôle plutôt « source » (valeur forte) ou « puits » (valeur faible) des taches d'habitat dans le réseau
Flux d'Interactions (IF)	taches d'habitat	dispersion saisonnière (ou <i>juvéniles pour les espèces peu mobiles à forte reproduction</i>)	mesure de la contribution des taches d'habitat à la connectivité de l'ensemble du réseau
Somme des Flux (SumFlux)	composantes	dispersion saisonnière	mesure de la cohérence des sous-unités partitionnée par la somme des dispersions potentielles à partir de toutes les taches qui la composent

Afin d'apporter une information visant à hiérarchiser et faciliter les interventions en faveur des continuités, nous avons calculé, à partir de ces métriques, des enjeux selon une grille de 2 km de résolution (suffisamment large pour laisser de la latitude spatiale dans le choix de la zone d'intervention) :

- les **enjeux de conservation ou de renforcement des continuités** sont forts dans les mailles où les parts régionales de capacité d'accueil et de connectivité (IF) des taches d'habitats et la part régionale de contribution des chemins (BC) à la connectivité du réseau sont importantes. Ils révèlent les secteurs où la fragmentation des habitats serait la plus préjudiciable à la connectivité régionale et donc à la cohérence et la pérennité des populations,
- les **enjeux de restauration ou de rétablissement des continuités** permettent de mettre en lumière les mailles où il existe des flux entre habitats, mais où ils sont déficitaires (métriques F et SumFlux faibles). Ils révèlent les secteurs où des interventions locales de rétablissement de connectivités seraient les plus profitables à la connectivité régionale et donc à renforcement de la cohérence et de la pérennité des populations.

Pour matérialiser les continuités écologiques, autrement que par les chemins de moindre coût qui réduisent de façon trop stéréotypée les déplacements et dispersions des espèces (voies linéaires, supposant une orientation complètement prédéfinie des individus...), nous avons réalisé une analyse « **Corridor** » [CLAUZEL *et al.*, 2017] des réseaux écologiques modélisés. Cette procédure permet de calculer, pour chaque pixel de la carte, l'accumulation de tous les chemins possibles (dans la limite d'une dispersion saisonnière dans notre cas) entre l'ensemble des taches d'habitats. C'est ce résultat, les « **Trames espèces** », donnant une représentation plus diffuse et continue des continuités (donc plus conforme à la réalité écologique des espèces) qui sert de base à la construction de l'outil Trame Mammifères de Bretagne.

🐾 Résultats

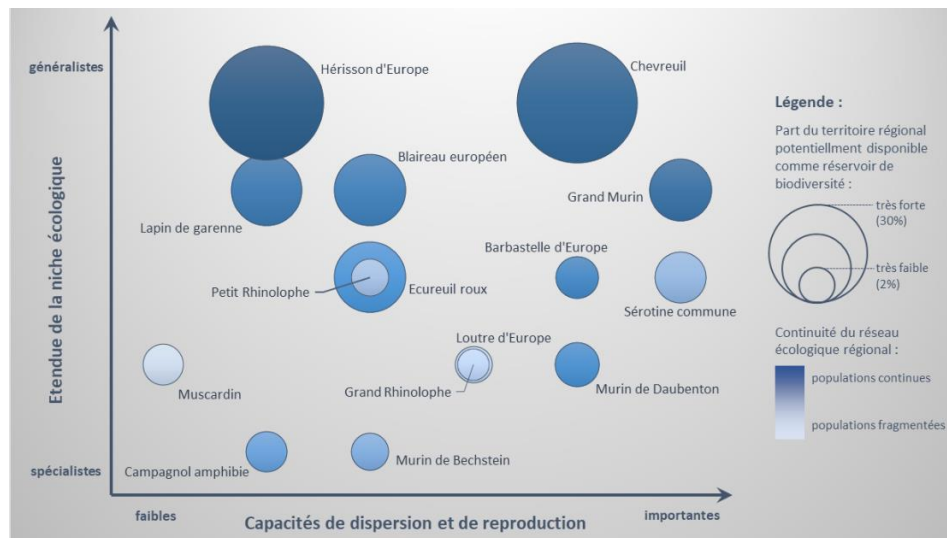
La compilation bibliographique et naturaliste des distances de dispersion des espèces a permis de définir des valeurs moyennes ou maximales pour des déplacements quotidiens, saisonniers, ou d'émancipation des juvéniles. Ces informations sont établies sur la base de travaux ou données bretonnes et applicables à notre contexte autant que possible, mais pas toujours parfaitement précises ou complètes suivant les espèces :

Espèce	Dispersion quotidienne : distances usuelles (max) en km	Dispersion Saisonnière : distances usuelles (max) en km	Dispersion émancipation juv. : distances usuelles (max) en km
Murin de Bechstein	1 (2,5)	10 (30)	NA
Campagnol amphibie	0,100 - 0,200	0,413	1,12 (2,6)
Muscardin	0,150 (0,250)	0,8 (1,5)	3,3 (7)
Grand Rhinolophe	70 % < 3,5 90 % < 5,5 (max 12)	~50% < 15 km 90% < 30 (max 100)	NA (200)
Loutre d'Europe	5 (16)	20	100
Petit Rhinolophe	0,6 (4 p=0,1 ; 8 p=0,05)	8 (25)	NA (153)
Murin de Daubenton	0,5 (4)	25 (50)	100 (300)
Ecureuil roux	0,250 (1)	1 (2)	2,5 (10)
Lapin de garenne	0,100 - 0,150	0,150 - 0,300	NA (3,37)
Blaireau européen	1 (2,5)	3 (5)	NA
Barbastelle d'Europe	6 (20)	40 (290)	NA
Sérotine commune	4 (6 p=0,1 ; 17 except.)	30 (50)	NA (330)
Grand Murin	4,5 - 8 (25)	~ 50 (436)	NA
Chevreuil	0,250 (1)	3-4 (20)	4 (100)
Hérisson d'Europe	0,150 - 0,500 (4)	3,3 - 5,2	4 (8)
Musaraigne pygmée	0,025 (0,050)	NA	NA
Belette	0,050 - 0,250 (0,500 ?)	0,200 - 1,000 (2?)	NA

La première étape de la modélisation du réseau écologique des 12 espèces retenues à ce stade nous permet de distinguer les taches (ou cœurs) d'habitats comme étant les zones de plus forte présence de nos cartes de capacité d'accueil des milieux et d'en calculer la surface. Une fois le réseau écologique modélisé par un graphe, la mesure globale de Connectivité Equivalente (EC) nous donne une indication de la fragmentation / continuité des populations bretonnes dans leur ensemble :

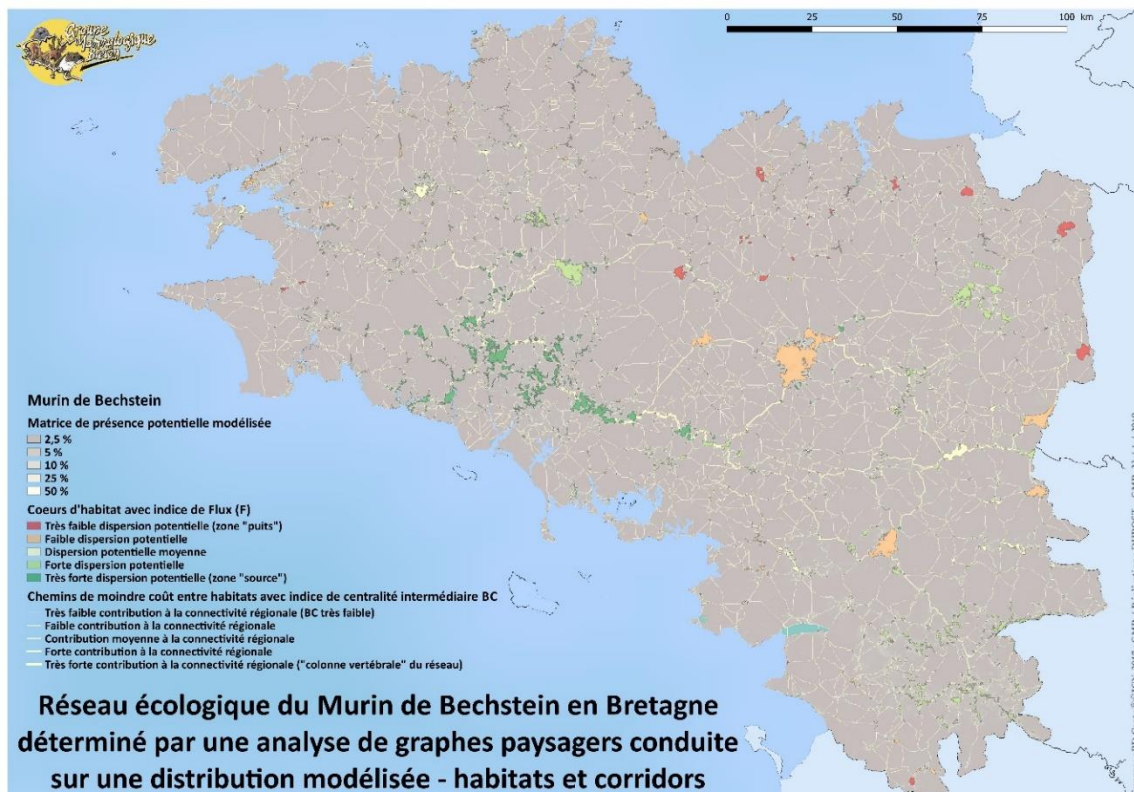
Espèce	Part potentielle du territoire régional en cœur d'habitat	Indice EC en millions	Continuité du réseau écologique régional	
Murin de Bechstein	2,9%	Faible	82,5	Très faible
Campagnol amphibie	3,5%	Faible	53,9	Très faible
Muscardin	3,5%	Faible	164,2	Moyenne
Grand Rhinolophe	2,1%	Faible	139,9	Moyenne
Loutre d'Europe	1,5%	Très faible	121,7	Faible
Petit Rhinolophe	2,9%	Faible	166,6	Moyenne
Murin de Daubenton	4,1%	Moyenne	386,1	Forte
Ecureuil roux	10,6%	Forte	587,4	Très forte
Lapin de garenne	10,6%	Forte	107,8	Faible
Blaireau européen	10,9%	Forte	108,1	Faible
Barbastelle d'Europe	3,8%	Moyenne	403,5	Forte
Sérotine commune	5,6%	Moyenne	501,5	Très forte

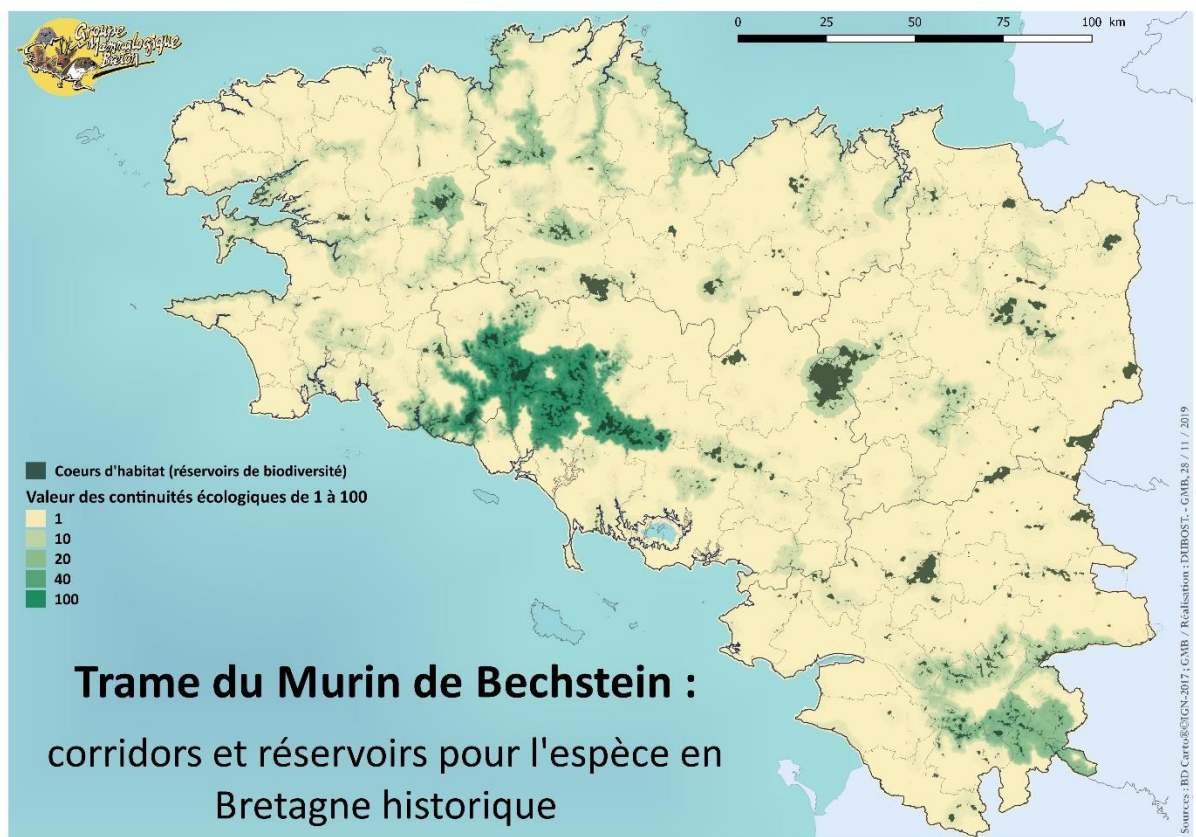
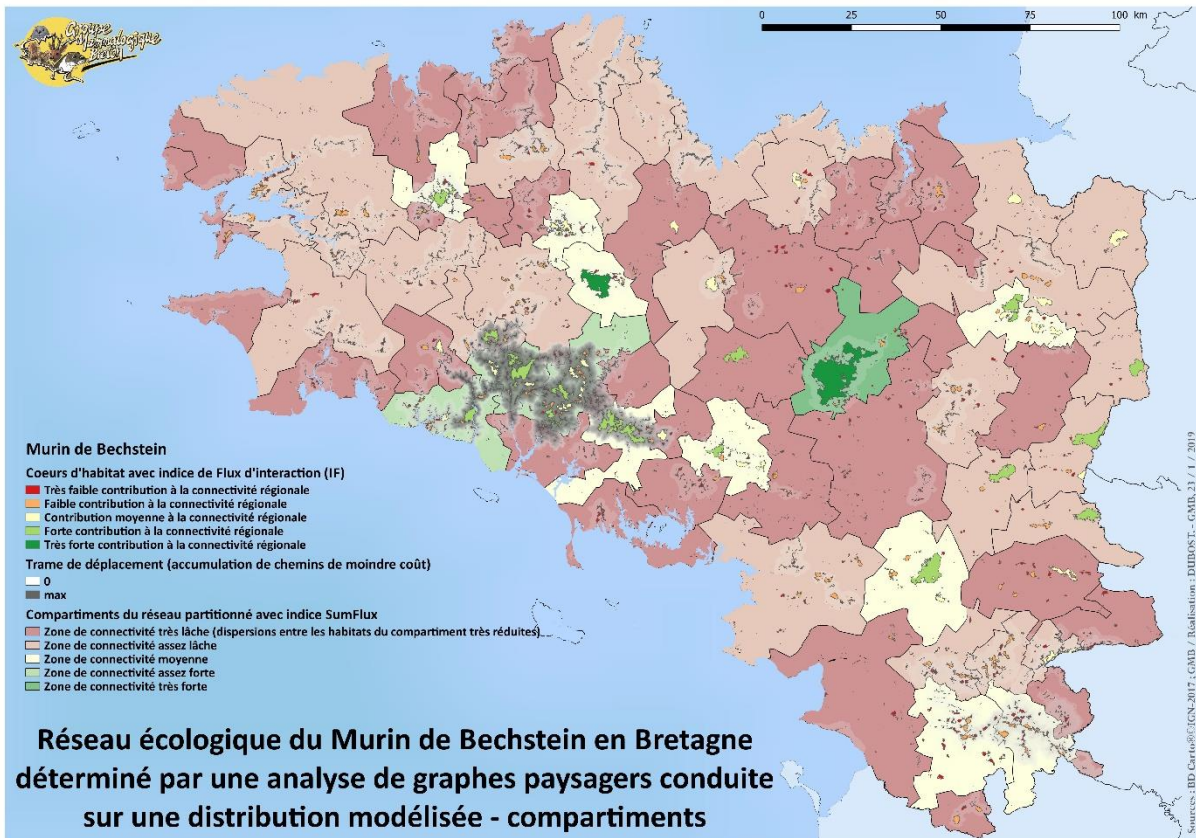
Ces résultats complétés d'indications sur l'étendue de la niche écologique, et de capacité de reproduction, nous permettent de distribuer les espèces traitées selon des gradients indicateurs de leur sensibilité et de leur capacité de résilience à la fragmentation (voir *Fiche 1.1 : Sensibilité des Mammifères à la fragmentation*) :

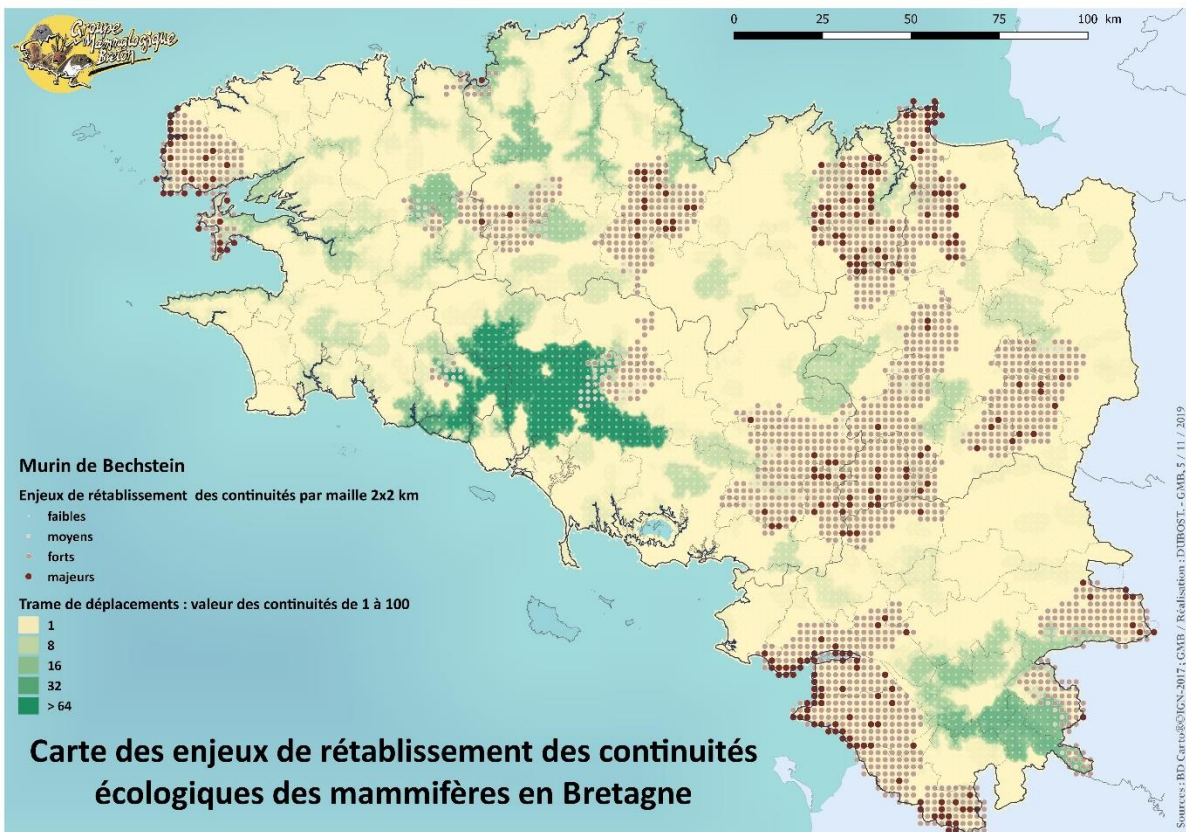
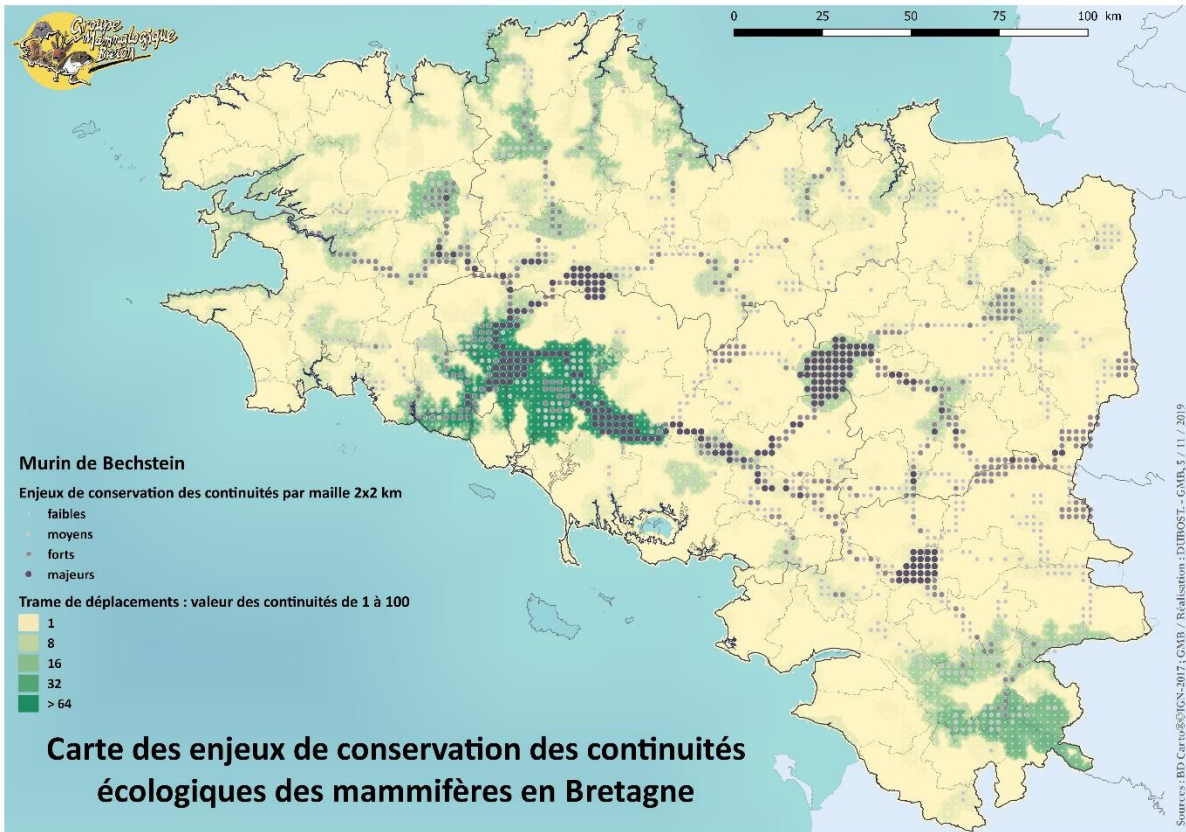


Après l'ensemble des calculs et analyses conduites sous Graphab, nous obtenons pour chacune des espèces, en définitive, des cartographies (illustrées par l'exemple du Murin de Bechstein ci-après) :

- des **cœurs d'habitats**, affectés des métriques IF, F et BC,
- des **chemins de moindre coût** entre taches d'habitats, affectés de la métrique BC,
- des **compartiments du réseau** écologique, affectés de la métrique SumFlux,
- des **enjeux de conservation** ou de renforcement des continuités par maille de 2x2 km,
- des **enjeux de rétablissement** ou restauration des continuités par maille de 2x2 km,
- de la **trame de déplacement** figurant les valeurs de continuités, distribuées de 1 à 100.







Validation de l'outil

Afin de vérifier la validité des cartographies et d'identifier les limites de ces dernières, des vérifications ont été conduites selon deux approches : de manière cartographique en confrontant les résultats à des données complémentaires « test » qui avaient été extraites préalablement aux analyses et par des contrôles de terrain dans cinq secteurs.

🦋 Validité avec données complémentaires de mortalité routière

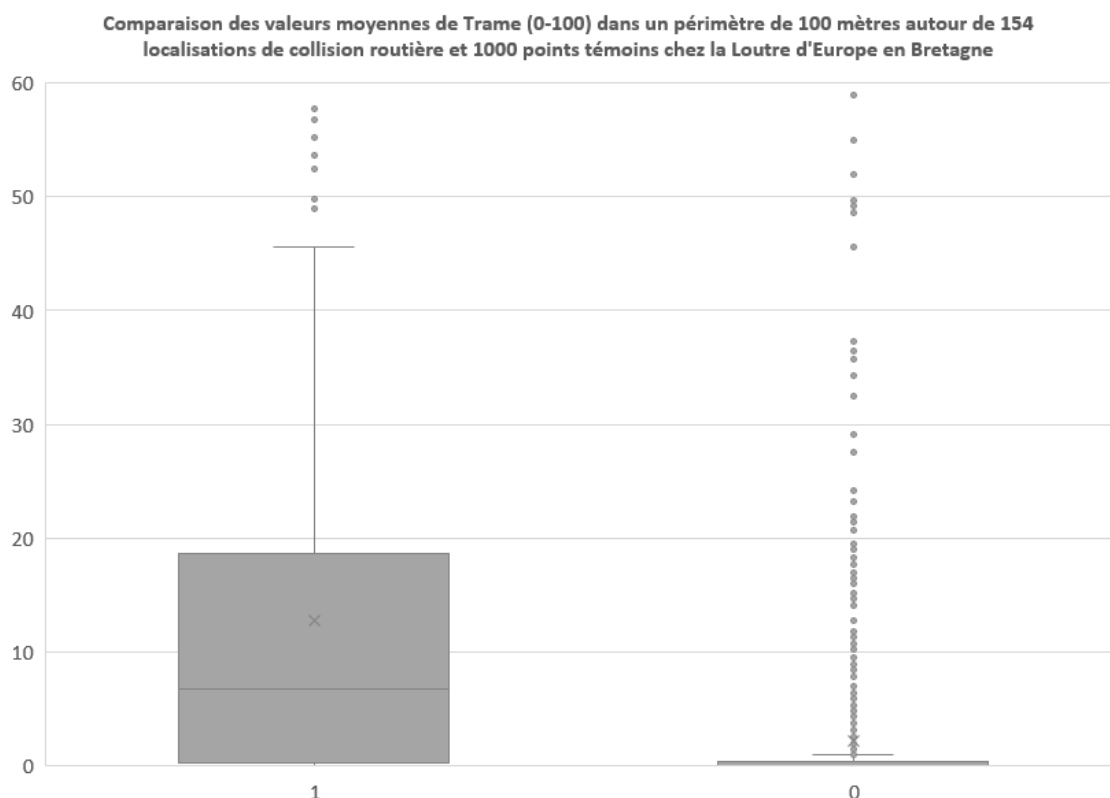
Pour quatre espèces (la Loutre d'Europe, le Blaireau européen, le Lapin de garenne et l'Ecureuil roux) nous disposons d'un nombre conséquent de données de mortalité routière qui avaient été extraites du jeu des données analysées. Nous avons pu confronter la localisation des cas de mortalité avec les éléments de continuité cartographiés.

Les sites de collision routière sont ici considérés comme indicateurs des zones d'intersection / conflit entre des réservoirs ou corridors écologiques et des infrastructures mortifères.

Une comparaison des valeurs de continuité dans un rayon de 100 mètres autour des sites de collision (pour intégrer une marge d'imprécision des localisations de cadavres routiers relevés par les différents observateurs) avec ces mêmes valeurs dans un rayon de 100 mètres autour de 1000 sites témoins tirés aléatoirement a été conduite pour les 4 espèces :

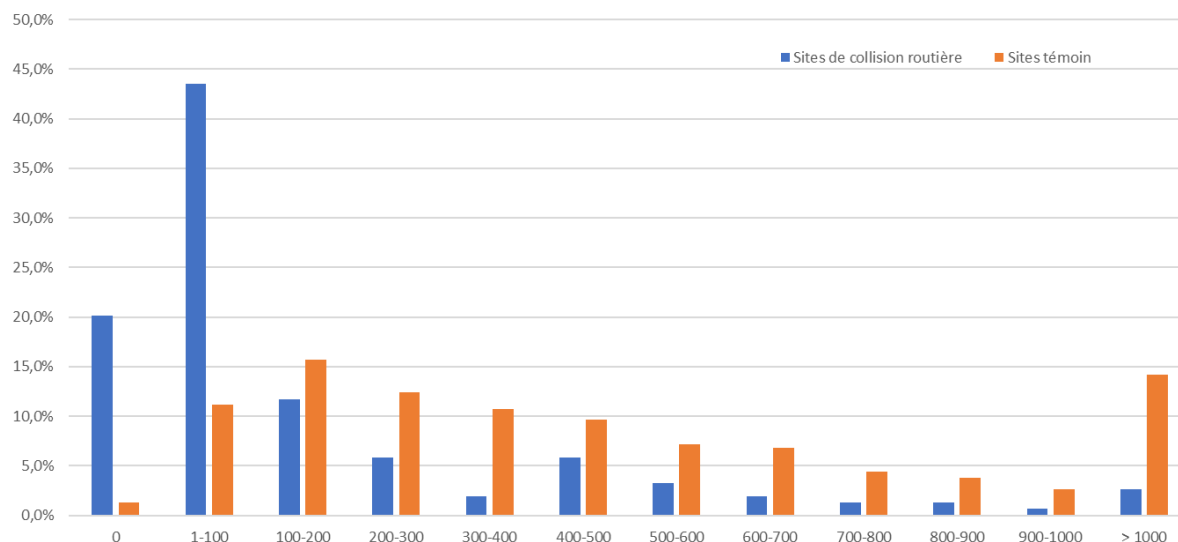
Espèce	Valeur médiane des continuités (Trame espèce) dans un rayon de 100 m autour des :	
	sites de collision	sites témoins (N=1000)
Loutre d'Europe	6,7 (154 sites)	0
Blaireau européen	15,8 (1421 sites)	8,6
Lapin de garenne	9,7 (904 sites)	2,9
Ecureuil roux	14,3 (477 sites)	1,4

Un exemple plus détaillé de la distribution des valeurs de continuité est donné pour la Loutre ci-dessous :

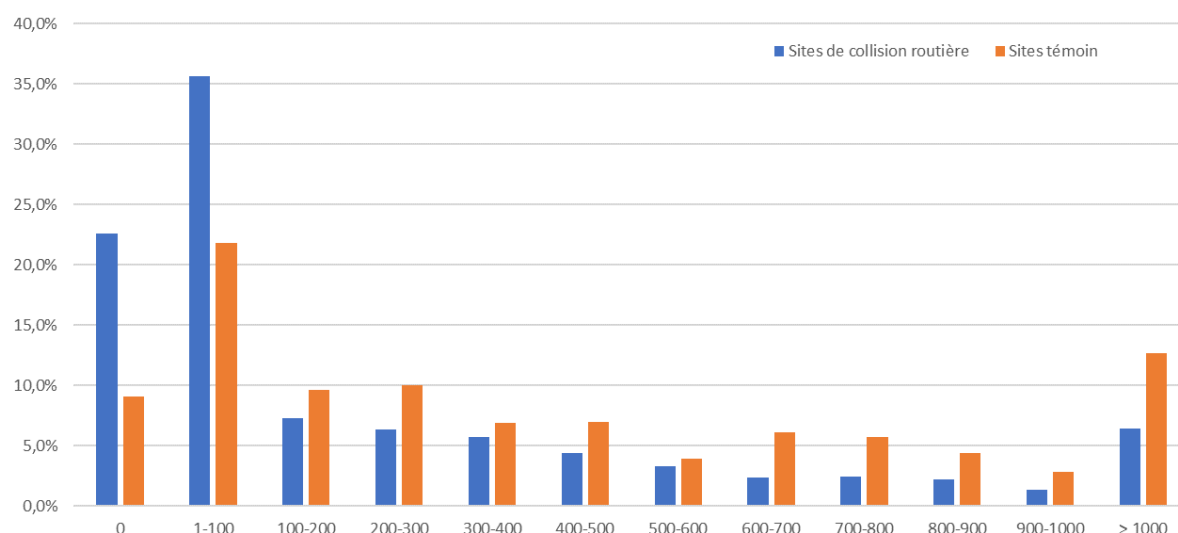


La distribution des sites de collision en termes d'éloignement des zones de cœurs d'habitats a également été examinée (voir exemples ci-dessous pour la Loutre ou le Lapin de garenne).

Distribution des sites de collisions routières et sites témoins selon leur classe d'éloignement des taches d'habitat chez la Loutre d'Europe en Bretagne



Distribution des sites de collisions routières et sites témoins selon leur classe d'éloignement des taches d'habitat chez le Lapin de garenne en Bretagne



Que ce soit en termes d'importance des continuités, ou de proximité des taches d'habitat, ces comparaisons confirment bien, pour les 4 espèces examinées (même si c'est moins net chez le Blaireau), que les sites de collisions routières sont principalement localisés au niveau de routes proches ou traversant les cœurs d'habitats identifiés et au niveau de zones de continuité importante d'après nos cartographies.

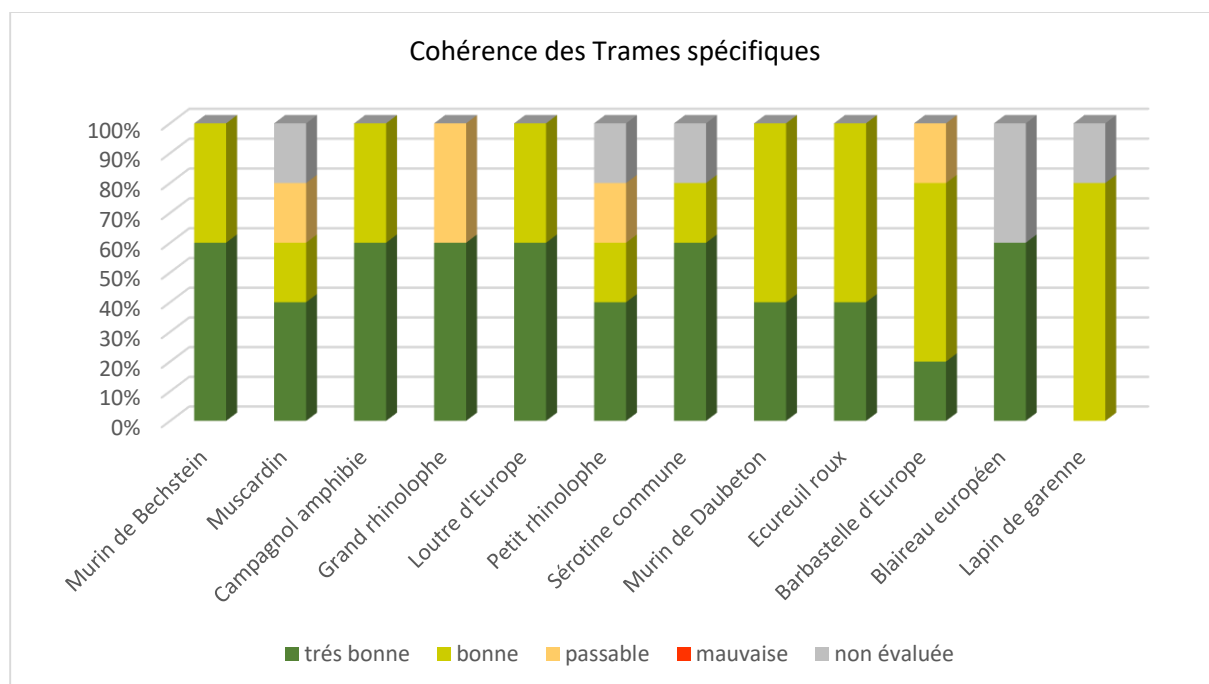
Les zones de déplacement / continuité et de cœurs d'habitats que nous avons identifiées par nos analyses sont donc confortées par cette vérification puisque la mortalité routière s'y concentre bien plus qu'ailleurs dans le territoire.

🌿 Validité par contrôles sur le terrain

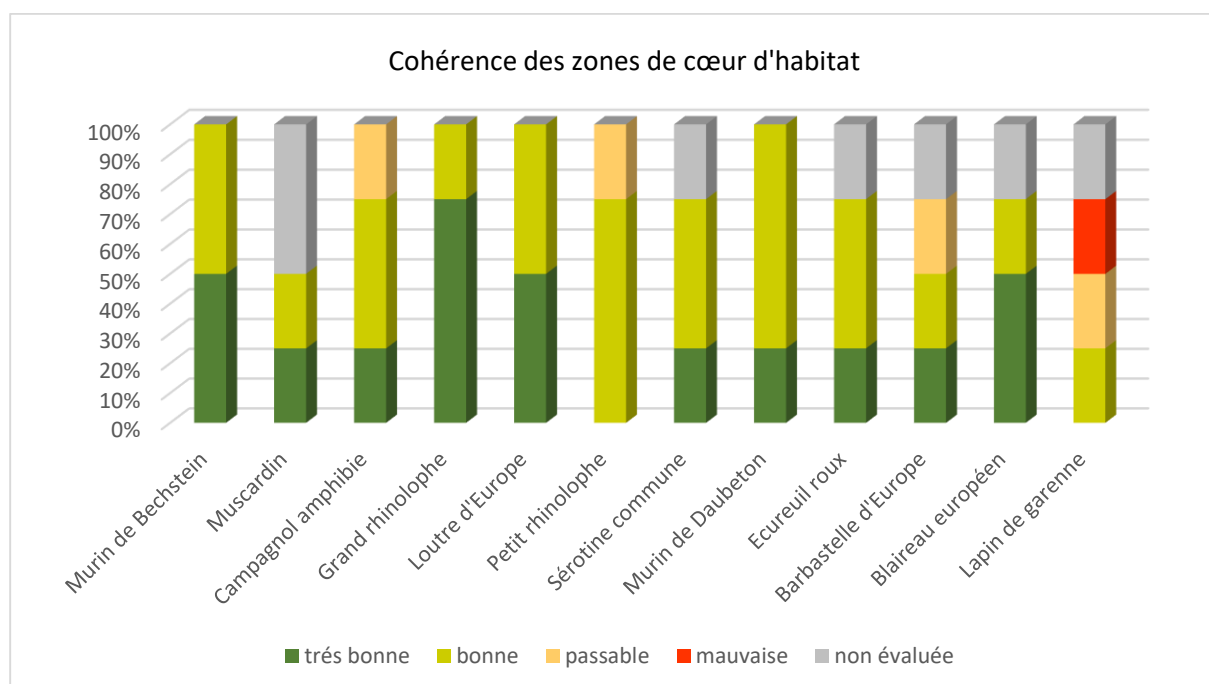
Cinq salariés du GMB ont visité chacun sur le terrain 9 à 10 sites dans des configurations variées (49 sites en tout) afin d'évaluer *in situ* la pertinence des différents éléments cartographiés.

Dans plus de 85 % des sites avec présence d'infrastructure, les trames matérialisaient correctement les zones de franchissement par les différentes espèces, confirmant la conformité de cet aspect déjà révélée par les données de mortalité routière (*voir paragraphe précédent*).

Les valeurs de continuité figurées par les trames spécifiques ont été jugées satisfaisantes (bonnes ou très bonnes) dans 91 % des cas (chaque espèce par site) évalués :

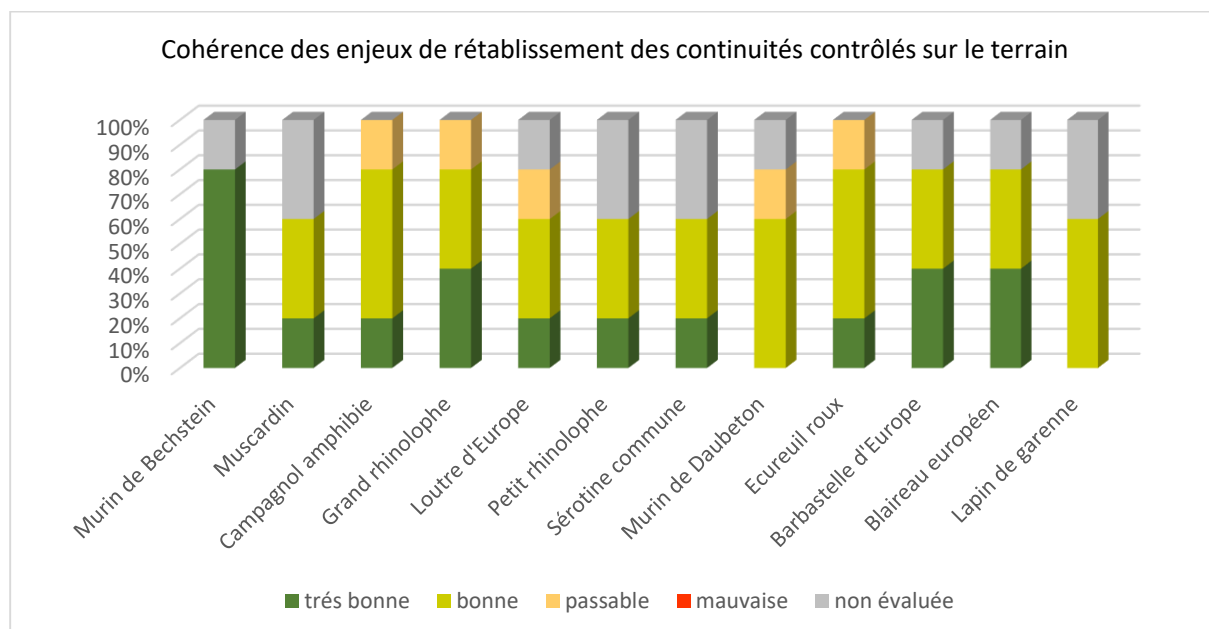
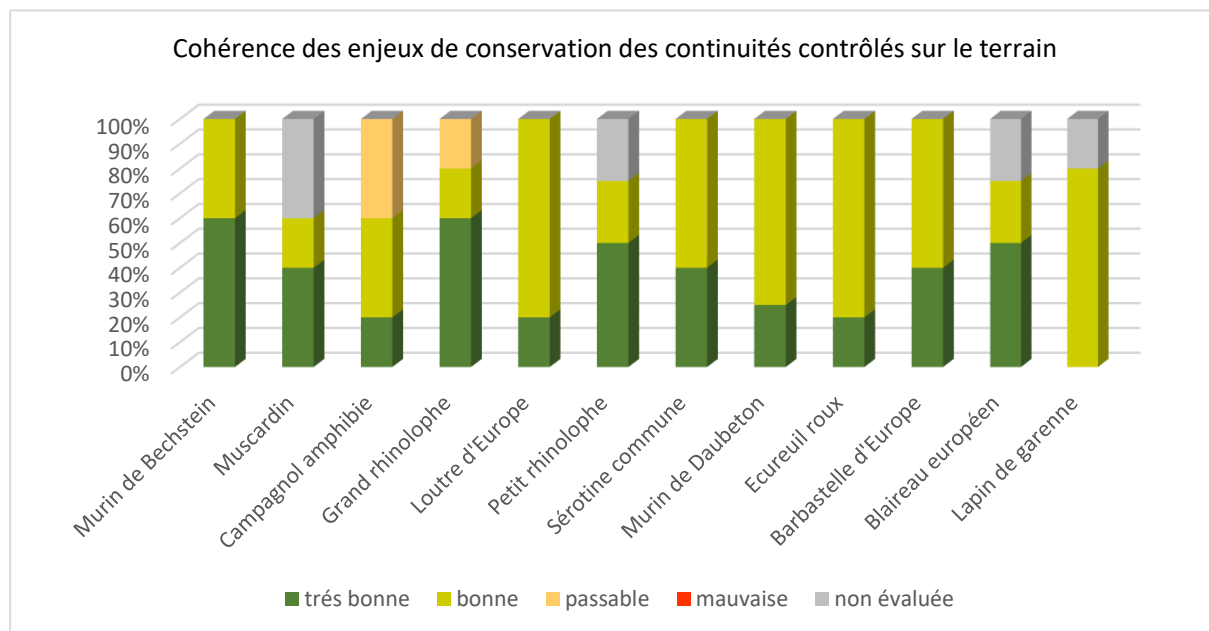


Les cœurs d'habitat cartographiés sont localisés de manière satisfaisante (bonne ou très bonne) dans 88 % des cas évalués :



Signalons ici que l'évaluation de terrain de la qualité des continuités est parfois délicate ou contre-intuitive puisqu'elle doit être appréciée plus largement que par les seules qualité ou perméabilité des milieux que l'on parcourt (proximité de cœurs d'habitat, connexions possibles entre plusieurs zones de vie, facteurs climatiques, géographiques...). Pour deux boisements d'apparence identique par exemple, on pourra avoir des valeurs de continuité fortes à un endroit (dans une vallée, au niveau d'une confluence, avec des prairies naturelles et un massif forestier proches) et des valeurs faibles à quelques kilomètres de là (boisement isolé sur un plateau agricole).

Concernant les enjeux matérialisés par maille de 2 x 2 km, ils ont été évalués sur le terrain comme satisfaisants (bons ou très bons) dans 94 % des cas évalués pour les enjeux de conservation des continuités et dans 89 % des cas évalués pour les enjeux de rétablissement des continuités :



Les deux étapes de validation ont donc conforté nos résultats : **les cartographies de la TMB sont bien représentatives des continuités écologiques des mammifères en Bretagne**, dans leurs limites d'échelle et d'interprétation.

Formalisation des informations

🐾 Mise en forme cartographique des éléments de la TMB

Afin de faciliter l'utilisation des informations de continuité écologique, les cartographies des différents objets (cœurs d'habitat, trames, grille d'enjeux) ont été retravaillées pour en uniformiser les emprises, noms, champs... et en limiter la taille. Pour ce faire nous avons utilisé les logiciels QGIS 2.18 et R 3.5.0.

Plusieurs opérations ont ainsi été réalisées :

- pour les cœurs d'habitat : tamisage (entre 5 et 30 ares suivant les espèces pour éliminer les taches d'habitat trop petites) et vectorisation des rasters,
- pour les trames espèces : réduction (1 à 100) et simplification (nombres entiers) des valeurs de l'analyse corridor et conversion en raster 8 bits (datatype='INT1U'),
- pour la grille des enjeux : jointures spatiales, calcul de champs, synthèse et classification en enjeux faibles (valeur 1), moyens (2), forts (3) et très forts (4),
- pour la définition des enjeux par intercommunalité : jointures spatiales, calcul de champs et synthèse,
- pour les trames d'assemblage : somme des rasters de trames spécifiques,
- pour le zonage de synthèse (*voir ci-dessous*) : somme pondérée des raster et calcul de contraste, seuillage, tamisage, et vectorisation du résultat, simplification et lissage des contours.

🐾 Assemblages par groupe d'espèces ou par territoire

Afin de simplifier l'accès aux données de continuité mammalogique pour certains usagers qui n'auraient pas le loisir de traiter les douze espèces dans leur ensemble, deux solutions sont proposées :

- un tableau des espèces à enjeux par territoire intercommunal

Pour chaque espèce pour laquelle la part des enjeux régionaux de conservation ou de rétablissement des continuités cumulés dans une intercommunalité est supérieure à la proportion de la surface régionale que représente cette dernière, alors l'espèce est considérée à responsabilité dans ce territoire (*voir Fiche 2.1 : Enjeux et responsabilités de conservation et de rétablissement des continuités dans les intercommunalités*). De cette manière, dans une intercommunalité déterminée, il peut être décidé de ne traiter que les espèces à enjeux plutôt que l'ensemble des 12 mammifères de la TMB.

- des trames de groupes d'espèces cohérents

Des trames regroupant des espèces aux écologies et exigences voisines ont été construites pour faciliter, là aussi, la manipulation de l'outil TMB. Les actions et préconisations en faveur des continuités des espèces ainsi regroupées sont également cohérentes (par exemple aménagements de gîtes pour les chauves-souris, renaturation des cours d'eau pour les mammifères semi-aquatiques, replantation de bocage pour les mammifères bocagers...). De cette manière les valeurs de continuités peuvent être traitées à partir de 3 assemblages plutôt que les 12 trames spécifiques :

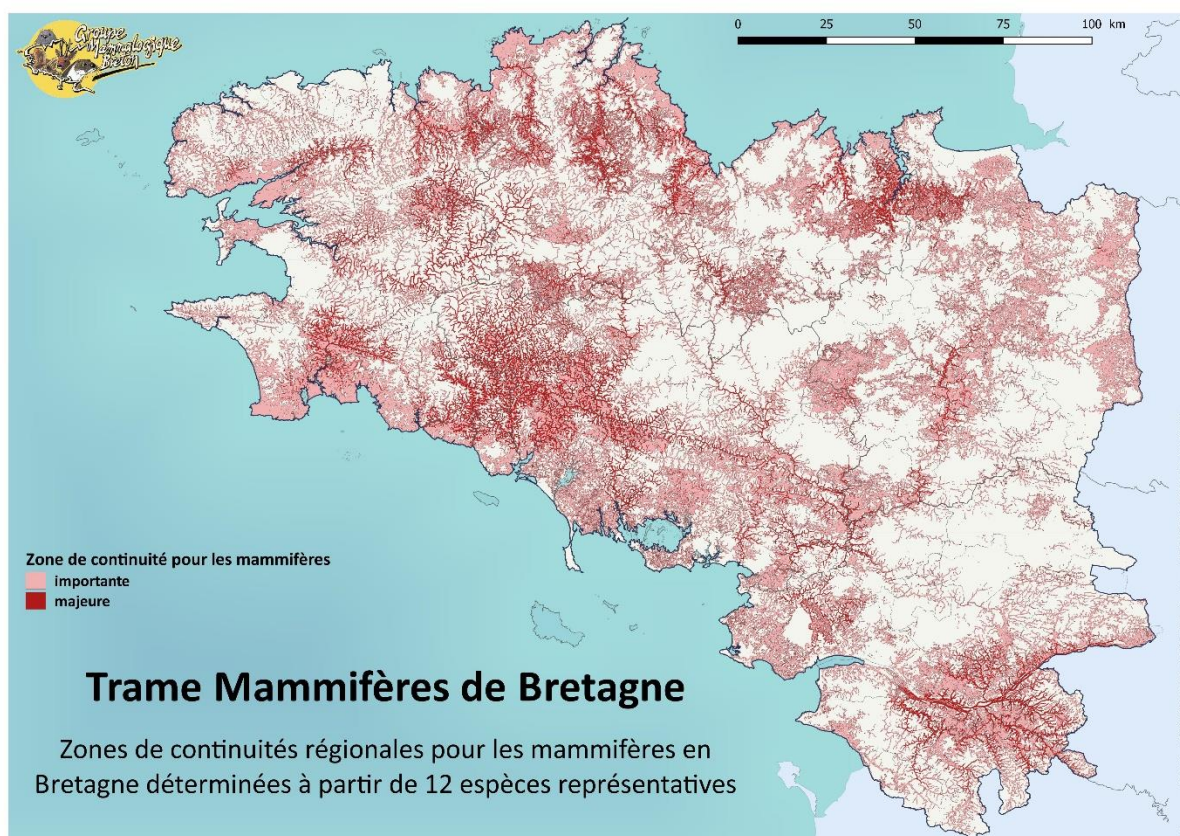
- la **trame des mammifères du bocage** synthétise ainsi les continuités du **Muscardin**, du **Blaireau européen**, de l'**Ecureuil roux** et du **Lapin de garenne**,
- la **trame des mammifères semi-aquatiques** synthétise les continuités de la **Loutre d'Europe** et du **Campagnol amphibie**,
- la **trame des chauves-souris** synthétise les continuités des **Grand et Petit rhinolophes**, des **Murins de Bechstein et de Daubenton**, de la **Barbastelle d'Europe** et de la **Sérotine commune**.

🐾 Zones de continuités régionales essentielles aux mammifères

Les usagers de l'outil TMB pourront choisir d'interpréter eux-mêmes les valeurs de continuité des trames spécifiques ou d'assemblage (distribuées de 1 à 100) au regard des objectifs de leur utilisation, de la sensibilité des territoires, de choix politiques... et de nombreuses autres considérations.

Ils pourront aussi vouloir s'appuyer sur une interprétation du GMB, structure « experte » des mammifères en Bretagne qui a construit cet outil, pour savoir où sont les zones des continuités essentielles aux mammifères. Afin de satisfaire ce besoin, nous avons construit un zonage synthétique de l'ensemble des 12 espèces traitées figurant ces continuités essentielles en deux classes : les continuités régionales importantes et les continuités régionales majeures.

Pour construire cet objet, nous avons assemblé et pondéré (poids plus fort pour les espèces les plus fragiles et sensibles à la fragmentation – voir *Fiche 1.1 : Sensibilité des Mammifères à la fragmentation*) les trames des 12 espèces. Afin d'identifier les zones de plus fortes continuités localement (continuités très fortes dans des secteurs de fortes continuités ou continuités moyennes dans des secteurs de continuités faibles par exemple) nous avons déterminé des valeurs de contraste dans un rayon de 500 m autour de chaque pixel de 10 x 10 m du raster obtenu, et reclassifié ces valeurs selon deux seuils que nous avons déterminés par examen des cartes dans des zones de bonne connaissance naturaliste du terrain. Après tamisage, vectorisation et lissage des contours, nous avons donc obtenu la donnée vectorielle des **zones de continuités régionales essentielles aux mammifères**.



Cette carte constitue une synthèse régionale qui ne préjuge pas des continuités qui peuvent avoir une importance dans le fonctionnement de réseaux écologiques à une échelle très locale (un examen plus fin des trames spécifiques, complété de prospections de terrain, seront utiles à cette échelle). Par contre, **tout projet, action, aménagement, infrastructure... susceptible d'avoir un effet de fragmentation des habitats des mammifères et situé au sein des zones de continuités importantes (ou à plus forte raison encore dans des zones de continuités majeures) devrait être sérieusement questionné du point de vue de ses impacts et adapté ou abandonné afin de ne pas détruire ces espèces menacées ou compromettre la pérennité de leurs populations.**

En complément de la présente notice, plusieurs fiches techniques "TMB" sont proposées. Elles apportent soit une information plus complète et détaillée dans le cas des fiches espèces, soit un résumé synthétique d'un élément de l'outil ou d'un aspect de nos résultats. Elles sont accessibles, depuis le portail [GéoBretagne](#) et depuis le [site Internet du GMB](#) et énumérées ci-dessous.

[Fiche 1.1 : Sensibilité des Mammifères à la fragmentation](#)

Cette fiche composée d'un tableau et d'un graphique propose un résumé de nos résultats d'analyse et de synthèse bibliographique permettant de rapidement se figurer la sensibilité et les capacités de résilience à la fragmentation des différentes espèces traitées (voir *Modélisation des réseaux écologiques*).

[Fiche 2.1 : Enjeux et responsabilités de conservation et de rétablissement des continuités dans les intercommunalités](#)

Cette fiche est un tableau qui évalue, par intercommunalité de la Bretagne et la Loire-Atlantique continentales, si les différentes espèces présentent des enjeux importants de conservation / renforcement ou de rétablissement des continuités sur le territoire (voir *Formalisation des informations*).

Fiches 3.X : Fiches espèces

Ces 12 fiches présentent, en 4 pages, l'espèce, son statut, son écologie, ses distributions et continuités régionales selon nos résultats et les actions favorables au maintien et au rétablissement de populations continues dans la région :

- | | |
|---|--|
| 3.1 - Le Murin de Bechstein | 3.7 - Le Murin de Daubenton |
| 3.2 - Le Campagnol amphibie | 3.8 - L'Ecureuil roux |
| 3.3 - Le Muscardin | 3.9 - Le Lapin de garenne |
| 3.4 - Le Grand rhinolophe | 3.10 - Le Blaireau européen |
| 3.5 - La Loutre d'Europe | 3.11 - La Barbastelle d'Europe |
| 3.6 - Le Petit rhinolophe | 3.12 - La Sérotine commune |

[Fiche 4.1 : Mesures de conservation et de rétablissement des continuités pour les mammifères : exemples et illustrations](#)

Cette fiche présente des illustrations de quelques exemples d'actions de conservation ou de rétablissement des habitats et continuités des mammifères qui sont proposées dans les fiches espèces.

BIBLIOGRAPHIE

CLAUZEL C., FOLTETE J.C., GIRARDET X., VUIDEL G., 2017. Graphab 2.2 - Manuel d'utilisation. Université Bourgogne Franche-Comté, Besançon. 41 p.

DUFLOT R., AVON C., ROCHE P. & BERGES L., 2018. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning : An applied methodological framework and a species case study. *Journal for Nature Conservation*, **46** : 38–47.

FOLTETE J.C., CLAUZEL C., VUIDEL G., 2012. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software*, **38** : 316-327.

HUTCHINSON G.E., 1957. Concluding remarks, Cold Spring Harbor Symposium. *Quantitative Biology*, **22** : 415–427.

KEELEY A., BEIER P. & GAGNON J., 2016. Estimating landscape resistance from habitat suitability: effects of data source and nonlinearities. *Landscape Ecology*, **31** : 2151–2162.

LE ROUX M., 2016. La modélisation de la distribution spatiale des espèces. Marie Le Roux Environnement, Faverges, 86 p.

LE ROUX M., 2016. Initiation aux techniques de modélisation de la distribution potentielle des espèces - livret technique V1. Marie Le Roux Environnement, Faverges, 63 p.

SIMONNET F. (Coord.), 2015. Atlas des Mammifères de Bretagne. Locus Solus, 304 p.

THUILLER, W., GEORGES, D., ENGLER, R., 2015. Package “biomod2.”