



**HAL**  
open science

## Détermination du potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe (Lutra lutra) par secteur géographique en France métropolitaine

Audrey Savouré-Soubelet, Isabelle Witté, Laura Flamme, Guillaume Grech, Patrick  
Haffner

### ► To cite this version:

Audrey Savouré-Soubelet, Isabelle Witté, Laura Flamme, Guillaume Grech, Patrick Haffner. Détermination du potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe (Lutra lutra) par secteur géographique en France métropolitaine. Revue d'Écologie (La Terre et La Vie), 2015, 70 (4), pp.293-313. <hal-03530507>

**HAL Id: hal-03530507**

**<https://hal.science/hal-03530507v1>**

Submitted on 17 Jan 2022

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

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



HAL Authorization

## DÉTERMINATION DU POTENTIEL D'ACCUEIL DE LA LOUTRE D'EUROPE (*LUTRA LUTRA*) PAR SECTEUR GÉOGRAPHIQUE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

Audrey SAVOURÉ-SOUBELET<sup>1\*</sup>, Isabelle WITTÉ<sup>2</sup>, Laura FLAMME<sup>2</sup>, Guillaume GRECH<sup>2</sup>  
& Patrick HAFFNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Auteur référent. Service du Patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire naturelle, 4 avenue du Petit Château. F-91800 Brunoy. E-mail: savoure@mnhn.fr

<sup>2</sup> Service du Patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire naturelle, 36 rue Geoffroy Saint Hilaire. F-75005 Paris. E-mails: iwitte@mnhn.fr ; lflamme@mnhn.fr ; grech@mnhn.fr ; haffner@mnhn.fr

**SUMMARY.**— *Determination of potential habitat suitability for the European Otter (Lutra lutra) in geographical sectors of metropolitan France.*— After a long period of decline, the European Otter is now in the process of recolonizing the French territory. In order to facilitate its expansion, one of the objectives of the National Action Plan is to define and locate the habitat suitability for this mustelid in France. For each river sub-sector we gathered all available information about the factors (availability and quality of aquatic habitat, availability of food resources, human disturbances and general characteristics of the ecosystem) essential to the presence of the otter in order to create a Maxent model. According to this model, 30 % of the sub-sectors in metropolitan France are unlikely to offer favourable habitats for the Otter, 68 % should contain favourable habitats and 2 % could be considered as very favourable for the settling of European otters.

**RÉSUMÉ.**— Après une longue période de régression (de 1930 à 1990), la Loutre d'Europe est aujourd'hui en phase de recolonisation en France. Afin de favoriser sa reconquête, un des objectifs du plan national d'action en faveur de ce mustélid est de déterminer et localiser les habitats potentiellement favorables à cette espèce. Pour cela, pour chaque sous-secteur hydrographique, nous avons renseigné des facteurs indispensables à la présence de la Loutre : disponibilité et qualité du milieu aquatique et des zones humides, disponibilité de la ressource alimentaire, dérangement humain et caractéristiques générales de l'écosystème (type d'occupation du sol, relief) afin de pouvoir créer un modèle Maxent. D'après ce modèle, 30 % des sous-secteurs de France métropolitaine sont peu favorables à la Loutre, 68 % sont assez favorables à l'implantation de cette espèce et 2 % peuvent être considérés comme très favorables à l'installation de la Loutre d'Europe.

---

## ÉVOLUTION DES EFFECTIFS DE LA LOUTRE D'EUROPE EN FRANCE

Présente autrefois sur l'ensemble de la France métropolitaine (hormis la Corse), la Loutre d'Europe a décliné à partir des années 1930 dans le nord et dans l'est de la France (Kempf, 1980 ; Bouchardy, 1984, 1986 ; Saint Girons, 1989 ; Mathias, 1933, etc.). À la fin des années 80, elle ne subsiste presque exclusivement que le long de la façade atlantique et dans le Massif central (Kuhn, 2009). Cette régression est traditionnellement imputée au piégeage et à une chasse intensive de l'espèce avec, d'après Saint Girons (1994), entre 3000 et 4000 loutres tuées tous les ans de 1880 à 1930. Cependant, la menace principale resterait la modification de l'habitat avec notamment la canalisation des cours d'eau, l'assèchement des marais, la construction de barrages mais aussi l'industrialisation, l'agriculture intensive, le développement du réseau routier et la croissance démographique humaine. À cela s'ajoutent la pollution de l'eau et les dérangements de différentes natures (Bouchardy, 1986 ; Saint Girons, 1994).

Depuis 1984, l'espèce amorce une recolonisation de son territoire (Fig. 1) (Bouchardy *et al.*, 2001). Celle-ci est rendue possible par l'interdiction de la chasse à la Loutre en 1972, la protection de l'espèce à partir du 17 avril 1981 et une amélioration de la qualité des cours d'eau à la suite de

progrès en matière d'assainissement et de l'interdiction de certaines substances toxiques (Lemarchand *et al.*, 2011).

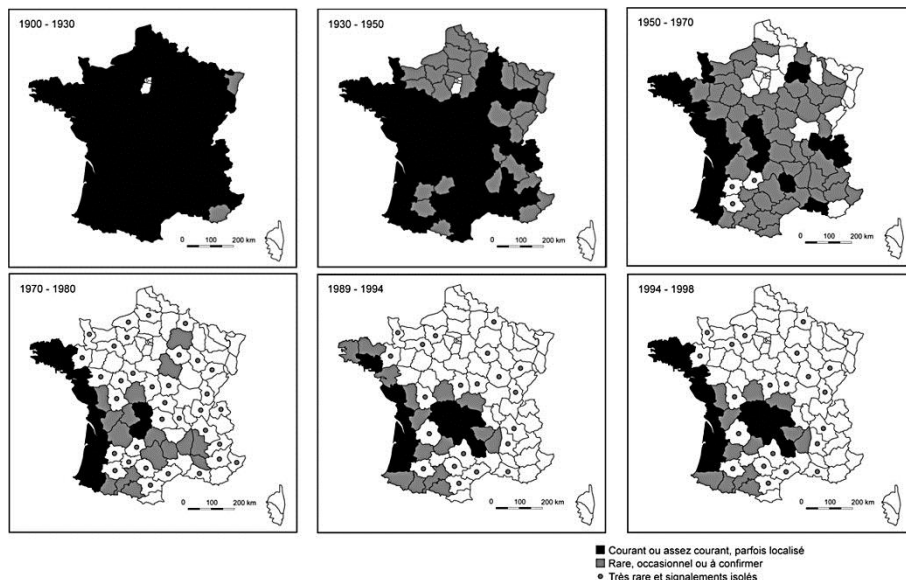


Figure 1.— Évolution de la répartition de la Loutre en France entre 1900 et 1998. Source : SFEPM & SPN-IEGB-MNHN.

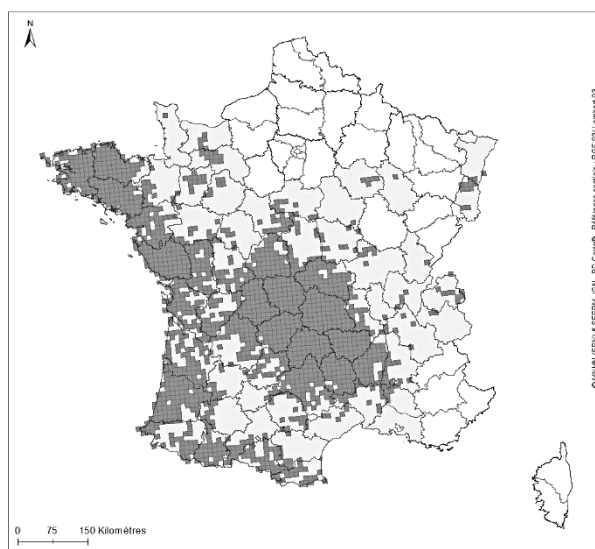


Figure 2.— Carte de répartition de la Loutre d'Europe en 2013.  
Source MNHN-SPN & SFEPM (disponible sur l'INPN : <http://inpn.mnhn.fr/>).

Ainsi, la Loutre se retrouve aujourd'hui le long de la façade atlantique (Bretagne, Pays-de-la-Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine), dans le Massif central (Auvergne, Limousin) mais aussi en Midi-Pyrénées, en Languedoc-Roussillon, en région Centre, en Rhône-Alpes (principalement en

Ardèche où de petites populations se sont installées, ainsi que dans l'Ain et en Haute-Savoie). Un isolat est également présent en Champagne-Ardenne. Quelques individus ont été réintroduits en Alsace, mais l'espèce peine à s'y maintenir et aurait peut-être déjà disparu. Enfin, la Loutre commence à recoloniser la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Bourgogne, et la Basse Normandie (Fig. 2).

## MISE EN PLACE D'UN PLAN NATIONAL D'ACTION POUR FAVORISER LA RECOLONISATION

Afin d'améliorer la cohabitation entre cette espèce et les activités humaines, de favoriser la protection des populations de loutres existantes, mais également de permettre une meilleure communication entre les différents acteurs intervenant pour la protection de la Loutre, un plan national d'action (PNA) en faveur de ce mustélide a été mis en place pour la période 2010-2015 (Kuhn, 2009). Une grande partie de ce plan consiste à comprendre et à optimiser le processus de recolonisation des anciens territoires occupés par la Loutre (actions 2, 6, 14, 16 et 17 du PNA).

Notre étude répond à l'action 6 du PNA Loutre intitulée « Déterminer le potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe par secteur géographique ». Cette action a pour objectif d'obtenir une représentation cartographique différenciant les zones potentiellement favorables à la Loutre de celles qui le sont moins. De nombreuses études se sont déjà penchées sur ce sujet. Reuther & Krekemeyer (2004) se sont intéressés à l'ensemble de l'Europe (hors Scandinavie et Îles britanniques), Weber (1990) s'est concentré sur la Suisse et Nederlandt *et al.* (2011) sur la Wallonie, tandis que Cavillon (2011), Lérat *et al.* (2012), Van Looy *et al.* (2012) et Kreyer (2013), se sont focalisés sur une échelle régionale. Néanmoins, aucune étude n'a été réalisée à l'échelle nationale. Or ce niveau permet d'avoir des informations plus précises qu'une étude à l'échelle européenne (aire de distribution, qualité de l'eau...) tout en gardant une vision globale du territoire.

## LA LOUTRE, UN MUSTÉLIDÉ SEMI-AQUATIQUE

La Loutre d'Europe est un mammifère semi-aquatique qui utilise de manière complémentaire les habitats aquatiques et terrestres. Elle peut se trouver dans tous les types d'habitats aquatiques : zones marécageuses, étangs, polders et estuaires, petits torrents, fleuves, bassins piscicoles, lacs (Mason & MacDonald, 1986 ; Rosoux, 2002 ; Chanin, 2003). Des observations de l'espèce peuvent aussi avoir lieu à plusieurs kilomètres de tout cours d'eau (Rosoux & Green, 2004). Malgré cette plasticité, certaines caractéristiques définissant son habitat semblent incontournables.

Celui-ci doit lui offrir une disponibilité de nourriture en quantité suffisante et cela toute l'année. Elle se nourrit d'un très large éventail de poissons et, bien que les poissons de petite taille dominant en nombre, les travaux extensifs de Libois sur ce mustélide (notamment Libois, 1995 ; Libois & Rosoux, 1989, 1991 ; Libois *et al.*, 1991) montrent qu'elle n'est pas sélective sur la taille et le poids de ses proies. Son besoin quotidien est généralement estimé à 1-1,5 kg de poisson par individu (Wayre, 1979 ; Rosoux & Green, 2004 ; Kruuk, 2006). Aussi, considérant entre autres son besoin alimentaire journalier, Libois *et al.* (1982) démontrent que la Loutre ne peut s'installer que dans des cours d'eau dont la biomasse annuelle de poisson est supérieure à 200 kg par kilomètre de rivière.

Un autre facteur incontournable à la présence de la Loutre est la disponibilité d'abris dans son territoire (MacDonald & Mason 1982, 1983 ; Rosoux & Libois, 1996). En effet, ce mustélide possède deux types de gîtes : les gîtes de repos et les gîtes de mise bas. Les gîtes de repos peuvent être des terriers, se trouvant généralement dans la berge des cours d'eau, ou des couches à l'air

libre présentes essentiellement dans des zones boisées ou bocagères difficilement pénétrables (Rosoux, 1998 ; Kuhn & Jacques, 2011). Comme le note Kruuk *et al.* (1998), les loutres, suivant la fréquentation humaine, ne rechignent pas à utiliser des éléments artificiels tels que des constructions en béton ou des tuyaux. Les gîtes de mise bas, appelés catiches, sont situés à proximité de l'eau, bénéficient de berge ou de piste d'accès en pente douce et se situent dans un environnement végétal dense ou dans des berges difficilement accessibles par voie terrestre afin de bénéficier d'une zone de quiétude optimale (Rosoux & Green, 2004). Enfin, la Loutre privilégie les zones avec un dérangement humain minimum. La pollution chimique peut aussi avoir un impact négatif (Lafontaine & Alencastro, 1999).

Pour répondre à notre objectif, et développer une cartographie des zones potentiellement favorables à la Loutre, nous avons créé un modèle d'habitat basé sur notre connaissance de la distribution nationale connue de la Loutre en relation avec des facteurs environnementaux (qualité de l'eau, disponibilité de la ressource alimentaire, occupation du sol).

## MÉTHODE

Les habitats potentiels de la Loutre d'Europe sont définis via un processus de modélisation de niche en utilisant le logiciel Maxent. Les caractéristiques environnementales les plus importantes pour la présence de la Loutre dans un habitat sont déclinées sous forme de variables et d'indicateurs pour être intégrées au modèle.

Chacune de ces caractéristiques environnementales peut être représentée par divers indicateurs et variables, plus ou moins pertinents (par exemple, la qualité de l'eau peut être décrite par sa turbidité, la concentration d'un polluant particulier ou un indice intégrateur type ICBG), mais les contraintes d'obtention de ces valeurs à l'échelle nationale, les corrélations importantes entre variables, ou des biais induits par leur transformation ont parfois guidé nos choix vers des mesures moins puissantes mais plus généralisées à l'échelle du territoire. Par ailleurs, certaines autres caractéristiques environnementales importantes pour la Loutre ont été considérées (voir liste en annexe I) mais ont dû être écartées par manque de données disponibles ou parce qu'elles ne se montraient pas discriminantes dans les modèles préparatoires.

### PRINCIPE DE MAXENT

Maxent (Phillips *et al.*, 2006) est un logiciel permettant de créer un modèle à entropie maximale de la distribution spatiale d'une espèce en se basant sur les conditions environnementales des sites dans lesquels la présence de l'espèce est avérée. Il permet de créer un modèle de potentiel d'accueil en se basant uniquement sur des données de présence avérées et ne nécessite pas de données d'absence, ce qui permet de créer un modèle en évitant les erreurs liées aux « fausses absences » (MacKenzie *et al.*, 2005 ; Cavillon, 2011 ; Elith *et al.*, 2011). En effet, les « absences » dans les inventaires résultent le plus souvent d'un défaut de prospection ou de détection (inaccessibilité de la zone, présence sans marquage, etc.), les données d'absences avérées quant à elles, requièrent une prospection ciblée et systématique et sont donc plus rares.

À l'issue du processus de modélisation, chaque site se voit attribuer un score représentant la probabilité que les conditions favorables à l'espèce soient réunies ; c'est-à-dire que les conditions environnementales correspondent à celles rencontrées dans les sites où la présence de l'espèce est avérée (Phillips *et al.*, 2006). Dans le cadre de ce travail cette probabilité que les conditions favorables soient réunies dans le site est appelée « potentiel d'accueil » et est assimilée à la probabilité que la Loutre, si toutefois elle arrivait dans le sous-secteur hydrographique, trouve un habitat favorable à son implantation.

### AIRE D'ÉTUDE ET DÉFINITION DU RÉFÉRENTIEL UTILISÉ

Le travail de modélisation décrit ici concerne le territoire français métropolitain hors Corse. L'ensemble des variables ainsi que les résultats du modèle sont restitués à l'échelle des 1110 sous-secteurs hydrographiques métropolitains issus de la base de données sur la cartographie thématique des agences de l'eau et du ministère chargé de l'Environnement (CarTHAgE version 3.0).

Les sous-secteurs hydrographiques correspondent au 3<sup>e</sup> ordre de découpage du territoire français par les Agences de l'eau, ils peuvent contenir jusqu'à 10 zones hydrographiques qui sont elles-mêmes définies selon les limites des bassins versants topographiques (site internet du Sandre). Ce découpage a été choisi pour son lien avec la topographie des bassins-versants des cours d'eau qui peut avoir un sens du point de vue de l'écologie de la Loutre, contrairement aux limites administratives comme les communes ou les départements ou les découpages systématiques comme les maillages 10x10km.

## DONNÉES DE DISTRIBUTION DE LA LOUTRE

Les données de présence des loutres sont issues des données récoltées dans le cadre de l'évaluation 2013 de l'état de conservation des habitats (article 17 de la Directive Habitat Faune Flore).

Les données alsaciennes de ce jeu de données sont écartées car la présence de la Loutre dans cette région n'est pas naturelle mais liée à une réintroduction et la viabilité de cette population semble fortement compromise vu son faible effectif (Mercier, 2004). Ces données risquent donc de fausser la représentation de l'habitat actuel des loutres pour le modèle.

Les données originales de présence de la Loutre sont restituées selon le maillage 10 x 10 km européen (ETRS89 - LAEA). Chaque donnée issue d'une maille 10 x 10 km européenne est donc réattribuée au sous-secteur hydrographique recouvrant la plus grande proportion de cette maille.

## VARIABLES DU MODÈLE

Les caractéristiques environnementales intégrées au modèle sont classées en 4 grandes catégories détaillées dans les paragraphes suivants avec leurs variables indicatrices : i) Disponibilité et qualité du milieu aquatiques et des zones humides ; ii) Disponibilité des ressources alimentaires ; iii) Dérangement humain ; iv) Caractéristiques du paysage.

### *DISPONIBILITÉ ET QUALITÉ DES HABITATS AQUATIQUES ET DES ZONES HUMIDES*

#### *Densité en cours d'eau*

Le réseau de cours d'eau issu de la couche « Cours d'eau » de la base de données CarTHAgE (version 3.0) est découpé selon les sous-secteurs hydrographiques et la densité en cours d'eau est représentée par le ratio de la longueur de cours d'eau pour le sous-secteur sur la surface du sous-secteur (en m/km<sup>2</sup>).

#### *Qualité chimique et écologique des cours d'eau*

Les valeurs de qualité chimique et écologique sont issues du rapportage DCE 2012 (Directive Cadre sur l'Eau) de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques). L'indice de qualité chimique varie entre 2 pour une bonne qualité chimique de l'eau et 3 pour une mauvaise qualité. L'indice de qualité écologique varie entre 1 (bonne qualité) et 5 (mauvaise qualité). Pour ce travail de modélisation les deux indices ont été combinés en un indice global permettant d'avoir une vision d'ensemble de la qualité de l'eau. Pour calculer cet indice global, seuls ont été retenus les points d'échantillonnage de l'ONEMA comportant les deux mesures de qualité. Les deux valeurs de qualité sont ensuite additionnées pour chaque point d'échantillonnage (pi) pour obtenir la valeur de qualité globale du point (Qualité<sub>pi</sub>). La médiane des valeurs de qualité de tous les points présents dans un sous-secteur est finalement attribuée au sous-secteur. Les valeurs élevées de cet indice de qualité de l'eau caractérisent des cours d'eau de mauvaise qualité chimique et écologique.

#### *Autres variables envisagées*

Les surfaces cumulées des plans d'eau par sous-secteur CarTHAgE (version 3.0) ont été testées dans le modèle, mais ne sont pas apparues comme significatives. De la même manière, la sinuosité des cours d'eau (ratio de la distance entre les extrémités d'un tronçon divisée par la longueur réelle du cours d'eau (Malavoi & Bravard, 2010)) calculée à partir de la base de données CarTHAgE (version 3.0) n'a pas été retenue comme suffisamment explicative de la présence de la Loutre.

### *DISPONIBILITÉ DES RESSOURCES ALIMENTAIRES*

Les données concernant les ressources alimentaires disponibles proviennent des données récoltées par l'ONEMA pour le calcul de l'indice poisson-rivière (IPR). Ces données consistent en un ensemble de biomasses de poissons ou d'écrevisses estimées pour 100 m<sup>2</sup> à partir d'échantillonnages par pêche électrique. Chaque valeur de biomasse pour 100 m<sup>2</sup> est attachée à une géolocalisation précise en coordonnées Lambert II. Les valeurs de biomasse trop élevées et semblant aberrantes ont été supprimées de l'analyse si elles étaient supérieures à 100 fois l'écart interquartile du jeu de données. Ces mesures étant parfois répétées entre octobre 2000 et novembre 2010, mais à des périodes et des fréquences différentes selon les sites, nous avons choisi d'extraire la médiane des valeurs de chaque point d'échantillonnage. Chaque point d'échantillonnage de la biomasse de proies est ensuite attribué au sous-secteur hydrographique dans lequel il se trouve. La médiane de l'ensemble des valeurs de biomasse de chaque sous-secteur est attribuée au sous-secteur pour représenter sa ressource alimentaire (en g/are). Les sous-secteurs dans lesquels aucun point d'échantillonnage IPR n'a été réalisé se voient attribuer la valeur minimum de biomasse du secteur hydrographique supérieur auquel ils appartiennent. Si aucune valeur de biomasse n'est attribuée au niveau du secteur, on attribue une valeur de biomasse de poissons ou d'écrevisses nulle (cas de 17 sous-secteurs hydrographiques sur 1110). Cette méthode d'attribution de valeurs par défaut permet de lisser les défauts de projections en limitant toutefois les *a priori* sur la distribution réelle des valeurs.

Les variables « poisson » et « écrevisse » ont été testées dans les modèles en conjonction (addition des deux valeurs) et séparément. Seule la variable « écrevisse » a été reconnue comme suffisamment discriminante pour influencer le modèle. Ainsi, bien que les écrevisses ne constituent pas le cœur du régime alimentaire des loutres, cette variable a été retenue pour représenter notre connaissance de la distribution des ressources alimentaires pour la Loutre dans le modèle.

## DÉRANGEMENT HUMAIN

### *Réseau routier*

Les différents réseaux routiers (autoroutes, routes nationales, départementales et autres) issus de la BD TOPO® de l'IGN sont découpés selon les sous-secteurs hydrographiques et la densité de chacun de ces réseaux dans les sous-secteurs est mesurée en relation avec la surface du secteur en m/km<sup>2</sup>. La densité de population humaine dans chaque sous-secteur a également été envisagée (données de l'INSEE, 2009) mais n'a pas été retenue au cours des tests du modèle.

## CARACTÉRISTIQUES DU PAYSAGE

### *Données issues de Corine Land Cover*

Différentes données d'occupation du territoire sont extraites de la base Corine Land Cover (2006) sous la forme du pourcentage de la surface des sous-secteurs alloués aux différentes occupations du territoire. Les occupations du territoire définies dans Corine Land Cover et qui sont utilisées dans l'étude sont regroupées en 8 grandes catégories : agricole extensif (parcellaires complexes, pâtures, vergers, etc.), agricole intensif (plantations, terres arables irriguées, vignoble, etc.), eaux douces (cours d'eau, plans d'eau, marais, etc.), eaux saumâtres (estuaires, lagunes littorales, zones intertidales, etc.), landes et pelouses (landes, pâturages naturels, etc.), milieux fermés (forêts), milieux minéraux (plages, roches nues, glaciers, etc.) et zones urbaines (villes, zones industrielles, portuaires, espaces verts urbains, etc.).

Seuls les pourcentages de surfaces occupés par des activités agricoles extensives ou intensives ont été retenus dans le modèle final.

### *Relief*

Trois tranches d'altitude ont été définies à partir de la BD Alti 1000 de l'IGN (au pas de 1000 mètres) pour représenter le relief de France métropolitaine : les plaines, de 0 jusqu'à 200 m ; les piémonts et collines, 200 à 600 m d'altitude ; et les zones de montagne, de plus de 600 m d'altitude. La surface des sous-secteurs pour chacune de ces tranches d'altitude a été mesurée et ramenée à un pourcentage pour représenter leur relief.

### *Descripteurs de l'état des berges et de la ripisylve*

Différents descripteurs des berges et de la végétation riveraine calculés à partir des bases de données de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau (CarHyCE 2010 version 1.0) ont été testés mais ont dû être écartés parce que le traitement des données qualitatives de la base CarHyCE induisait de trop nombreux biais d'interprétation. D'autre part leurs contributions à la capacité explicative du modèle n'ont pas été jugées suffisantes pour justifier les biais introduits.

## TEST DES MODÈLES

Plusieurs associations entre les variables sont testées dans des modèles différents (voir Tab. I). Chaque modèle est évalué indépendamment suivant les contributions des différentes variables au cours de 50 itérations puis comparé aux autres modèles en fonction de leur performance globale mesurée par les AUC (Area Under Curve) de leurs courbes caractéristiques de performance (ROC) (Phillips *et al.*, 2006 ; Elith *et al.*, 2011). Les AUC sont confrontés entre modèles et à la valeur d'AUC du modèle nul (distribution aléatoire des potentiels d'accueils) pour choisir le modèle le plus performant (l'AUC varie entre 0 : modèle faux en permanence et 1 : modèle exact en permanence) ; le modèle aléatoire a un AUC de 0,5). De plus, un sous-ensemble aléatoire de points de présence de la Loutre (25 % des données de présence) est soustrait de la base de données préalablement à la production de chaque modèle afin de vérifier leur calibration. Ces points « test » sont confrontés au modèle produit par Maxent afin de mesurer la capacité prédictive du modèle.

L'AUC est calculé pour chaque modèle sur les données de calibration et sur les données « test », le meilleur modèle est défini non seulement par un AUC élevé pour les données de calibration, mais aussi par un faible écart entre l'AUC de calibration et l'AUC de test, qui garantit la capacité prédictive du modèle.

Au cours de la sélection des modèles, certaines variables, dont la contribution au modèle est non significative ou trop marginale, sont écartées pour construire de nouveaux modèles plus parcimonieux. Cependant une contrainte est intégrée à l'élimination des variables en imposant de toujours conserver au moins une variable de chacune des catégories représentant la disponibilité et la qualité des habitats aquatiques et des zones humides, la disponibilité des ressources alimentaires, le dérangement humain et les caractéristiques du paysages.

## RÉSULTATS

### CHOIX DU MEILLEUR MODÈLE

Le meilleur modèle a été choisi pour la valeur élevée de ses AUC (Tab. I), ce modèle peut donc être considéré comme représentatif de la distribution connue de la Loutre et, par conséquent, devrait estimer les potentiels d'accueil de manière fiable. Les 7 variables du meilleur modèle sont disponibles pour 1012 des 1110 sous-secteurs hydrographiques de France métropolitaine. Les 98

sous-secteurs manquants ont été écartés du modèle par manque de données concernant la qualité écologique et chimique de l'eau.

TABLEAU I

*Récapitulatif des variables intégrées pour chaque modèle testé et descripteurs de la qualité des modèles*

		Toutes variables	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Meilleur modèle
Disponibilité de l'habitat en eau et en zones humides	Densité des cours d'eau (m/km <sup>2</sup> )	X	X	X	X	X	X
	Proportion de plans d'eau (% surface)	X	X				
	Sinuosité des cours d'eau	X					
Disponibilité de la ressource alimentaire	Biomasse de poissons (g/a)	X					
	Poissons binaire	X	X				
	Biomasse d'écrevisses (g/a)	X	X	X	X	X	X
Taux de pollution minimum	Qualité des cours d'eau (Indice de 2 à 8)	X	X	X	X	X	X
Possibilité d'échange entre les populations et d'expansion des populations	Linéaire d'autoroute (m/km <sup>2</sup> )	X					
	Linéaire de route nationale (m/km <sup>2</sup> )	X	X	X			
	Linéaire de route départementale (m/km <sup>2</sup> )	X	X	X	X	X	X
	Linéaire de routes autre (m/km <sup>2</sup> )	X	X	X			
Dérangement humain minimum	Densité de population humaine (hab./km <sup>2</sup> )	X	X				
	CLC Proportion de zones urbanisées (% surface)	X	X	X			
Caractéristiques générales de l'écosystème	CLC Proportion d'agriculture intensive (% surface)	X	X	X	X	X	X
	CLC Proportion d'agriculture extensive (% surface)	X	X	X	X	X	X
	CLC Proportion de landes et pelouses (% surface)	X					
	CLC Proportion de milieux fermés (% surface)	X	X	X	X	X	
	CLC Proportion de milieux minéraux (% surface)	X					
	CLC Proportion d'eaux douces (% surface)	X	X	X			
	CLC Proportion d'eaux saumâtres (% surface)	X					
	Utilisation dominante du territoire (CLC)	X					
	Proportion du Relief inférieur à 200 m (% surface)	X	X	X	X	X	X
	Proportion du Relief entre 200 et 600 m (% surface)	X	X				
	Proportion du Relief supérieur à 600 m (% surface)	X	X	X	X		
Etat des berges et de la ripisylve	Continuité de la ripisylve	X					
	Hauteur de la Strate dominante	X					
	Naturalité des habitats	X	X	X	X		
	Pénétrabilité des matériaux	X	X	X	X		
Résultat des modèles	Nombre de variables	28	19	15	11	8	7
	Données loutres utilisées pour la calibration	322	322	322	322	422	422
	Données loutres du jeu "test"	107	107	107	107	40	140
	Sous-secteur sans loutres	751	751	751	751	1012	1012
	AUC calibration	0.715	0.712	0.711	0.689	0.687	0.668
	AUC test	0.544	0.548	0.546	0.604	0.630	0.662
	Ecart-type de l'AUC	0.025	0.024	0.026	0.024	0.021	0.022
	Ratio AUC <sub>calibration</sub> /AUC <sub>test</sub>	0.761	0.770	0.768	0.877	0.917	0.992

Les 7 variables utilisées permettent en théorie de représenter l'habitat de la Loutre d'Europe (proportion de zones agricoles, relief, densité des cours d'eau), sa qualité et ses ressources (qualité écologique et chimique de l'eau et ressources alimentaires) et la pression anthropique à laquelle les loutres peuvent être confrontées (densité de routes départementales). Les contributions de ces

différentes variables au modèle ainsi que la distribution de leurs valeurs en France sont résumées dans le tableau II et dans les figures en annexe 2.

TABLEAU II

*Contribution de chaque variable au modèle final*

Variable	Contribution de la variable au modèle (%)
CLC Proportion d'agriculture extensive (% surface)	33,6
Proportion du Relief inférieur à 200 m (% surface)	15,4
Qualité des cours d'eau (Indice de 2 à 8)	12,8
Biomasse d'écrevisses (g/a)	11,3
Densité des cours d'eau (m/km <sup>2</sup> )	10,3
Linéaire de route départementale (m/km <sup>2</sup> )	9,5
CLC Proportion d'agriculture intensive (% surface)	7

La proportion du paysage occupé par l'agriculture extensive est la variable la plus fortement utilisée par le modèle (contribution de 33,6 %). Les autres variables ont des contributions au modèle plus homogènes (de 7 à 15,4 %) (Annexe 2).

#### MODÈLE DE POTENTIALITÉ D'ACCUEIL POUR LA LOUTRE D'EUROPE

Les relations individuelles entre les variables environnementales et le potentiel d'accueil de la Loutre (Fig. 3) reflètent les préférences de l'espèce. On observe notamment que les signes d'activité humaine intense (agriculture intensive et réseau routier) sont négativement corrélés avec le potentiel d'accueil alors que les variables liées à la présence de milieux aquatiques de bonne qualité (densité du réseau de cours d'eau et qualité de l'eau) sont corrélés positivement au potentiel d'accueil. Les loutres ont donc apparemment tendance à préférer les sous-secteurs ayant un réseau de cours d'eau dense et de bonne qualité, en zone agricole à usage modéré et plutôt en plaine.

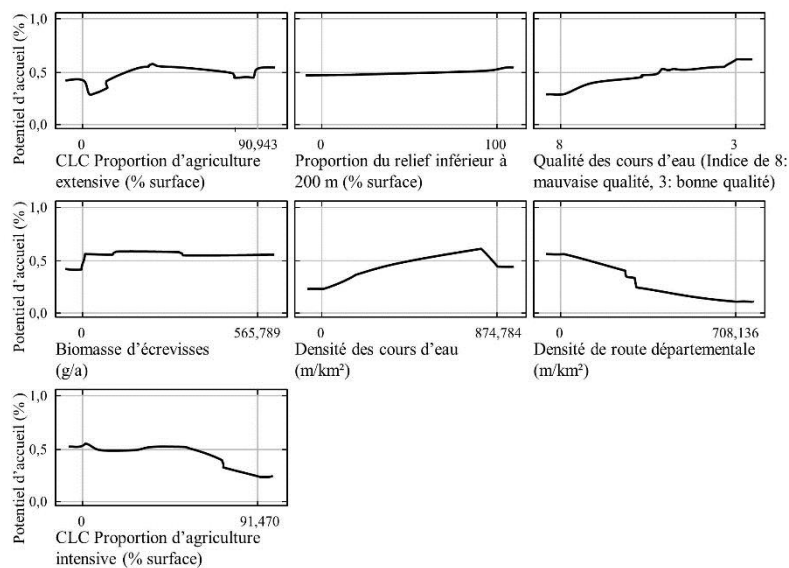


Figure 3.— Relations entre les différentes variables indépendantes et le potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe. Les unités utilisées sont les suivantes : pourcentage de surface pour l'agriculture et pour le relief, indice noté de 3 à 8 pour la qualité écologique et chimique de l'eau, g/a pour la biomasse des écrevisses, m/km<sup>2</sup> pour la densité des cours d'eau, pourcentage de surface pour la densité de route départementales et l'agriculture intensive.

D'après ce modèle, 30 % des sous-secteurs de France métropolitaine sont peu favorables à la Loutre (potentiel d'accueil inférieur à 0,33), 68 % sont assez favorables à l'implantation de loutres d'Europe ( $0,33 < \text{potentiel d'accueil} \leq 0,66$ ) et 2 % des sous-secteurs peuvent être considérés comme très favorables à l'implantation de loutres d'Europe (potentiel d'accueil supérieur à 0,66) (Figs.4 & 5).

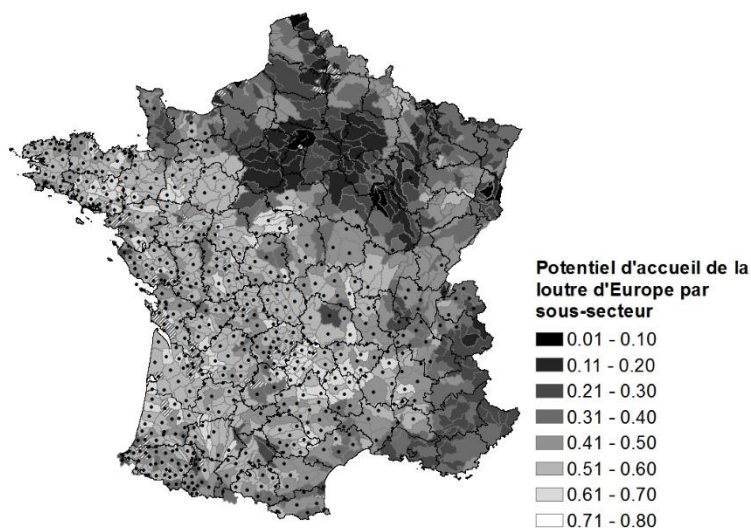


Figure 4.— Modèle du potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe en France métropolitaine, les points noirs représentent les présences actuelles connues de la Loutre d'Europe dans les sous-secteurs. Les sous-secteurs hachurés correspondent à ceux pour lesquels tous les paramètres n'ont pu être renseignés.

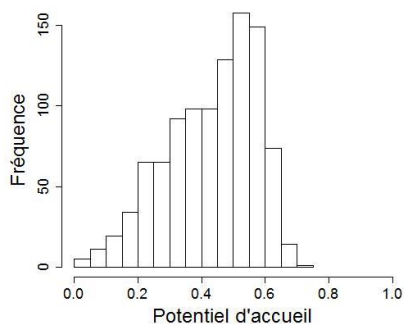


Figure 5.— Distribution des valeurs de potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe en France métropolitaine.

## DISCUSSION

### COMMENTAIRES GÉNÉRAUX SUR LA MÉTHODOLOGIE

Le logiciel Maxent a été choisi pour ce travail parce qu'il permet d'utiliser des points de présence simples (sans données d'absence), qui sont le type de données le plus fréquent dans le cadre des inventaires de biodiversité. D'autre part, les résultats présentés sous forme de continuum de potentiel d'accueil (plutôt que comme une réponse binaire de présence ou d'absence)

permettent une hiérarchisation fine des sites d'accueil potentiels. Enfin, Maxent autorise l'utilisation conjointe de données continues et catégorielles et est capable d'adapter différentes formes de relations (linéaire, à seuil, multiplicatives, etc.) entre les variables, ce qui permet des représentations des variables proches de leurs distributions naturelles.

Il est cependant à noter que ce type de modèle ainsi que les méthodes permettant d'identifier leurs erreurs sont encore en cours de développement (Phillips *et al.*, 2006).

L'approche de la définition d'habitats potentiels par la modélisation suscite typiquement de nombreuses questions portant sur la capacité à acquérir les données nécessaires à ce travail mais également à étendre les conclusions dans le temps ou l'espace. Dans le cas de la Loutre d'Europe, la majorité des présences constatées de l'espèce se situent dans le tiers sud-ouest de la France. Cela peut mettre en cause l'hétérogénéité spatiale des résultats qui se trouvent effectivement biaisés vers cette zone géographique.

Par ailleurs, l'hétérogénéité de ces données de présence est avant tout le reliquat du recul des loutres (Fig.1) et reflète donc plus les pressions qui ont contribué à les faire disparaître du nord-est que les conditions environnementales actuelles. À cet égard, les conditions environnementales dans lesquelles la Loutre est présente de nos jours pourraient être considérées comme sub-optimales et refléter plutôt les conditions des zones refuges où les loutres ont pu survivre que les conditions idéales à leur survie (Bouchardy, 1986 ; Simonnet & Grémillet, 2009).

Enfin, étant donné la variation dans la taille des sous-secteurs, la finesse de l'analyse peut diminuer pour certaines zones, notamment en Somme où les secteurs hydrographiques sont de grande taille. Le modèle étant construit sur la base de notre connaissance de la distribution actuelle des loutres, seule l'interprétation experte et une connaissance fine du terrain permettrait d'améliorer l'image sur laquelle le modèle est basé.

#### ZONES AU POTENTIEL D'ACCUEIL FAVORABLE À LA LOUTRE

L'objectif principal de modèle est de mettre en exergue certaines régions considérées comme potentiellement favorables mais où la Loutre n'est pas encore de retour. Quatre zones se détachent clairement (Fig.6).

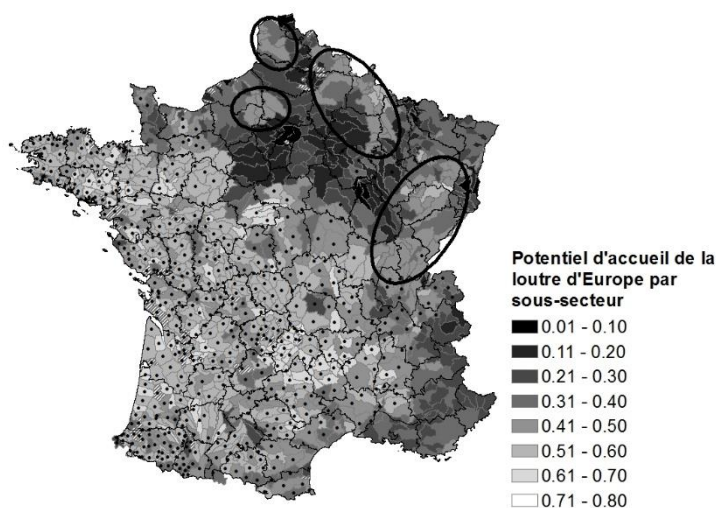


Figure 6.— Zones au potentiel d'accueil favorable à la Loutre.

#### *Sous-secteurs au nord-est de l'Île de France*

Les 3 sous-secteurs à l'intersection entre l'Eure, l'Oise et la Seine-Maritime ont un potentiel d'accueil compris entre 0,46 et 0,50. Ces scores élevés s'expliquent par une surface optimale d'agriculture extensive (soit 40 %) ainsi que, pour le sous-secteur du milieu, une disponibilité importante de la ressource alimentaire qui impacte positivement les deux sous-secteurs voisins.

L'espèce a été commune en Normandie jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avant d'amorcer un déclin au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, l'espèce ne persiste plus que dans l'Orne et la Manche mais la population occupant l'est de la Seine-Maritime, dans la zone considérée ici, a survécu jusque dans les années 70. Elle constituait alors, avec celles de la Manche et de l'Orne, l'une des trois populations survivant encore en Normandie (GMN, 1988 et 2004). C'est donc le dernier noyau à avoir disparu, ce qui peut indiquer que cette zone avait déjà à l'époque un potentiel d'accueil important. La relative proximité du noyau de l'Orne la rend d'autant plus intéressante à considérer dans la perspective d'une recolonisation du nord de la France par une voie occidentale.

#### *Sous-secteurs du Pas de Calais*

Les sous-secteurs situés dans le Boulonnais bénéficient d'une qualité d'eau plutôt bonne pour un secteur de plaine (environ 4-4,5 d'indice de qualité). La proportion de zones agricoles extensives (30 %) est favorable. Le potentiel d'accueil de cette zone semble être confirmé par le fait que la Loutre y a survécu jusque dans les années 70-80 (Fournier, 2000) alors qu'elle avait déjà disparu de la plus grande partie du nord de la France. Par contre, le réseau routier s'est fortement densifié.

#### *Sous-secteurs des Ardennes et proximités*

Le sud de la frontière avec la Belgique bénéficie de nombreux cours d'eau qui sont d'assez bonne qualité (entre 4 et 5). L'agriculture intensive y est peu développée laissant la place à l'agriculture extensive. La Loutre a probablement survécu dans l'extrême nord des Ardennes jusque dans les années 70 (Le Roy, 2012). Dans le département du Nord, l'espèce a persisté dans cette région frontalière avec la Belgique jusque dans les années 90, en relation avec la population du sud de la Wallonie (Fournier, 2000). Ceci confirme le bon potentiel d'accueil de la zone. Celle-ci est donc particulièrement intéressante, d'autant plus que les derniers indices trouvés en Wallonie datent de 2006 (Nederlandt *et al.*, 2011). Elle est également présente à quelques kilomètres au sud de cette zone, dans l'Aube et en Haute-Marne, bien que ces départements ne contiennent pas de secteurs particulièrement favorables à l'espèce. Une recolonisation est donc envisageable par le sud dans un avenir relativement proche.

#### *Sous-secteurs des Vosges, de Franche-Comté et de Saône-et-Loire*

L'ensemble de ces sous-secteurs jouit du pourcentage idéal de surface d'agriculture extensive (entre 30 et 40 %), de cours d'eau de bonne qualité (4) et d'une agriculture intensive pas trop développée (sauf pour la Saône-et-Loire). Le bon potentiel d'accueil est conforté dans la partie nord de la zone par le fait que le massif des Vosges a constitué un des derniers bastions pour l'espèce en Lorraine, celle-ci y ayant survécu jusque dans les années 70 (Fève, 2006). Par ailleurs des indices auraient été trouvés en 2000 au sud du département de la Meurthe-et-Moselle (Fève, 2006). La disparition de l'espèce est également récente dans le Jura. En altitude, la dernière observation a été effectuée en 1975 dans l'Ain (Mijoux), à la frontière avec le département du Jura (Michelat *et al.*, 2005). Enfin, il y a une vingtaine d'années (1994), une observation a été confirmée en Franche-Comté, dans la Basse vallée du Doubs (Kuhn, 2009).

Cette zone, qui s'étend du Jura au sud de la Meurthe-et-Moselle, est particulièrement importante car elle est en contact direct avec l'aire de répartition actuellement connue de la Loutre. Sa recolonisation pourrait même être en cours dans sa partie sud (Kuhn, 2009). Elle est donc à privilégier. On peut également noter que la région des étangs meusiens, située entre cette zone et la zone précédente, a certainement aussi un bon potentiel d'accueil dans la mesure où elle a

également été l'une des dernières où l'espèce a survécu en Lorraine (Fève, 2006). Elle constituerait donc une bonne étape pour une recolonisation du nord de la France par une voie orientale.

*ZONES AU POTENTIEL D'ACCUEIL ACTUELLEMENT INSUFFISANT POUR LA LOUTRE*

Ce modèle permet aussi de délimiter certaines zones où le milieu n'est pas utilisable par la Loutre en l'état actuel. Notamment, l'ensemble du bassin de la Seine, la plus grande partie de la Picardie, l'est du Pas-de-Calais, le nord du département du Nord, le nord de la Meurthe-et-Moselle et le Haut-Rhin sont constitués de sous-secteurs hydrographiques peu favorables à la Loutre (potentiel d'accueil inférieur à 0,33). Cela s'explique principalement par la présence de cours d'eau de qualité médiocre (>5) et une agriculture intensive fortement développée. Dans le sud-est de la France, les Bouches-du-Rhône pâtissent d'une faible densité de cours d'eau qui sont de plus de qualité insuffisante, heureusement compensée par des zones humides de tailles importantes (Camargue en particulier).

*COMPARAISON AVEC D'AUTRES MODÈLES*

Reuther & Krekemeyer (2004) ont évalué la qualité de l'habitat de la Loutre à l'échelle de l'Union européenne, à l'exclusion de la Scandinavie et des îles Britanniques (Fig. 7). Si nous comparons nos modèles, nous retrouvons les mêmes zones non favorables dans le bassin de la Seine, dans le Sud de l'arc Alpin et dans le sud de l'Alsace. De même, dans les deux modèles, les zones les plus favorables sont le long de la façade atlantique sud et le Massif central. En revanche, des différences existent entre ces études. La vallée du Rhône ainsi que l'ensemble de la Bretagne semblent moins favorables que dans notre modèle. Ces disparités peuvent s'expliquer par quelques différences dans le choix des paramètres ainsi que par une différence dans l'échelle d'analyse.

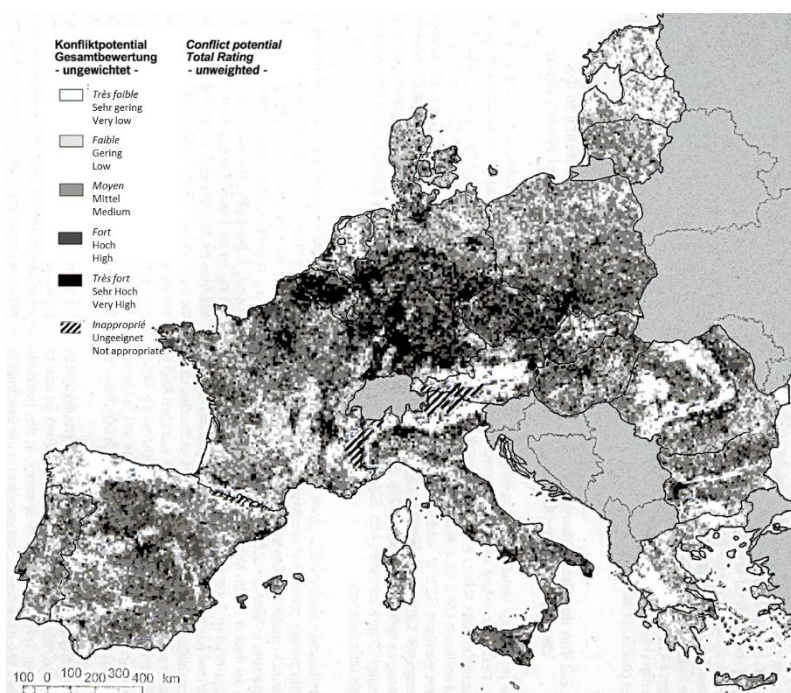


Figure 7.— Résultats de l'évaluation de l'habitat pour la Loutre prenant en compte les paramètres suivants : eau courante, eau stagnante, zones humides, altitude, terres arables et culture permanente, aires protégées et réseau routier. D'après Reuther & Krekemeyer (2004).

De même si nous comparons notre modèle à des études plus locales, des différences apparaissent également. Là encore, le choix des paramètres et l'échelle utilisée peuvent expliquer ces écarts. Toutefois, certaines conclusions se trouvent confortées.

Ainsi, Kreyer (2013) attribue à un ensemble de maille 5x5 d'Alsace des notes allant de 0 à 4, prenant en compte la présence d'eau, de forêt, de route et d'aire protégée. Nos deux études montrent que le potentiel d'accueil reste globalement faible en Alsace avec seulement 53% de la surface considérée comme favorable (note comprise entre 3 et 4) selon Kreyer contre 35% selon notre modèle (Fig. 8 et 9). Cet auteur n'a pas étudié l'ensemble de la région. Or les habitats des zones non prises en compte ont un potentiel d'accueil faible d'après notre modèle, ce qui peut expliquer que nos résultats soient plus pessimistes.

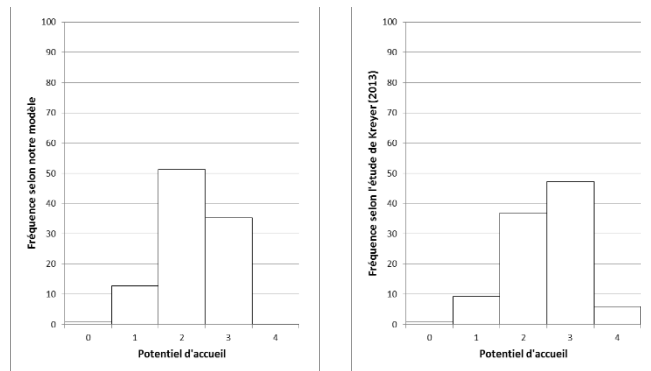


Figure 8.— Distribution des valeurs de potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe en Alsace. (à gauche) selon notre modèle, (à droite) d'après CRCL-Hunawihir, M. Kreyer 2013.

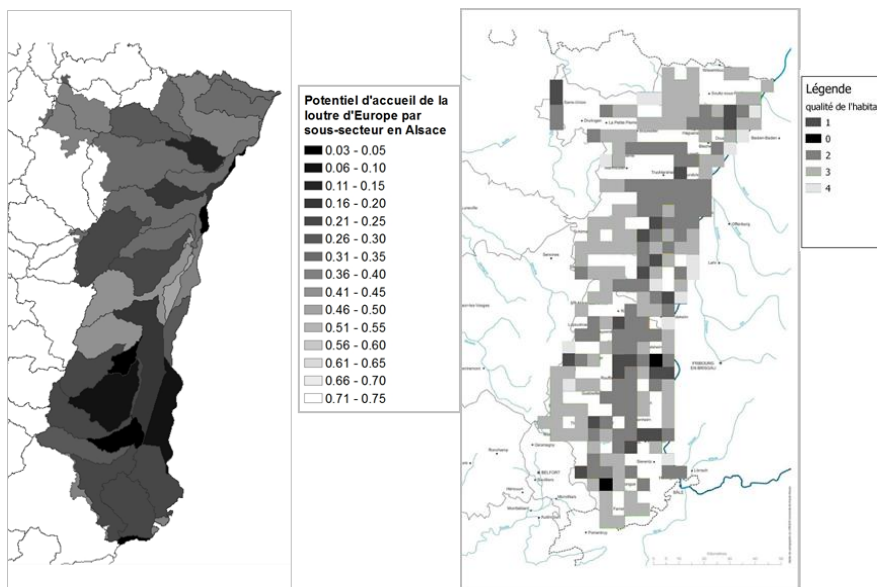


Fig. 9. Potentialité de présence de la Loutre d'Europe en Alsace. (à gauche) selon notre modèle, (à droite) d'après CRCL-Hunawihir, M. Kreyer 2013.

La comparaison avec l'étude réalisée en Bourgogne (Lérat *et al.*, 2012) permet aussi de constater que les résultats généraux sont proches. Dans les deux modèles le potentiel d'accueil pour la Loure d'Europe est important dans le sud et le sud-ouest de cette région et beaucoup plus faible dans le nord et l'est de la région (Yonne et Côte d'Or) (Fig. 10).

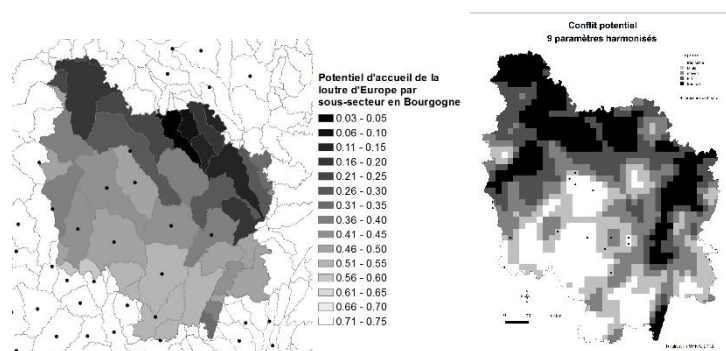


Figure 10.— Comparaison du potentiel d'accueil de la Loure en Bourgogne. (à gauche) selon notre modèle, (à droite) d'après Lérat *et al.* (2012).

Enfin, deux autres études ont été réalisées sur l'ensemble du bassin versant de la Loire (Cavillon, 2011 ; Van Looy *et al.*, 2012). Les résultats obtenus permettent de conclure que 82 % du linéaire étudié est considéré comme favorable. Les zones moins favorables se situent principalement à l'ouest du bassin-versant sur le fleuve Loire et à proximité de son exutoire. Dans notre modèle l'ensemble du bassin-versant de la Loire semble favorable, mais l'échelle assez large de notre étude masque peut être les zones moins favorables à grande échelle.

La comparaison avec ces différentes études régionales, outre qu'elle tend à valider notre modèle, souligne également l'intérêt, dans le futur, d'appliquer notre démarche à des territoires plus petits afin d'affiner les conclusions à l'échelle locale.

## PERSPECTIVES

### DONNÉES

Les résultats de cette étude sont globalement en accord avec les grands patrons connus de potentiel de distribution de la Loure (Reuther & Krekemeyer, 2004 ; Cavillon, 2011 ; Lérat *et al.*, 2012 ; Van Looy *et al.*, 2012 ; Kreyer, 2013).

Cependant, ce modèle pourrait être amélioré en prenant en compte des données aujourd'hui indisponibles ou insuffisantes. En effet, sur les 29 paramètres préconisés par la littérature ou la consultation d'experts, seuls 16 étaient disponibles et utilisables (Annexe 1). Ainsi, avec la base de données actuelle, nous n'avons pas pris en compte la biomasse piscicole car celle-ci n'était pas assez discriminante. Or, de nombreuses études montrent que la valeur de cette biomasse est déterminante pour la survie de la Loure et sa capacité à se reproduire. Ainsi, d'après Chanin (2003), une biomasse piscicole inférieure à 50 kg/ha peut empêcher la Loure de recoloniser un cours d'eau. Il est donc essentiel de pouvoir disposer de données plus fines que celles actuellement disponibles.

D'autres variables telles que l'intensité des activités de loisirs aquatiques seraient intéressantes à prendre en compte. En effet, elles constituent probablement une source de dérangement importante mais ne peuvent être quantifiées au niveau national à l'heure actuelle.

La réalisation de ce modèle à une échelle plus locale permettrait aussi d'obtenir plus de précision concernant le type d'agriculture pratiqué dans le secteur. En effet, dans notre modèle,

nous avons réparti les différents types d'agriculture entre deux catégories : extensif et intensif. Des précisions pourraient être apportées afin de mieux cerner les aménagements à réaliser pour augmenter le potentiel d'accueil de la Loutre dans certains sites.

#### *UTILITÉ POUR D'AUTRES ÉTUDES : CORRIDORS ÉCOLOGIQUES, ETC.*

L'objectif de cette étude était d'obtenir une représentation cartographique du potentiel d'accueil de la Loutre par secteur géographique. Celle-ci est un préalable indispensable à la poursuite de l'objectif de l'action 14 du PNA Loutre : rétablir la connectivité entre les milieux favorables à la Loutre et permettre la jonction des populations isolées. Cette étude apporte donc, dans un premier temps, quelques éléments de réponse à la question centrale : où privilégier la création de corridors biologiques pour permettre la recolonisation de l'espèce ou les échanges entre les populations (Audié-Liebert, 2012 ; Sordello, 2012) ? Dans cette perspective, il serait intéressant de coupler cette carte à celle du réseau routier et celle des obstacles à l'écoulement des cours d'eau (barrages, écluses, ouvrages de franchissement, etc.) afin d'illustrer la fragmentation de l'aire de répartition de la Loutre et d'identifier certaines zones où la recolonisation est freinée par ces obstacles. L'ensemble de ces informations permettrait de définir les corridors écologiques les plus efficaces possibles pour cette espèce et d'envisager les mesures d'aménagement permettant la recolonisation du territoire français par la Loutre.

Ce type d'étude peut répondre à plusieurs autres interrogations : quelle(s) site(s) privilégier dans le cas de réintroductions, de renforcements de populations ou de recolonisation naturelle (Weber, 1990 ; Nederlandt *et al.*, 2011) ? Quelles améliorations apporter à des sites jugés peu favorables mais où l'espèce subsiste encore ? Quels paramètres limitent la présence de la Loutre dans les autres sites (MacDonald & Mason, 1983) ? Quelles sont les zones où les populations de loutres peuvent être plus vulnérables aux changements d'habitats ou à des interventions humaines indirectes (Barbosa *et al.*, 2003) ?

## CONCLUSION

La modélisation du potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe en France métropolitaine permet de mettre en évidence 4 zones dont les habitats sont favorables à la Loutre mais où l'espèce n'est pas encore présente. La Loutre poursuivant toujours sa recolonisation, une attention particulière doit être apportée à ces zones afin de favoriser le retour et maintien de l'espèce dans ces secteurs.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Anna Krekemeyer (ISOS BÜRO), Mélodie Kreyer (CRCL-Hunawühr), Astrid Kiendl (ISOS BÜRO), Alexandre Lehmann (CRCL-Hunawühr), Damien Lerat (SHNA) d'avoir accepté que nous utilisions leurs illustrations. Nous remercions aussi la Banque Hydro, Jean-Marc Baudoin (ONEMA), Pierre-Yves Belan (CETMEF), Jacques Bouché (LPO), Jérôme Cavailles (SETRA), Julie Chataignier (MNHN/SPN), Romuald Dohogne (Indre Nature), Pierre Forges (MEDDE/DGITM/DST/PTF4), Pascal Fournier (GREGE), Karl Kreutzenberg (ONEMA), Yoann La Corte (DREIF), Alexandre Liccardi (ONEMA), Nicolas Poulet (ONEMA), Franck Simonnet (GMB) ainsi que l'ensemble du Groupe Loutre de nous avoir fourni des données. Enfin, nous remercions Clélia Bilodeau, Gaëlle Caublot, Pascal Fournier, Frédéric Gob, Eric Guinard, Lionel Jacob, Philippe Jourde, Rachel Kuhn, Charles Lemarchand, Damien Lerat, Raphaël Mathevet, Didier Montfort, Jean-Philippe Paul, Vincent Pellissier, Pierre Rigaux, Franck Simonnet, Alain Texier, Nathalie Thommeret, Thierry Tournebize, et Déborah Viry ainsi que quatre relecteurs anonymes pour leur expertise.

## RÉFÉRENCES

AUDIÉ-LIEBERT, G. (2012).— *PNA Vison d'Europe et infrastructures de transport. Méthodologie développée pour l'identification des points noirs sur les franchissements hydrauliques*. Rapport du Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest.

- BARBOSA, M.A., REAL, R., OLIVERO, J. & VARGAS, J.M. (2003).— Otter (*Lutra lutra*) distribution modeling at two resolution scales suited to conservation planning in the Iberian Peninsula. *Biol. Conserv.*, 114: 377-387.
- BOUCHARDY, C. (1984).— La Loutre *Lutra lutra*. Pp 118-119 in: SFPEM (coord.). *Atlas des mammifères sauvages de France*. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris.
- BOUCHARDY, C. (1986).— *La loutre*. Le sang de la terre éditeurs, Paris.
- BOUCHARDY, C., ROSOUX, R. & BOULADE, Y. (2001).— *La Loutre d'Europe : histoire d'une sauvegarde*. Catiche Production.
- CAVILLON, C. (2011).— *Qualité et fragmentation du réseau d'habitats du corridor rivulaire des bassins versants de la Loire et du Rhône. La Loutre d'Europe (Lutra lutra) et le Castor d'Europe (Castor fiber galliae). Espèces focales potentielles pour une évaluation du corridor alluvial ?* Rapport de stage de M2 Université de Montpellier.
- CHANIN, P. (2003).— *Ecology of the European Otter*. Conserving Natura 2000 Rivers. Ecology Series n°10. English Nature, Petersburg.
- ELITH, J., PHILLIPS, S.J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y.E. & YATES, C.J. (2011).— A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17: 43-57.
- FEVE, F. (2006).— *Mammifères sauvages de Lorraine*. Editions Serpenoise, Metz.
- FOURNIER, A. coord. (2000).— Les Mammifères de la Région Nord-Pas-de-Calais. Distribution et écologie des espèces sauvages et introduites : période 1978-1999. *Le Héron*, 33 n° spécial: 1-192.
- G.M.N. (1988).— *Les mammifères sauvages de Normandie. Statut et répartition*. Groupe Mammalogique Normand, Pont-Audemer.
- G.M.N. (2004).— *Les mammifères sauvages de Normandie. Statut et répartition 1991-2001*. Groupe Mammalogique Normand, Épaignes.
- KEMPF, C. (1980).— Kurze Angaben über den Fishotter in Frankreich. Pp 139-140 in: R. Becker (ed.). *Der Fischotter in Europa: Verbreitung, Bedrohung, Erhaltung*.
- KREYER, M. (2013).— *Détermination du potentiel d'accueil de la Loutre d'Europe en Alsace. Cartographie des habitats favorables : actions n°6 du PNA pour la Loutre*. Rapport de stage de M1 UJF Grenoble.
- KRUUK, H. (2006).— *Otters: ecology, behaviour, and conservation*. Oxford, New York.
- KRUUK, H., CARSS, D.N., CONROY, J.W.H. & GAYWOOD, M.J. (1998).— Habitat use and conservation of otters (*Lutra lutra*) in Britain: a review. *Symp. Zool. Soc. London*, 71: 119-134.
- KUHN, R. (2009).— *Plan national d'actions pour la Loutre d'Europe (Lutra lutra), 2010-2015*. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères et Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.
- KUHN, R. & JACQUES, H. (2011).— *La Loutre d'Europe Lutra lutra (Linnaeus, 1758)*. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères. Encyclopédie des Carnivores de France 8.
- LAFONTAINE, L. & ALENCASTRO (DE), L.F. (1999).— *Statut de la Loutre d'Europe (Lutra lutra) et contamination des poissons par les polychlorobiphényles (PCBs) : éléments de synthèse et perspectives*. Actes 23<sup>ème</sup> colloque francophone de Mammalogie. SFPEM.
- LE ROY, C. (coord.) (2012).— *Atlas des Mammifères sauvages de Champagne-Ardenne*. LPO Champagne-Ardenne, Outines.
- LEMARCHAND, C., ROSOUX, R. & BERNY, P. (2011).— Ecotoxicology of the European Otter (*Lutra lutra*) along Loire River (France) and predictable trends due to global change. *IUCN Otter Specialist Group Bull.*, 28B: 5-14.
- LERAT, D., LUTZ, S. & VARANGUIN, N. (2012).— *Programme de suivi : Faune aquatique – La Loutre d'Europe (Lutra lutra, Linnaeus 1758) en Bourgogne*. Société d'histoire naturelle d'Autun.
- LIBOIS, R.M. (1995).— Régime et tactique alimentaires de la loutre (*Lutra lutra*) en France. Synthèse. *Cahiers Éthol.*, 15: 251-274.
- LIBOIS, R.M., PHILIPPART, J.C., ROSOUX, R. & VRANKEN, M. (1982).— Quel avenir pour la loutre en Belgique ? *Cahiers Ethol. appl.*, 2: 1-15.
- LIBOIS, R.M. & ROSOUX, R. (1989).— Écologie de la loutre, *Lutra lutra* (L.) dans le Marais Poitevin. I. Étude de la consommation d'anguilles (*Anguilla anguilla*). *Vie & Milieu*, 39: 191-197.
- LIBOIS, R.M. & ROSOUX, R. (1991).— Écologie de la loutre dans le marais poitevin. II. Aperçu général du régime alimentaire. *Mammalia*, 55: 35-47.
- LIBOIS, R.M. ROSOUX R. & DELOOZ E. (1991).— Écologie de la loutre dans le Marais Poitevin III. Variations du régime et tactique alimentaire. *Cahiers Éthol.*, 11: 31-50.
- MACDONALD, S.M. & MASON, C.F. (1982).— The Otter *Lutra Lutra* in Central Portugal. *Biol. Conserv.*, 22: 207-215.
- MACDONALD, S.M. & MASON, C.F. (1983).— Some factors influencing the distribution of otters (*Lutra lutra*). *Mammal Review*, 13: 1-10.
- MACKENZIE, D.I., NICHOLS, J.D., ROYLE, J.A., POLLOCK, K.H., BAILEY, L.L. & HINES, J.E. (2005).— *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Elsevier, San Diego.

- MALAVOI, J.-R. & BRAVARD, J.-P. (2010).— *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA.
- MASON, C.F. & MACDONALD, S.M. (1986).— *Otters: Ecology and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- MATHIAS, P. (1933).— Sur la répartition de la Loutre en France. *Bull. Soc. Centr. Aquic. Pêche*, 10: 73-78.
- MERCIER, I. (2004).— Bilan de la réintroduction de la Loutre *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758) en Alsace, France. *Bull. Soc. Hist. Nat. Ethnogr. Colmar*, 65: 117-134.
- MICHELAT, D., ROUÉ, S. & PÉPIN, D. (2005).— *Les mammifères de la montagne jurassienne*. Neo éditions, Besançon..
- NEDERLANDT, N., SCHMIDT, G., LECLERCQ, C., LIÉGEOIS, S., KEULEN, C., MOTTE, G., LIBOIS, R., SCHOCKERT, V. & CELINA, S. (2011).— *Plan loutre 2011-2021 en Wallonie et au Grand-Duché de Luxembourg*. LIFE Restauration des habitats de la loutre.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. (2006).— Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.*, 190: 231-259.
- REUTHER, C. & KREKEMEYER, A. (2004).— *Auf dem Weg zu einem Otter Habitat Netzwerk Europa (OHNE). Methodik und Ergebnisse einer Raumbewertung auf europäischer und deutscher Ebene*. Habitat, 15.
- ROSOUX, R. (1998).— *Étude des modalités d'occupation de l'espace et d'utilisation des ressources trophiques chez la loutre d'Europe (Lutra lutra) dans le Marais Poitevin*. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I.
- ROSOUX, R. (2002).— La Loutre d'Europe. Pp 98-101 in: F. Bensettiti & V. Gaudillat. *Cahier d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêts communautaire. Tome 7. Espèce animale*.
- ROSOUX, R. & GREEN, J. (2004).— *La loutre*. Belin/Éveil nature.
- ROSOUX, R. & LIBOIS, R.M. (1996).— Use of day resting places by the European otter (*Lutra lutra*) in the Marais Poitevin (France). A radiotracking study. Pp 199-212 in: M.L. Mathias, M. Santos-Reis, G. Amori, R. Libois, A. Mitchell-Jones & M.-C. Saint Girons (eds). *European Mammals: Proceedings of the 1st European Congress of Mammalogy*. Museum Nacional de Historia Natural, Lisboa.
- SAINT GIRONS, M.-C. (1989).— *Les mammifères en France*. Sang de la terre et La Manufacture, Paris.
- SAINT GIRONS, M.-C. (1994).— Loutre *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758). Pp 31 in: H. Maurin & P. Keith (eds). *Inventaire de la Faune menacée en France, le livre rouge*. Nathan. Muséum National d'Histoire Naturelle & WWF France, Paris.
- SANDRE. — Référentiel hydrographique: Sous-secteur. <http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:dictionnaire:ETH::entite:SousSecteurHydro:ressource:latest::html>
- SIMONNET, F. & GRÉMILLET, X. (2009).— Préservation de la Loutre d'Europe en Bretagne : prise en compte de l'espèce dans la gestion de ses habitats. *Le Courrier de la Nature*, 247: 25-33.
- SORDELLO, R. (2012).— *Synthèse bibliographique sur les traits de vie de la Loutre d'Europe (Lutra lutra (Linnaeus, 1758)) relatifs à ses déplacements et à ses besoins de continuités écologiques*. Service du patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire naturelle. Paris.
- VAN LOOY, K., CAVILLON, C., TORMOS, T., PIFFADY, J., LANDRY, P. & SOUCHON, Y. (2012).— Are generalist and specialist species influenced differently by anthropogenic stressors and physical environment of riparian corridors? *Riparian ecology and conservation*, 1: 25-35.
- WAYRE, P. (1979).— *The private life of the otter*. Batsford, London.
- WEBER, D. (1990).— *La fin de la loutre en Suisse*. Cahiers de l'environnement n°128, OFEP, Berne.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : LISTE DES PARAMÈTRES POUVANT ÉVALUER L'HABITAT DE LA LOUTRE

Facteurs clés	Paramètres utilisés	Paramètres non utilisés	Justification de la non utilisation
Habitats connectés avec de l'eau	Densité des cours d'eau	Distance par rapport à la nappe phréatique	Pas disponible au niveau national
	Surface des plans d'eau	Débit du cours d'eau	Non calculable
	Sinuosité des cours d'eau		
Disponibilité de la ressource alimentaire	Ressources en poissons hors pisciculture	Nombre ou densité de piscicultures	Etant donné le travail actuel portant sur la fermeture des accès des piscicultures aux loutres, il ne nous semble pas judicieux de prendre en compte ces paramètres
	Ressources en écrevisses	Nombre de poissons produits par les piscicultures	
Pollution minimum	Qualité chimique de l'eau	Quantité de pollution de l'air, de l'eau et du sol	Non calculable
	Qualité écologique de l'eau	Pollution due à l'agriculture	Non calculable
Possibilité d'échange entre les populations et d'expansion des populations	Réseau routier	Densité du trafic routier	Pas disponible au niveau national
	Obstacle à l'écoulement sur les cours d'eau (barrages hydrauliques, grilles, écluses, etc.)	Portion de zones continues à faible trafic	Pas disponible au niveau national
Dérangement humain minimum	Aires protégées	Intensité du tourisme et des activités de loisirs	Pas disponible au niveau national
	Densité de la population humaine	Densité du trafic fluvial	Pas disponible au niveau national
	Habitats anthropiques	Intensité de l'utilisation de filet de pêche type verveux	Pas disponible au niveau national
		Nombre et densité de piscicultures	Cf. ci-dessus.
Caractéristiques générales de l'écosystème	Relief	Distance entre les bassins-versants	Pas disponible au niveau national
	Type d'occupation du sol	Zone inondable	Pas disponible au niveau national
	Etat des berges et de la ripisylve		

## ANNEXE 2

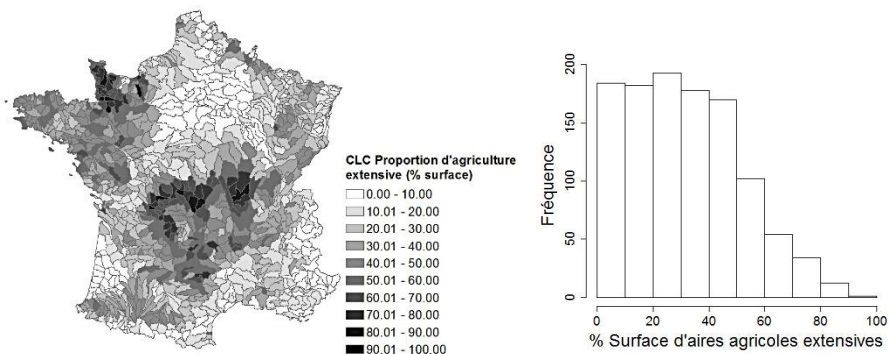


Figure 1.— Distribution spatiale de la proportion des sous-secteurs utilisés pour l'agriculture extensive et distribution des valeurs pour la France métropolitaine

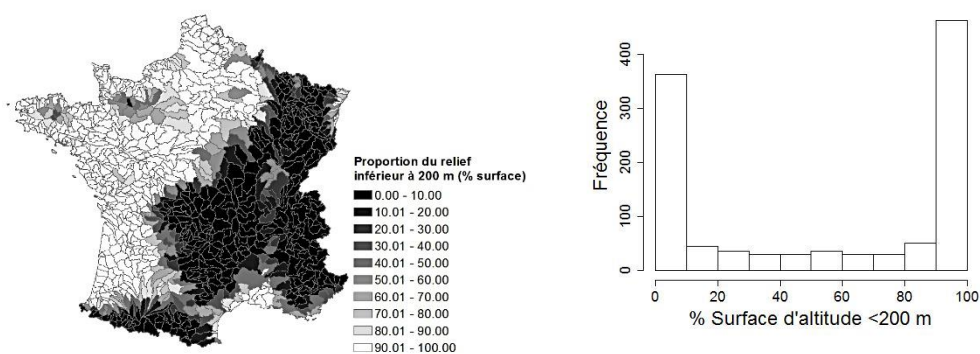


Figure 2.— Distribution spatiale du relief et distribution des valeurs pour la France métropolitaine.

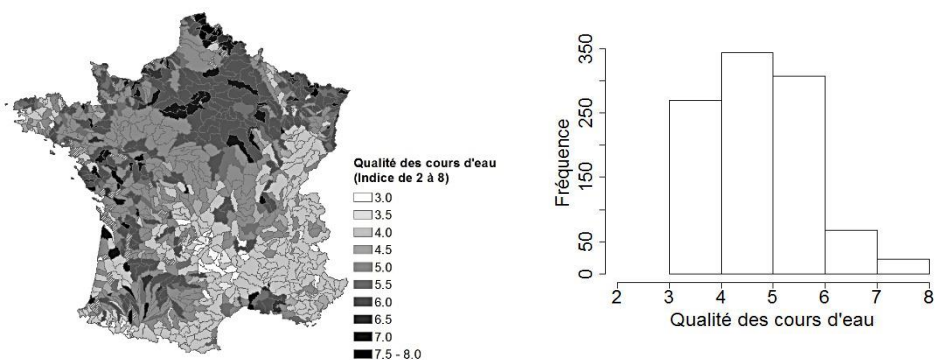


Figure 3.— Distribution spatiale des indices de qualité de l'eau et distribution des valeurs pour la France métropolitaine (indice de qualité = 3 : Bonne qualité, indice = 8 mauvaise qualité).

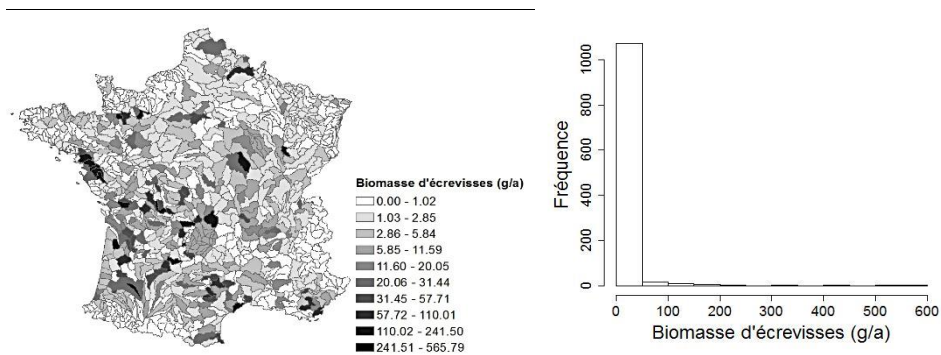


Figure 4.— Distribution spatiale de la biomasse d'écrevisse et distribution des valeurs pour la France métropolitaine.

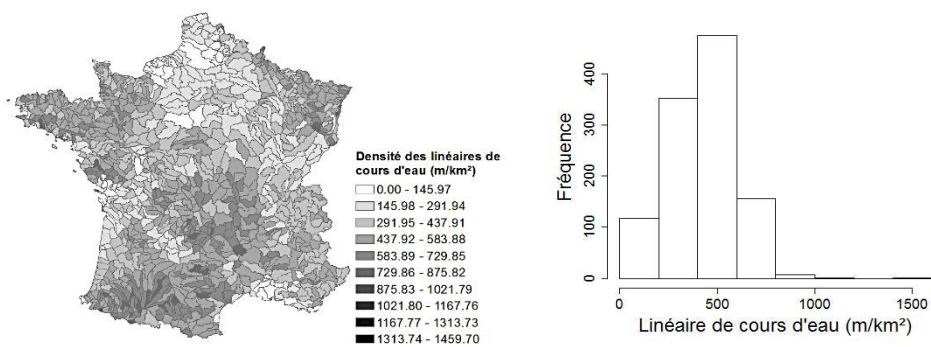


Figure 5.— Distribution spatiale de la densité de cours d'eau et distribution des valeurs pour la France métropolitaine.

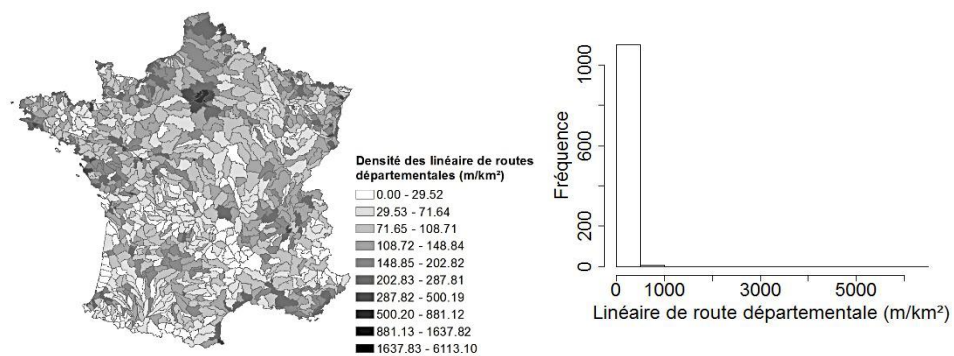


Figure 6.— Distribution spatiale de la densité de routes départementales et distribution des valeurs pour la France métropolitaine.

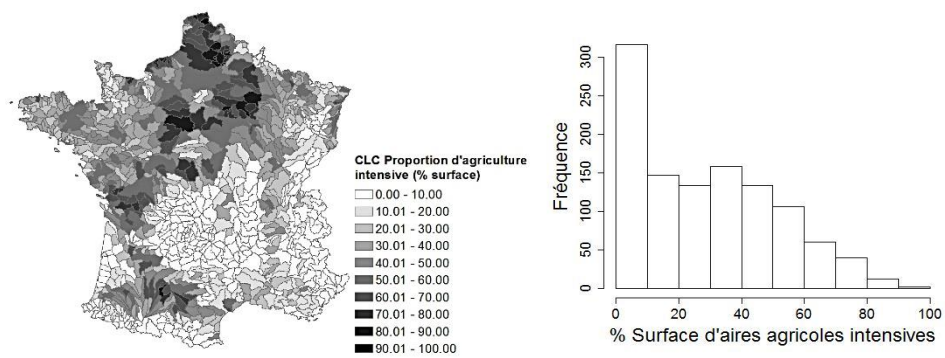


Figure 7.— Distribution spatiale de la proportion des sous-secteurs utilisés pour l'agriculture intensive et distribution des valeurs pour la France métropolitaine.