

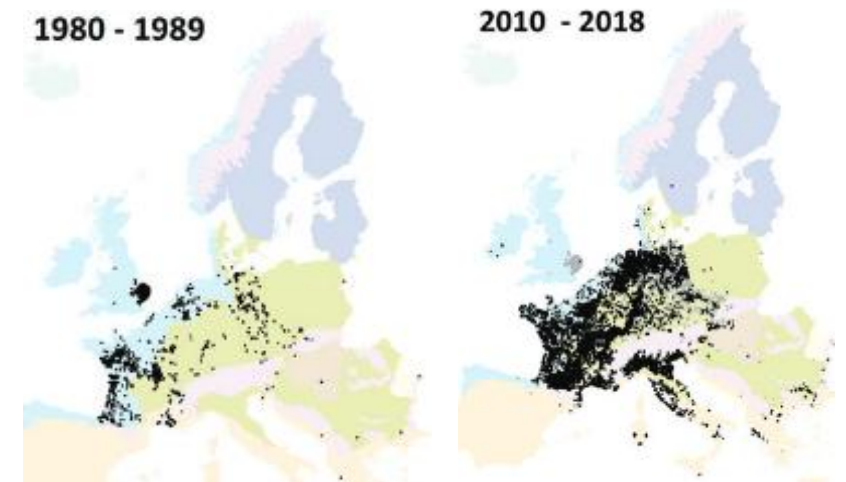
# Cartographier le retour de la loutre d'Europe (*Lutra lutra*) en France à l'aide d'un modèle de distribution d'espèce intégrant des données hétérogènes

**Simon Lacombe**, Sébastien Devillard, Olivier Gimenez  
Séminaire CiSStats-RESSTE 2026 - 03/02/2026

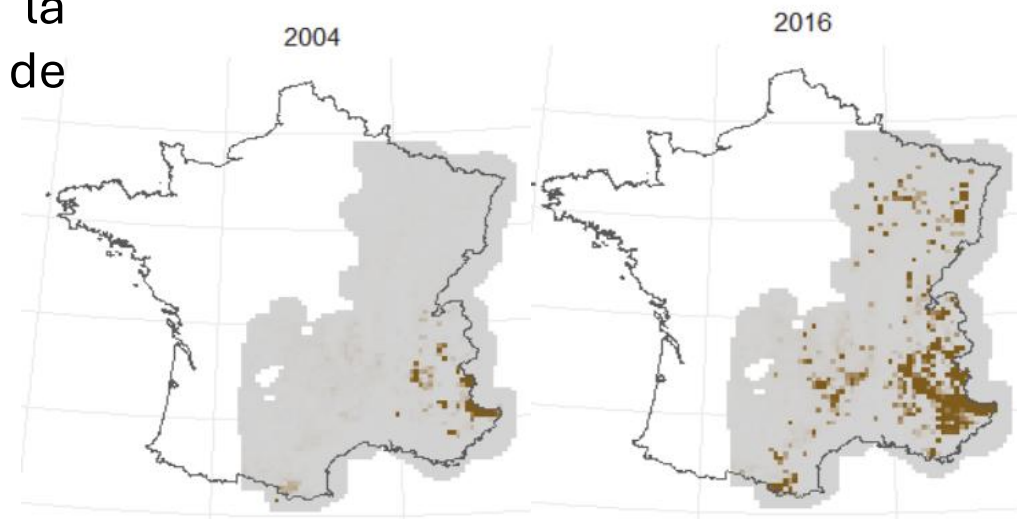


# Introduction

- Les changements globaux affectent la répartition des espèces
  - Espèces en déclin
  - Retours de certains grands carnivores en Europe
  - Espèces invasives
- Suivre ces dynamiques est indispensable pour la conservation des espèces en danger, l'anticipation de potentiels conflits, la gestion des invasions d'espèce, ...
- Mais... les suivis protocolés sont coûteux et difficiles à mettre en œuvre à grande échelle
  - **Emergence des sciences participatives et des modèles intégrés de distribution d'espèce**



*Distribution du ragondin (*Myocastor coypus*) en Europe entre 1980 et 2018. Figure adaptée de Schertler & al., 2020*



*Distribution du loup (*Canis lupus*) en France entre 2004 et 2016. Lacombe & al., in prep.*

## L'exemple de la loutre d'Europe (*Lutra lutra*)

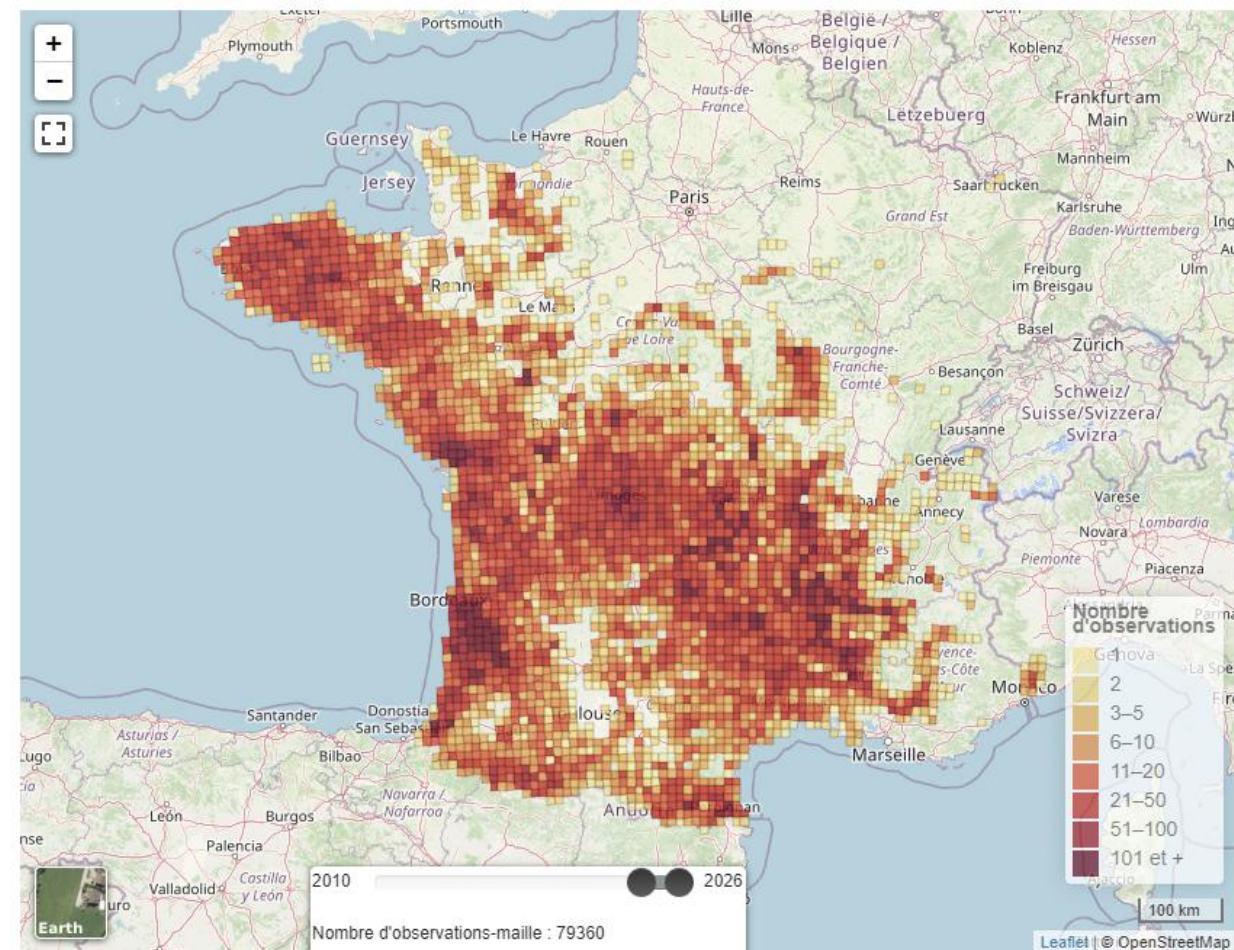
- **Très sensible aux activités humaines** : Presque conduite à l'extinction au 20<sup>e</sup> siècle à cause de persécutions directes, de perte d'habitat et de pollution.
- **Important intérêt pour la conservation** : Espèce strictement protégée en Europe avec des Plans Nationaux d'Actions dans de nombreux pays.
- **Espèce en expansion** : L'espèce recolonise de nombreux pays d'Europe, soulevant des questions généralement associées aux prédateurs en expansion ou aux espèces envahissantes.





# L'exemple de la loutre d'Europe (*Lutra lutra*)

- **Données abondantes mais très hétérogènes** : suivi standardisé depuis 2009 + réseau de naturalistes amateur·ice·s fournissant des données depuis les années 80.
- Les cartes de répartition actuelles ont une **résolution temporelle grossière** et **ne tiennent pas compte de l'hétérogénéité des données** et de la non-détection
- Compréhension limitée de la dynamique de l'espèce et de l'effet l'environnement



<https://observatoire-mammiferes.fr/>

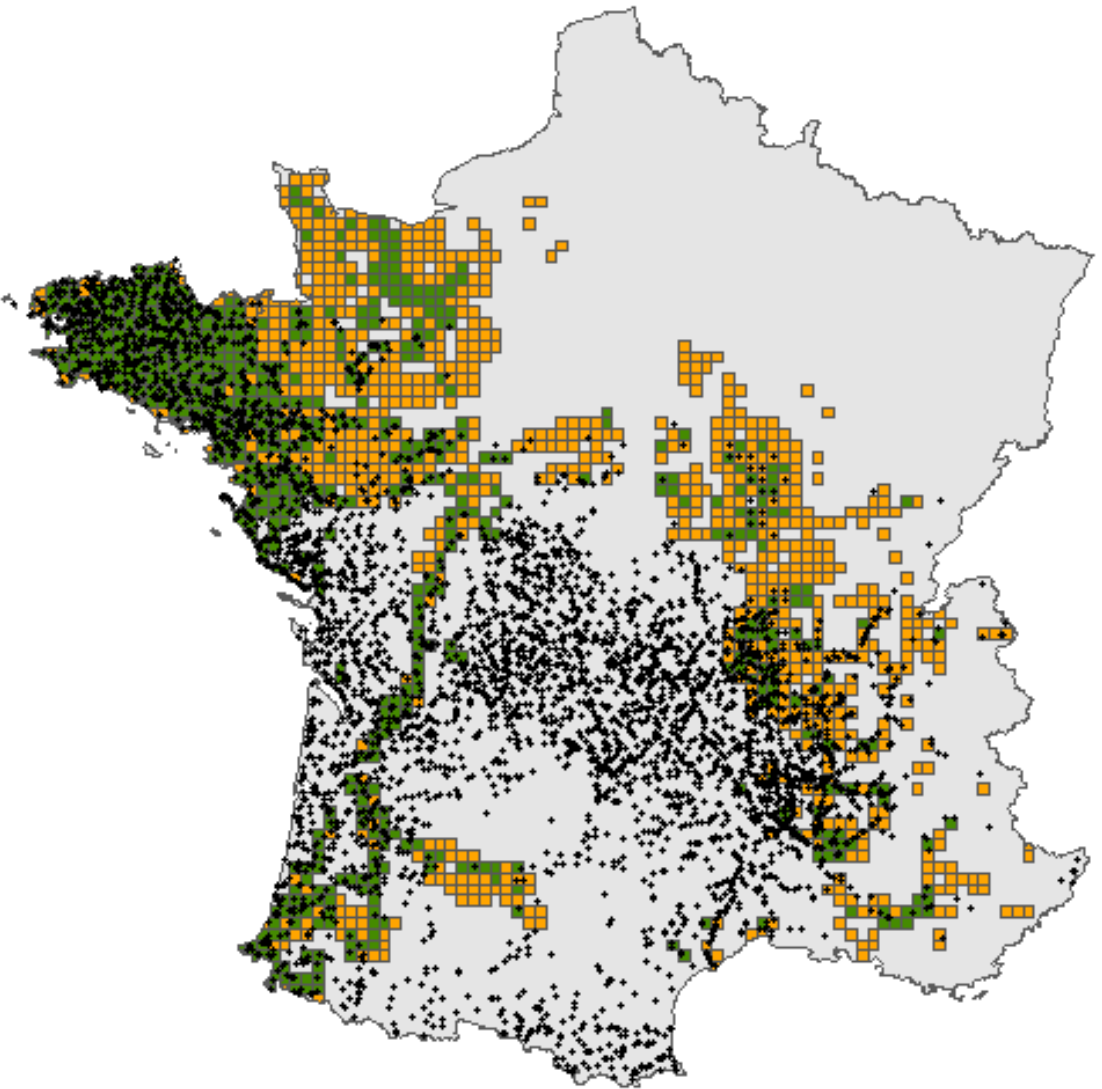
# Objectifs

- **Décrire la dynamique de recolonisation** de la loutre à fine résolution temporelle.
- **Quantifier l'ampleur** du retour de l'espèce en France.
- **Identifier les effets de l'environnement** et de la connectivité\* sur le rétablissement de l'espèce



- Création d'une base de données multi-source
- Développement d'un modèle de distribution d'espèce intégrant données opportunistes et protocolées

# Matériel et méthodes : le jeu de données



Données collectées couvrant la période 2009 - 2023

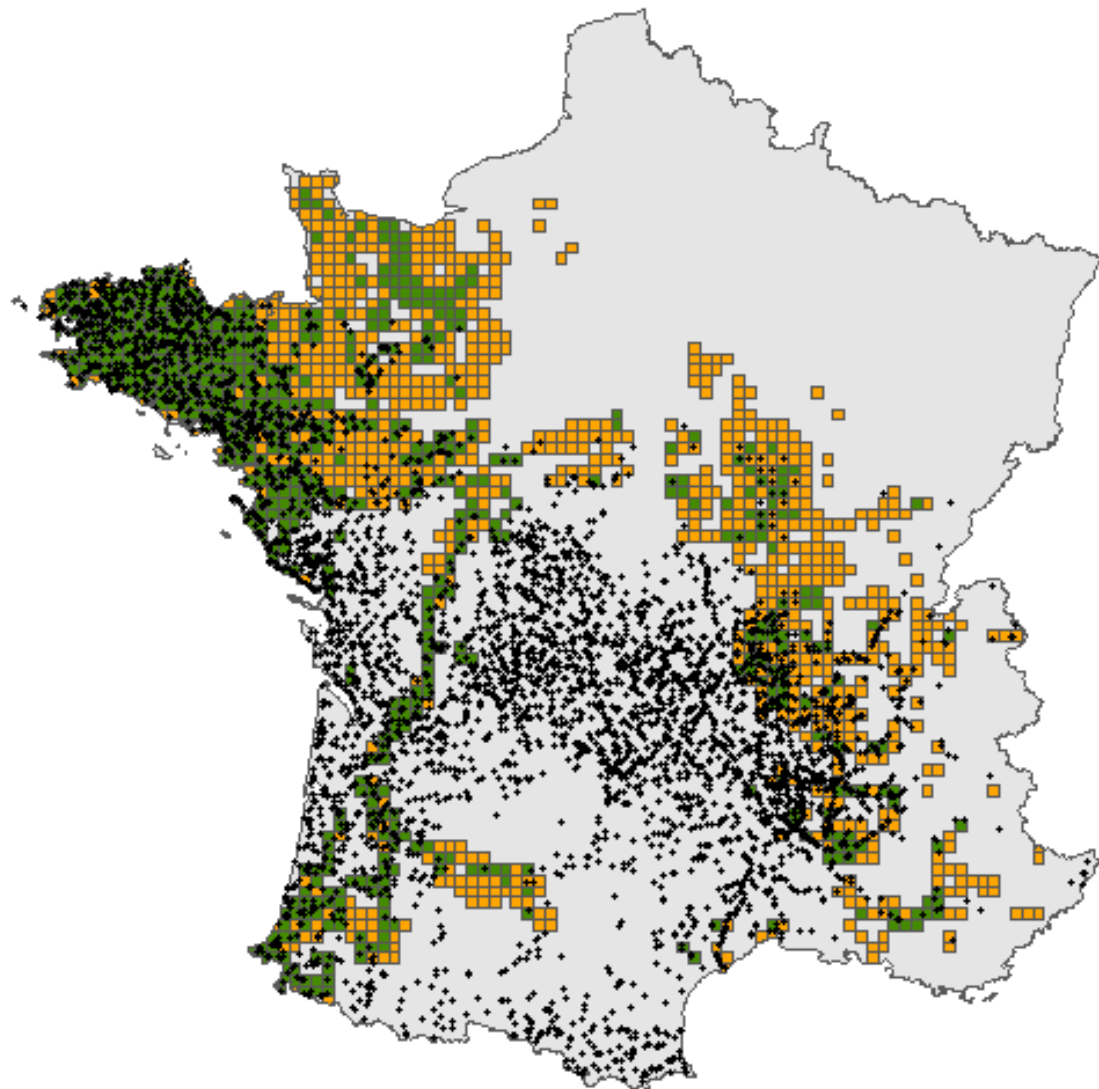
- 19 organismes naturalistes (LPO, Groupes Mammalogiques, Sologne Nature Environnement, ...)
- Tri des données en collaboration étroite avec les gestionnaires :
  - + **28 735** observations opportunistes en Présence Seule
  - /■ **3 522** données protocolées par prospection ponctuelle
  - /■ **7 269** données protocolées par transects

Région	Organisme	Protocole	Mots-clés
Bretagne	GMB	Transect	inventaire mammifère semi-aquatique OU prospection protocolée OU étude loutre GMB
Bretagne	GMB	Présence seule	donnée opportuniste OU faunebretagne.org
PACA	LPO PACA	Transect	PNA OU UICN OU E..N... OU E...N...
PACA	LPO PACA	Transect	prospection ET Durance
PACA	LPO PACA	Présence seule	opportuniste

Exemple du tri réalisé pour deux organisations (GMB et LPO PACA)



# Matériel et méthodes : le jeu de données

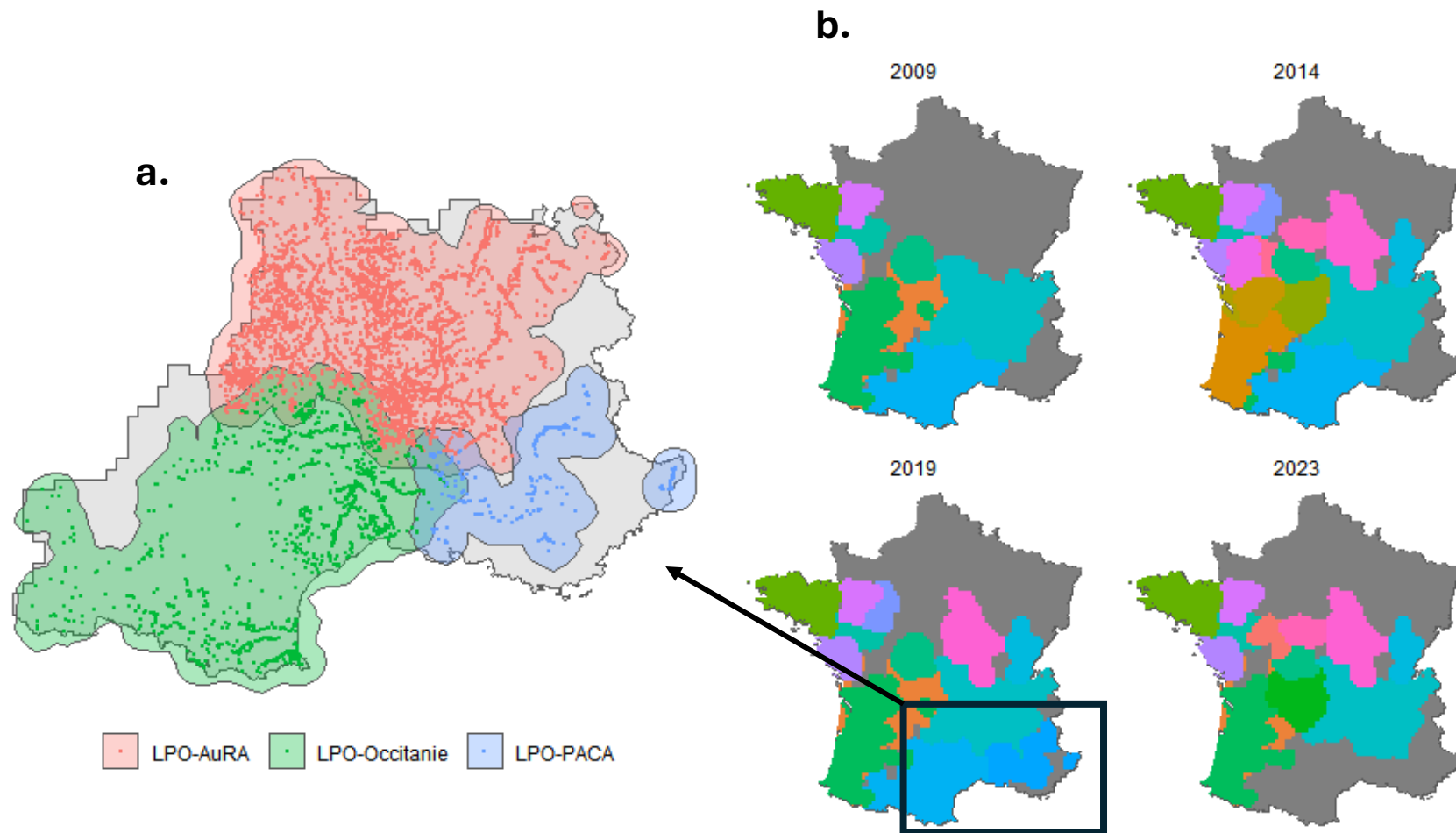


- 19 organismes naturalistes (LPO, Groupes Mammalogiques, Sologne Nature Environnement, ...)
- Tri des données en collaboration étroite avec les gestionnaires :
  - + **28 735** observations opportunistes en Présence Seule
  - /■ **3 522** données protocolées par prospection ponctuelle
  - /■ **7 269** données protocolées par transects
- Sous échantillonnage des données opportunistes :
  - Distance minimale entre observations une même année de  $10\text{km}$  → **5 576** observations
 (réduction de l'autocorrélation spatiale et des biais d'échantillonnage )

*Données collectées couvrant la période 2009 - 2023*

# Matériel et méthodes : prise en compte de l'effort d'échantillonnage

1. Attribution d'une « zone d'action » à chaque organisme par KDE **(a.)**
2. Les zones d'action sont considérées échantillonnées une année  $t$  si au moins une donnée fournie par l'organisme à  $t$  **(b.)**
3. On attribue à chaque pixel  $x$  année un organisme **(b.)** pour tenir compte des variations d'efforts



*Methode d'estimation des zones d'action (a.) et zones d'action des différents organismes pour 2009, 2014, 2019 et 2023 (b.)*



# Matériel et méthodes : modèle intégré de distribution d'espèce

- Un processus écologique latent

$\psi(i, t) = 1 - e^{-\lambda(i, t)}$  avec  $\lambda(i, t)$  l'intensité d'occupation\* et

$\psi(i, t)$  la probabilité d'occupation du pixel  $i$  l'année  $t$

$z_{i,t} \sim \mathcal{B}(\psi(i, t))$  = état d'occupation du pixel ( $z_{i,t} = 1 \Leftrightarrow$  pixel occupé)

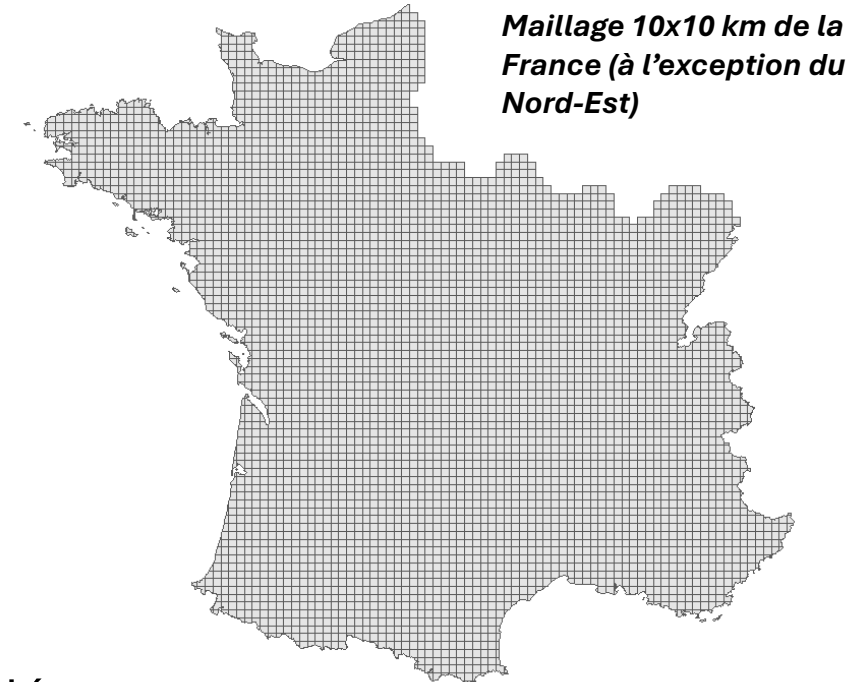
- Deux processus de détection observés

$\rho(i, t)$  = probabilité de détection lors d'une prospection protocolée

$b(i, t)$  = probabilité de détection pour les données opportuniste (échantillonnage & détection)

$y_{i,t,k} \sim \mathcal{B}(\rho(i, t) \times z_{i,t})$  = résultat de la  $K^{eme}$  prospection protocolée du pixel  $i$  l'année  $t$  ( $y_{i,t,k} = 1 \Leftrightarrow$  espèce détectée)

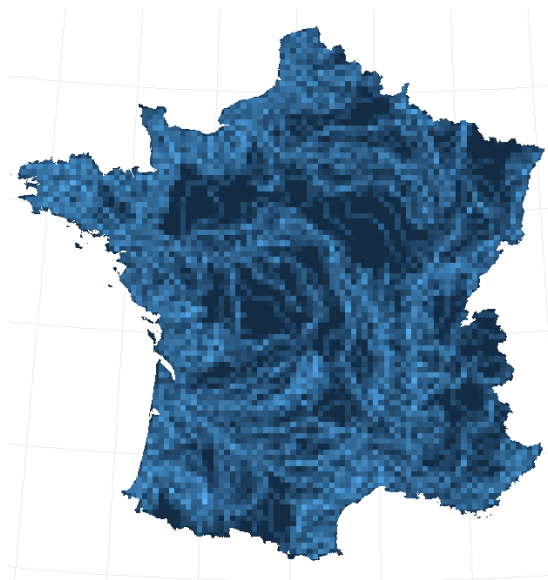
$N_{i,t,k} \sim \mathcal{P}(\lambda(i, t) \times b_{i,t})$  = Nombre de détection opportunistes dans le pixel  $i$  l'année  $t$



# Matériel et méthodes : Variabilité environnementale et autocorrélation spatiale

$$\log(\lambda_{i,t}) = \text{cloglog}(\psi_{i,t}) = \alpha_\lambda + X(s,t)\beta_\lambda^T + f_t(x_s, y_s)$$

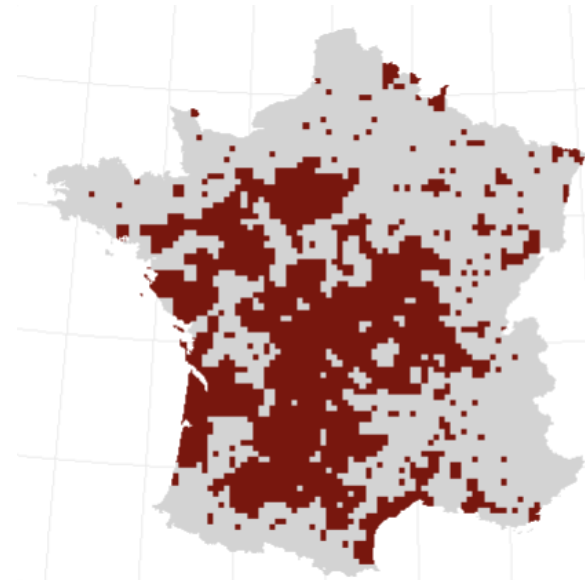
- $X(s,t)$  et  $\beta_\lambda$  : matrice de 4 variables environnementales et pentes associées
- $f_t$  : fonction de lissage spatial construite à partir de thin-plate regression splines à coefficients temporellement corrélés.



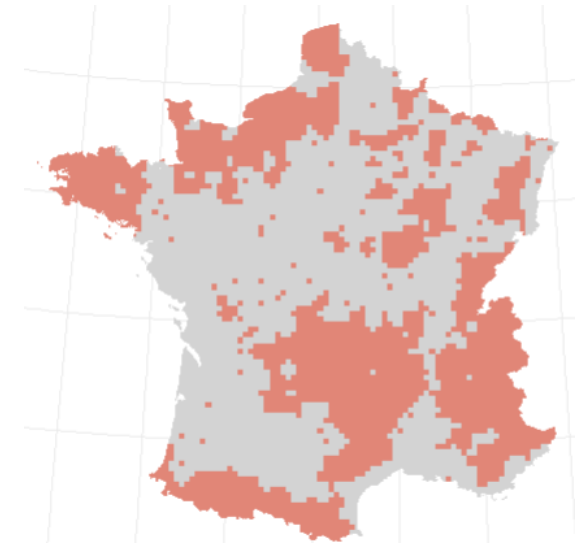
Densité de cours d'eau



Surface de ripisylve



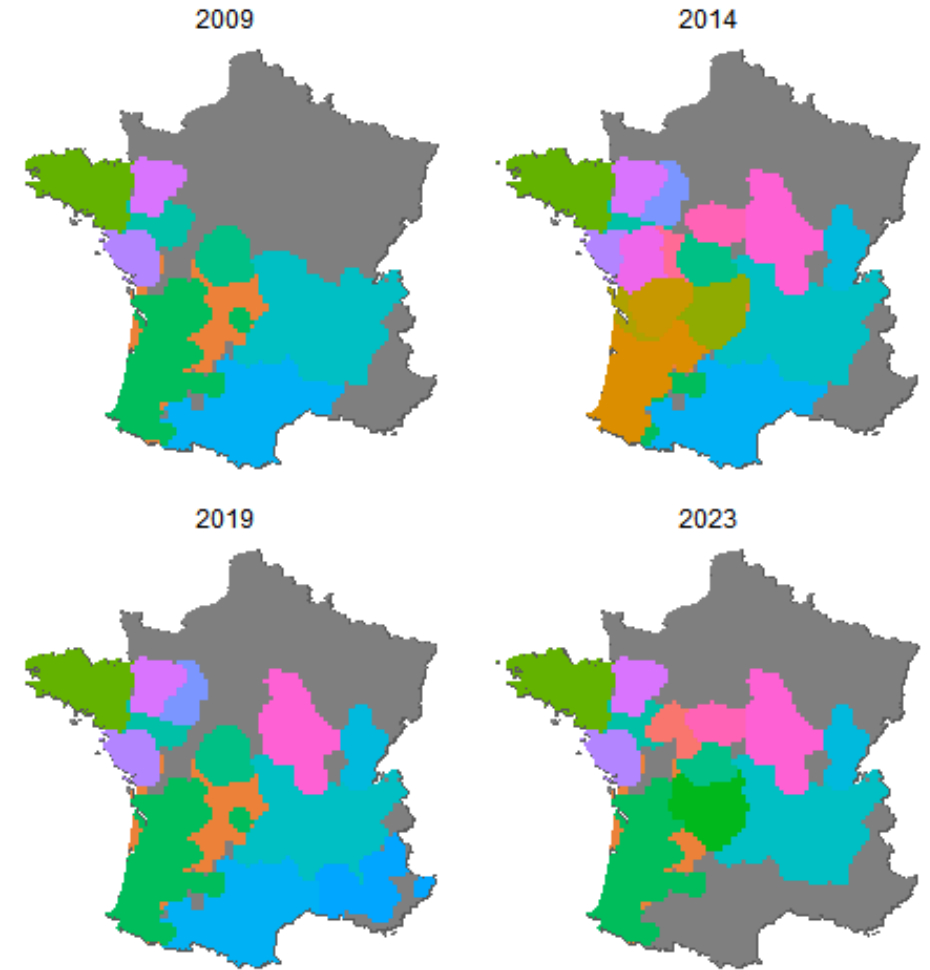
Présence d'écrevisses



Présence de salmonidés

# Matériel et méthodes : Effort d'échantillonnage

- $\text{logit}(\rho_{i,t}) \sim \text{protocole}$  (Transect VS Prospection ponctuelle)
- $\text{logit}(b_{i,t}) \sim (1|\text{organisme} : \text{année})$

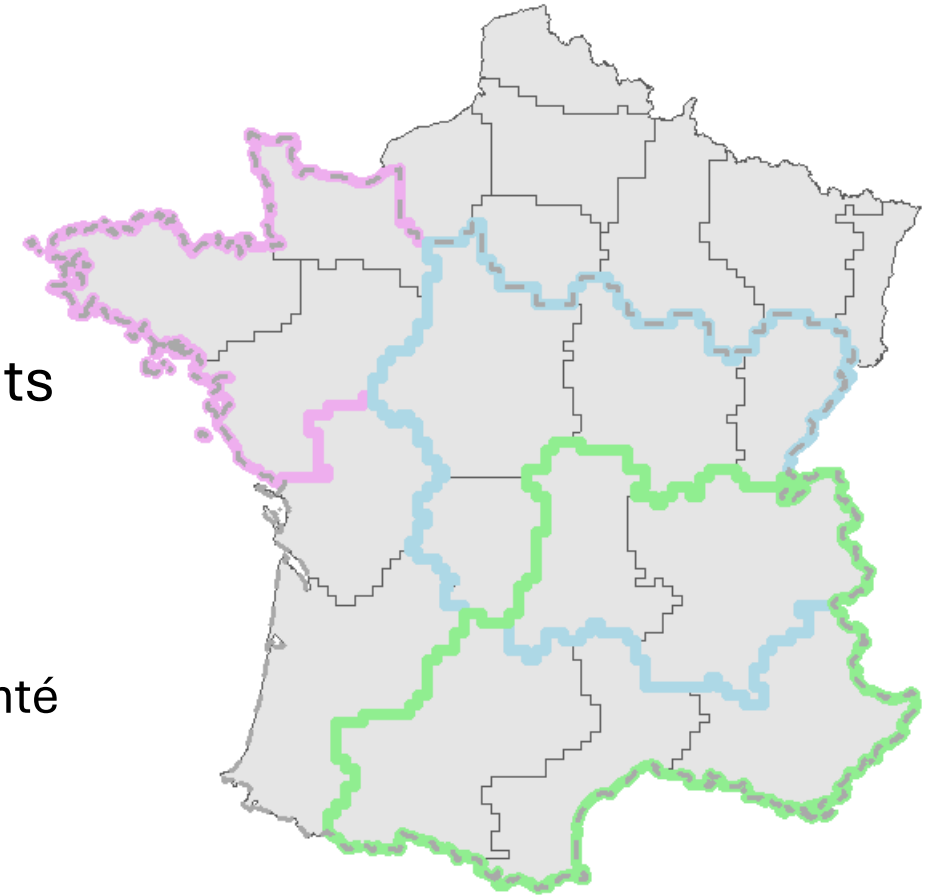


***Zones d'action des différents organismes pour  
2009, 2014, 2019 et 2023***



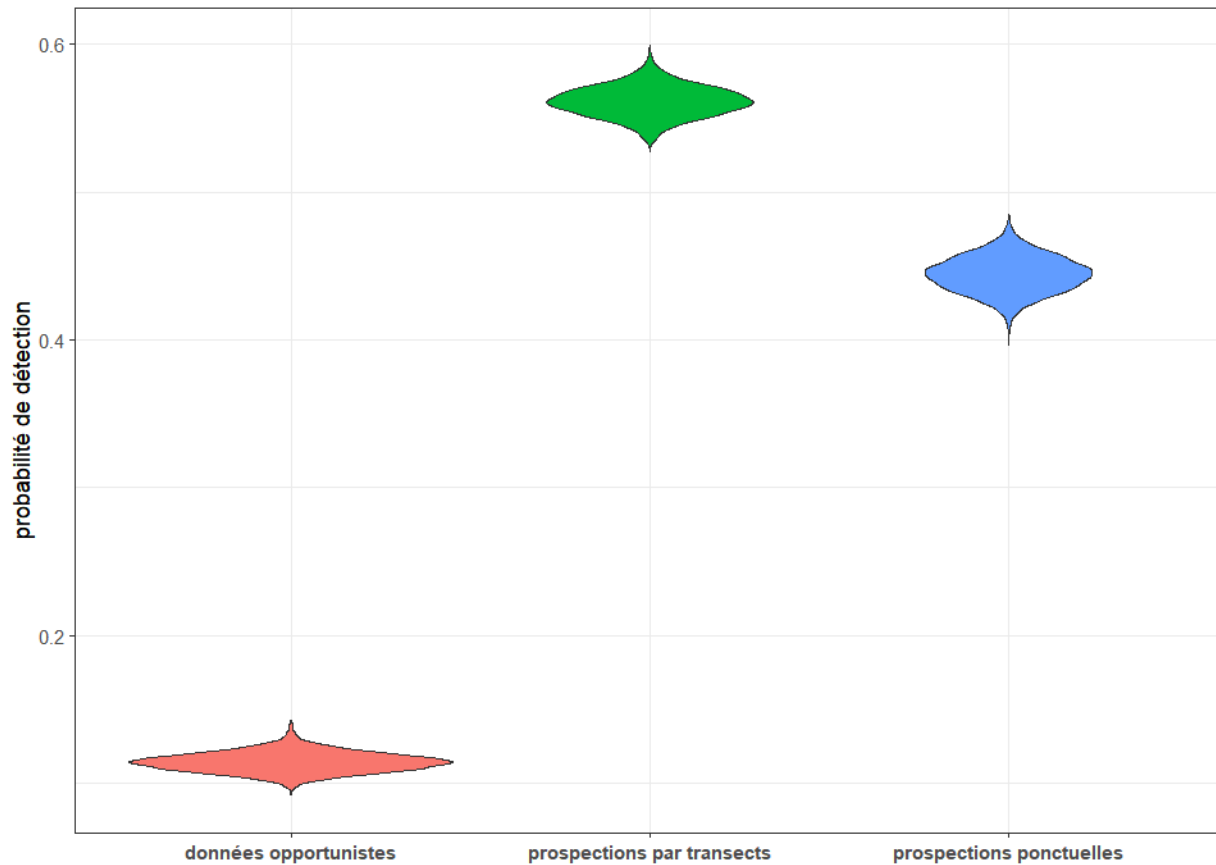
## Matériel et méthodes : étude des contextes locaux

- Un modèle sur l'ensemble de la zone d'étude
  - **National**
- 3 modèles régionaux couvrant les 3 principaux fronts de colonisation
  - **NW** : Bretagne + Basse-Normandie + Pays de la Loire
  - **Center** : Centre-Val-de-Loire + Bourgogne + Franche-Comté + Auvergne + Rhône-Alpes + Limousin
  - **SE** : Auvergne + Rhône-Alpes + PACA + Languedoc-Roussillon + Midi-Pyrénées

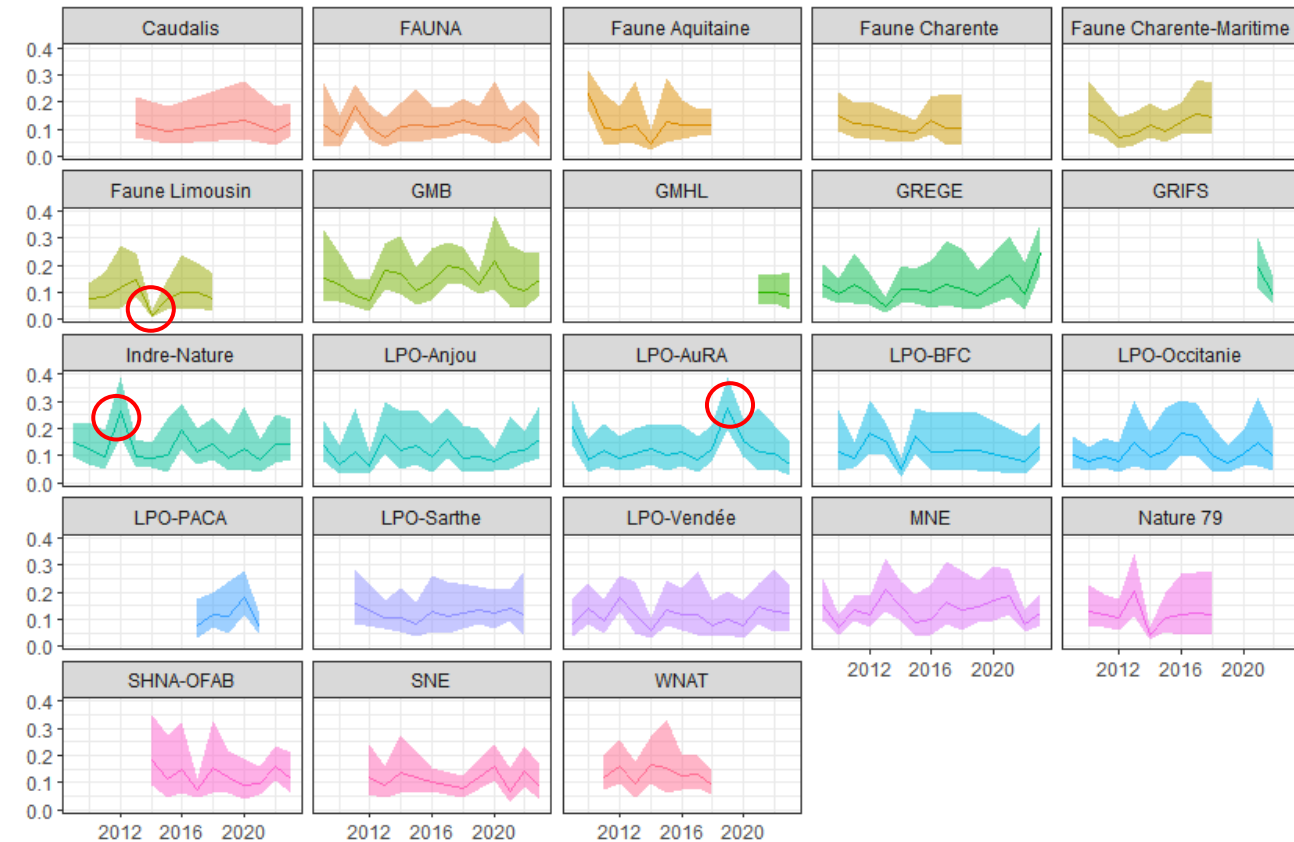


*Emprise des 4 modèles ajustés*

# Résultats : effort d'échantillonnage et détection

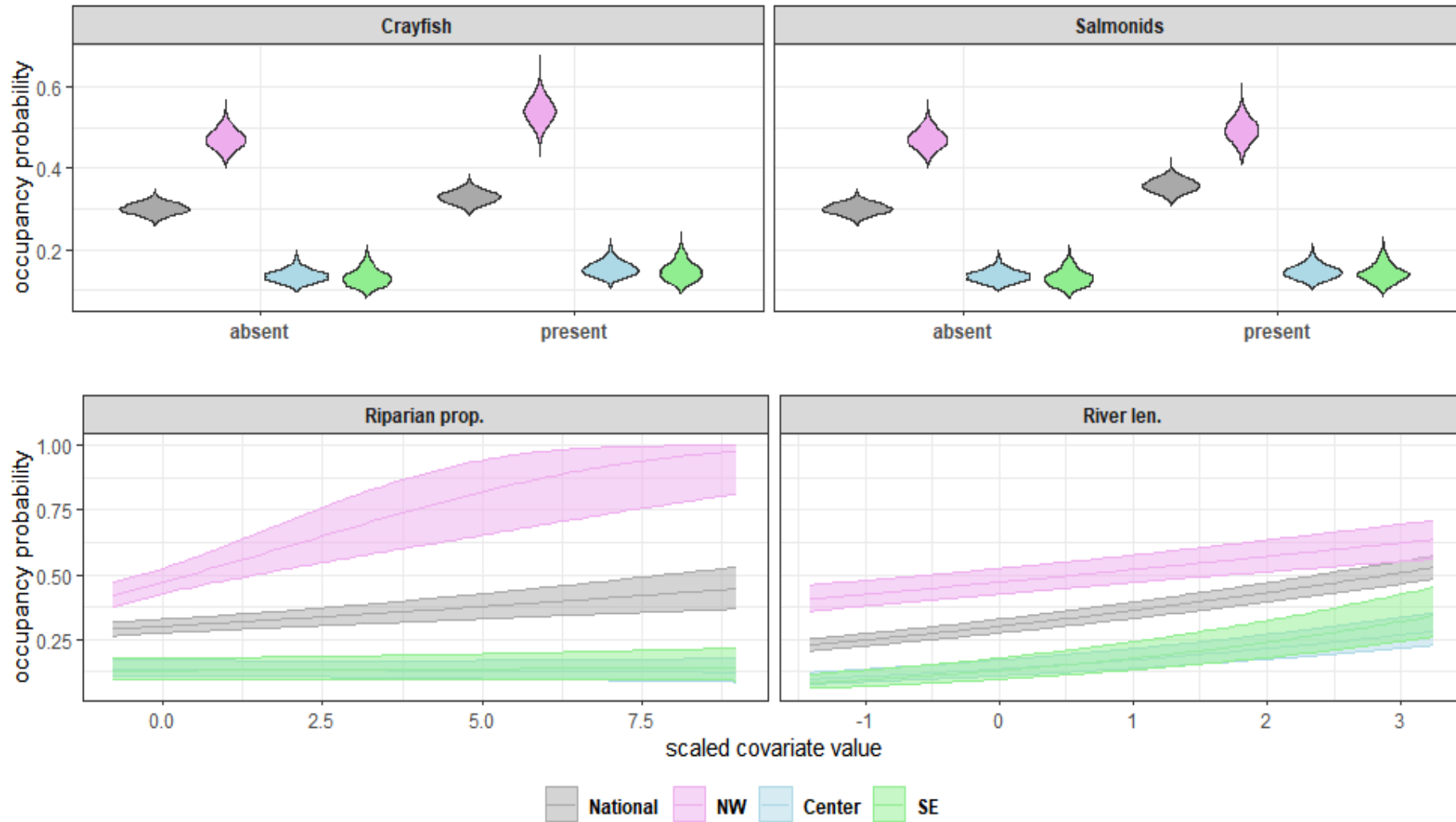


**Probabilité de détection pour les données opportunistes et protocolées**



**Effet de l'organisme et de l'année sur la probabilité de détection pour les données opportunistes**

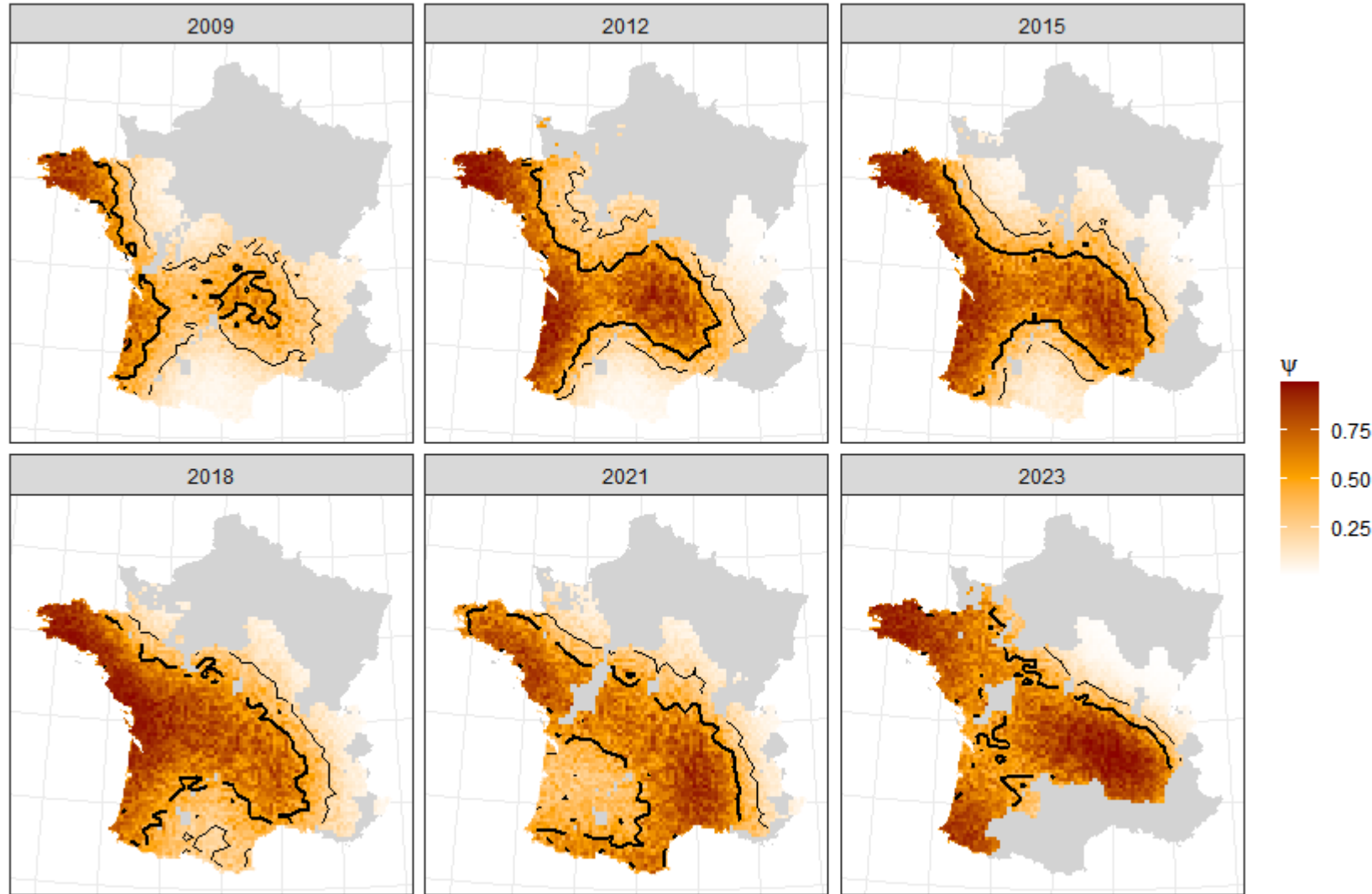
## Résultats : Effet de l'environnement



Les effets de l'environnement sont très variables selon les régions → forte plasticité de l'espèce



## Résultats : Cartes de distribution



### Recolonisation en 3 étapes :

- Expansion et densification des zones de présences
- Reconnexion de ces zones entre elles
- Retour de l'espèce dans de nombreuses régions (Bourgogne, Normandie, pourtour Méditerranéen)

*Probabilité de détection de la loutre entre 2009 et 2023*

## Discussion et perspectives :

- **Hétérogénéité** dans la détection liée à **l'origine des données** et au **protocole**, avec **une variabilité de l'effort** marquée pour les données opportunistes.
- Une bonne compréhension des données et de leur origine nécessite de maintenir une **proximité avec les gestionnaires des jeux de données**.
- Le modèle offre une quantification fine de la surface occupée par l'espèce, et une meilleure compréhension de la dynamique de recolonisation et des effets de l'environnement, mais laisse **des questions écologiques en suspens**.



- Développement d'un modèle plus mécaniste
  - Tenir compte de la connectivité de l'habitat
  - Modéliser la colonisation et la persistance séparément
  - Prédire les zones avec un fort potentiel d'accueil
- Etendre la base de données et le modèle à l'ensemble de l'Europe

# Remerciements

Cécile Kauffmann, Mélanie Aznar, Xavier Birot-Colomb, Camille Cruz, Ondine Dupuis, Christine Fournier-Chambrillon, Pascal Fournier, Camille Fraissard, Nicolas Fuento, Tiphaine Heugas, Alexandre Martin, Lauriane Olivier, Magali Perrin, Meggane Ramos, Antoine Roche, Thomas Ruys, Franck Simonnet, Daniel Sirugue, Bastien Thomas, Angélique Villeger.

