



Premières cartes d'abondance relative de six mustélidés en France

Modélisation des données collectées dans les « carnets de bord petits carnivores » de l'ONCFS



© P. Massit/ONCFS

CLÉMENT CALENGE¹, MICHEL ALBARET²,
FRANÇOIS LÉGER², JEAN-MICHEL VANDEL²,
JOËL CHADCEUF³, CHRISTOPHE GIRAUD⁴,
SYLVIE HUET⁵, ROMAIN JULLIARD⁶,
PASCAL MONESTIEZ⁷, JÉRÉMY PIFFADY⁸,
DAVID PINAUD⁹, SANDRINE RUETTE²

¹ ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Cellule d'appui méthodologique – Le Perray-en-Yvelines.

² ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Unité Prédateurs-animaux déprédateurs – Gières.

³ Statistics, UR1052 – Montfavet.

⁴ CMAP, UMR 7641, École Polytechnique – Palaiseau. Laboratoire de Mathématiques d'Orsay, UMR 8628, Université Paris-Sud – Orsay.

⁵ UR 341 MIA, Inra – Jouy-en-Josas.

⁶ CESCO, UMR 7204, MNHN-CNRS-UPMC – Paris.

⁷ Inra, Unité BioSp. – Avignon.

⁸ Irstea, UR MALY – Villeurbanne.

⁹ CEBC, UMR 7372, CNRS/Université La Rochelle – Villiers-en-Bois.

Contact : clement.calenge@oncfs.gouv.fr



© P. Massit/ONCFS

▲ Placé dans chaque véhicule de service de l'ONCFS, le « carnet de bord » permet d'enregistrer toute observation de petit carnivore faite par les agents.

L'utilisation d'un modèle statistique innovant a permis, en s'appuyant sur les données collectées par les agents de l'ONCFS dans les « carnets de bord petits carnivores », d'estimer pour la première fois des indices de densité traduisant l'abondance de six mustélidés à l'échelle des petites régions agricoles de la France. Ce travail représente une grande avancée dans nos connaissances de la distribution de ces espèces.

Un recueil de données standardisées à l'échelle nationale

Il y a encore peu, l'évaluation de la distribution géographique des mustélidés demeurerait imprécise à l'échelle du territoire national. Avant les années 2000, elle consistait à compiler les résultats d'inventaires régionaux ou à collecter des données sans protocole précis et sur des pas de temps variables. Le « carnet de bord », introduit en 2001 dans chaque véhicule de l'ONCFS pour consigner en continu toutes les observations de petits et méso-carnivores faites par les agents, a permis une première évolution majeure dans la connaissance de la présence de ces espèces en France.

En effet, ce travail a permis d'établir des cartes de répartition à partir de données collectées de façon standardisée et selon un pas de temps connu à l'échelle nationale (cartes disponibles sous Carmen via le site www.oncfs.gouv.fr, portail cartographique de données). Elles concernent tous les petits et méso-carnivores de France continentale¹, sauf le renard c'est-à-dire la belette, l'hermine, la fouine, la martre, le putois, le blaireau, le chat forestier, la genette, le vison d'Europe, le vison d'Amérique, le raton-laveur, le chien viverrin et la loutre. Chaque observation réalisée lors de déplacements en voiture ou d'activités de terrain est consignée en précisant la date, la commune, l'espèce concernée et son statut (individu mort ou vivant). Le kilométrage annuel parcouru est également connu pour chaque véhicule affecté à un département donné.

Une réflexion collégiale de plusieurs organismes de recherche

Une des limites importantes, cependant, des cartes montrant la distribution spatiale brute des petits carnivores observés en France est qu'elles ne prennent pas en compte la non-uniformité de l'effort d'observation dans l'espace (les zones les plus fréquentées par les agents subissant nécessairement une plus grande pression d'observation). Grâce au groupe de travail Statistiques pour les sciences participatives (<http://informatique-mia.inra.fr/cisstats/accueil>), constitué de biométriciens, statisticiens et biologistes appartenant à différents organismes (Université Paris-Sud, CNRS, Inra, Irstea, ONCFS, MNHN, ainsi que différentes universités et associations), l'analyse et la modélisation (encadré 1) du jeu de données « carnets de bord petits carnivores » a permis d'estimer l'abondance

relative de six mustélidés par petite région agricole (PRA) sur la période 2001-2010. Cette échelle spatiale (<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/definitions/zonages/>) a été retenue car il s'agit d'une sous-unité du département qui présente une certaine homogénéité des paysages et des pratiques agricoles, et pour laquelle il paraissait raisonnable de supposer que l'abondance d'une espèce donnée y était homogène. Dans un deuxième temps, un modèle intégrant l'année a été élaboré (dans un cadre bayésien) pour estimer l'évolution des indices entre les périodes 2004-2008 et 2009-2012.

Les hypothèses du modèle

Le modèle construit repose sur des hypothèses qui doivent être respectées pour ne pas induire de biais, c'est-à-dire conduire à de mauvaises estimations. Il convient donc de les évaluer.

Comment varie le processus de détection ?

Si certaines espèces sont plus détectables que d'autres dans certaines PRA seulement, par exemple si l'attention portée à une espèce est plus importante dans certaines PRA que dans d'autres, les résultats sont biaisés. Nous avons considéré cette situation comme peu probable car la consigne était de noter toute observation de carnivores.

Peut-on répartir le kilométrage annuel de façon homogène sur le département ?

Plusieurs modèles ont été testés pour calculer l'effort de prospection. La répartition du kilométrage total annuel d'un véhicule dans chaque PRA du département, de façon proportionnelle à sa surface (encadré 1), s'est avérée la mesure la plus simple et la meilleure en termes de qualité de prédiction. Mais, si certaines PRA d'un département ont été moins fréquentées que d'autres par rapport à leur surface, alors la densité relative est sous-estimée, et inversement.

La probabilité de détection d'une espèce est-elle constante ?

Elle est estimée pour chaque espèce et statut mais est supposée identique pour toutes les PRA. La probabilité qu'un animal soit tué sur la route augmente en fonction du trafic routier. Dans le même temps, les agents de l'ONCFS passent plus de temps sur des routes à trafic moyen voire faible, ce qui limite ce biais.

L'espèce est-elle identifiée sans erreur ?

Les observateurs sont des professionnels formés à la reconnaissance des espèces et, en cas de doute, l'observation n'est pas notée. Pour les animaux morts – qui peuvent être examinés de près –, les risques de confusion sont d'autant plus limités. Ce type d'erreur nous paraît donc assez négligeable.

Comment l'effet observateur est-il pris en compte ?

Les agents n'ont pas tous la même expérience ni la même motivation pour repérer un cadavre et enregistrer la donnée. Cette hétérogénéité individuelle n'induit pas de biais très importants si, globalement, la motivation et l'expérience des différents observateurs ne varient pas selon les PRA. Mais cela peut occasionner des biais dans l'estimation de l'évolution des densités, si la motivation des agents change au cours du temps.

L'habitat traversé par les routes est-il représentatif de celui de la PRA ?

Les observations ayant lieu en majorité au bord des routes, les milieux qu'elles traversent doivent être représentatifs des PRA. À grande échelle, les routes sont bien réparties sur l'ensemble du territoire (1,77 km/km² en France) et dans tous les types d'habitats. À petite échelle, elles ne constituent généralement pas une barrière aux mouvements des petits carnivores. Mais cela ne signifie pas pour autant qu'elles sont utilisées avec la même fréquence. Si cet effet est constant quel que soit le type d'habitat, alors les estimations sont non biaisées.

“ Le modèle construit repose sur des hypothèses qui doivent être respectées pour ne pas induire de biais. ”

¹ En Corse, parmi les espèces étudiées, seule la belette est présente. Le faible nombre de données récoltées n'a pas permis de faire les estimations.

► Encadré 1 • Le modèle utilisé pour estimer les indices de densité

Un modèle qui tient compte de plusieurs probabilités...

Les données dont nous disposons pour estimer les abondances des différentes espèces de petits carnivores sont les nombres de détections, par les agents, d'animaux de 6 espèces dans 703 petites régions agricoles françaises, avec deux statuts possibles (morts ou vivants). Le modèle ajusté à ces données permet d'exprimer le nombre de détections d'une espèce avec un statut donné, dans une petite région donnée, comme une fonction de trois composantes que l'on souhaite estimer :

- **l'indice de densité**, aussi appelé « densité relative » de l'espèce dans la région agricole. Il s'agit de la densité réelle de l'espèce multipliée par une valeur inconnue et propre à chaque espèce. Ainsi, notre modèle ne nous permet pas de dire si la densité d'une espèce est importante ou faible dans l'absolu, mais il nous permet par exemple de dire qu'elle est trois fois plus importante dans telle région que dans telle autre, ou trois fois plus importante lors d'une période qu'une autre ;
- **l'effort de recherche** des animaux dans la région agricole par les agents. Même si le nombre d'animaux d'une espèce était constant dans l'espace et dans le temps, la durée inégale que passent les agents dans les différentes petites régions lors des différentes périodes se traduirait par une variation spatio-temporelle du nombre d'animaux détectés. En outre, au sein d'une région agricole, cet effort est différent pour les animaux morts (souvent détectés pendant la journée) et vivants (souvent détectés de nuit). Notre modèle prend en compte cette répartition inégale de l'effort de recherche et permet en théorie de l'estimer. Il suppose en revanche que cet effort ne varie pas en fonction de l'espèce ;

- **la détectabilité** d'une espèce avec un statut donné. Les différentes espèces ne sont pas détectables de façon identique (par exemple, l'hermine et la belette sont plus petites que les autres espèces). De même, les animaux morts et vivants ne sont pas détectés avec la même facilité. Notre modèle permet de prendre en compte ces détectabilités inégales lors de l'estimation de l'indice de densité. En revanche, nous supposons que cette détectabilité ne varie pas d'une région à l'autre.

Il est impossible d'estimer toutes les composantes de ce modèle (abondances, efforts de recherche, détectabilité) à partir des seules données de détection dont nous disposons. Cependant, il peut être montré que si l'on connaît l'effort de recherche des animaux morts par les agents dans les petites régions agricoles, il est alors possible d'estimer toutes les autres composantes de ce modèle.

...et utilise le kilométrage annuel parcouru pour estimer l'effort de prospection

Les animaux trouvés morts étant essentiellement des victimes de collisions routières, ils sont surtout détectés sur les voies de circulation lorsque les agents se déplacent à bord d'un véhicule. Le kilométrage parcouru par les agents dans une petite région agricole est alors une bonne mesure de l'effort de recherche des animaux morts dans cette région.

Connaissant le kilométrage annuel total de chaque véhicule de service de l'ONCFS, nous avons estimé le kilométrage effectué dans chaque petite région agricole en : (1) redistribuant, pour chaque voiture, le kilométrage parcouru dans les petites régions du département d'affectation au prorata de leur surface et (2) en sommant, pour chaque petite région, les kilométrages redistribués des différentes voitures.



© D. Tarnoux/FDC 35

▲ Le modèle prend en compte la répartition inégale de l'effort de recherche dans l'espace et le temps.

Les résultats par espèces

Pour chaque espèce est présentée la carte des indices de densité obtenus par PRA (n = 703) d'après les données collectées entre 2001 et 2010, en regroupant les valeurs par tranches de 25 % ou quartiles². Ces indices sont exprimés par une valeur comprise entre 0 et 1 pour chaque espèce et permettent des comparaisons entre PRA, mais pas entre espèces.

Une deuxième carte présente, pour chaque espèce, les PRA pour lesquelles une augmentation ou une baisse de l'indice de densité est observée entre 2004-2008 et 2009-2012.

² Le premier quartile correspond à la valeur qui regroupe les 25 % plus petites valeurs des indices. Le deuxième quartile est la médiane (50 % des données) et le troisième quartile sépare le groupe des 25 % plus grandes valeurs des indices.

Tableau 1 Nombre (et proportion) de petites régions agricoles avec augmentation ou baisse de l'indice de densité entre 2004-2008 et 2009-2012.

Espèce	Probabilité forte (> 0,60) d'augmentation (de plus de 20 %) de l'indice de densité	Probabilité forte (> 0,60) de baisse (de plus de 20 %) de l'indice de densité
Blaireau 	319 (45 %)	153 (22 %)
Fouine 	171 (24 %)	282 (40 %)
Martre 	197 (28 %)	183 (26 %)
Putois 	166 (24 %)	251 (36 %)
Belette 	154 (22 %)	203 (29 %)
Hermine 	85 (12 %)	142 (20 %)

Le blaireau

Le blaireau est, avec la fouine, l'espèce la plus régulièrement enregistrée dans les carnets de bords, totalisant 23 607 observations entre 2001 et 2010. Dans la très grande majorité des cas (74 %), les observations concernent des animaux morts et les erreurs d'identification sont minimales. Cette espèce est présente partout en France, Corse exceptée. La gamme des variations

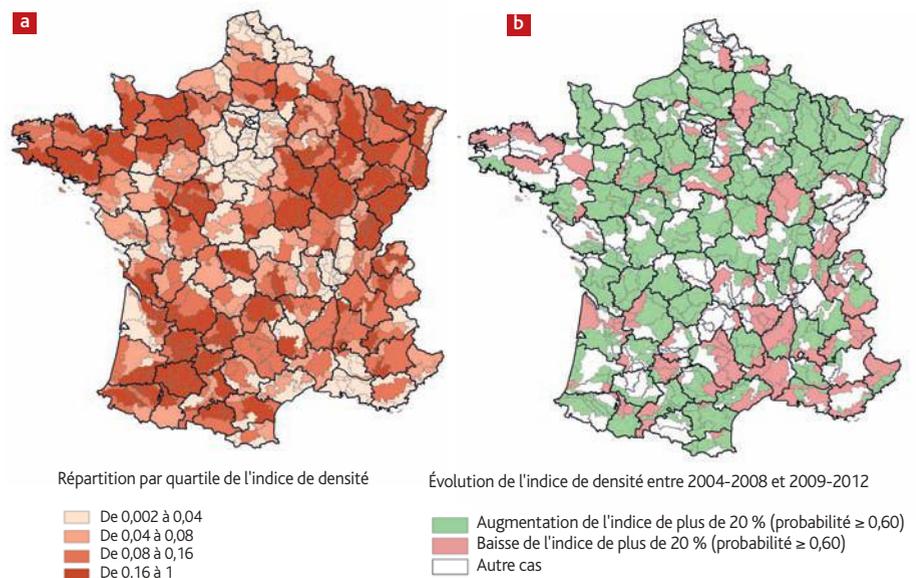
d'abondance entre les régions semble large, la moitié des indices étant comprise entre 0,04 et 0,16, soit un facteur multiplicatif de 4. Les indices les plus faibles sont observés dans le Nord-Pas-de-Calais, le Loiret, l'Eure-et-Loir, les Bouches-du-Rhône, l'Hérault et l'ouest de la Gironde (*carte 1a*). À l'inverse, les indices sont les plus forts en Bourgogne, Midi-Pyrénées (Armagnac, Gers, Ariège) et

en Basse-Normandie (Pays d'Auge). Du point de vue de l'évolution entre 2004-2008 et 2009-2012, les indices sont plus souvent en augmentation (dans 45 % des PRA – *tableau 1*) qu'en baisse (dans 22 % des PRA). Les régions où les indices augmentent sont réparties sur l'ensemble du territoire (*carte 1b*).

▼ Le blaireau est, avec la fouine, l'espèce la plus fréquemment notée dans les carnets de bord.



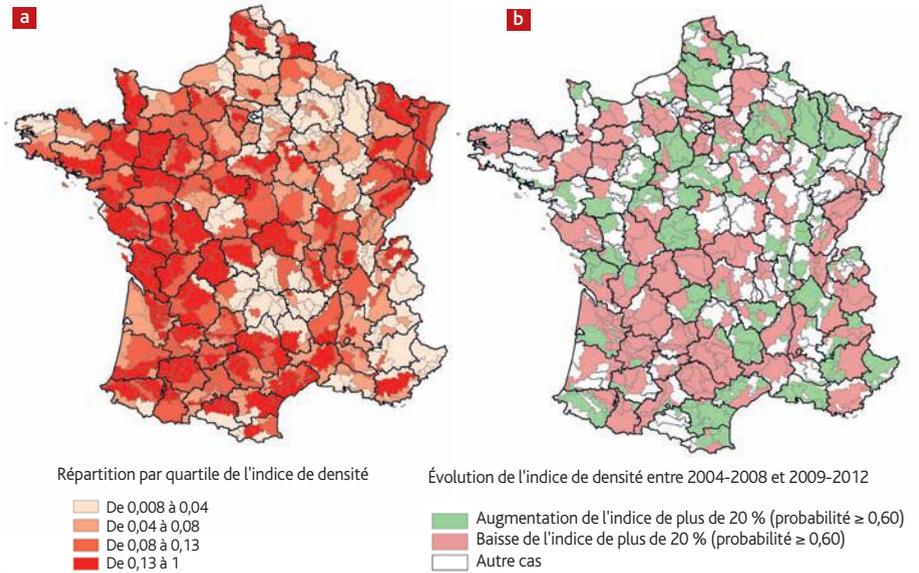
Cartes 1 Indices de densité du blaireau d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



La fouine

La fouine est également une espèce très régulièrement enregistrée dans les carnets de bord, avec 24 493 observations entre 2001 et 2010, dont 71 % d'animaux morts. Des confusions sont possibles avec la martre, mais le fait de pouvoir examiner l'animal mort les limite. Comme pour le blaireau, la gamme de variations des indices de densité est large (50 % des indices entre 0,04 et 0,13, soit un facteur multiplicatif de 3), traduisant de grandes variations entre PRA. Les indices de fouines sont les plus faibles en Auvergne, dans les zones montagneuses des Alpes et des Pyrénées, ainsi que dans les régions Champagne-Ardenne, Picardie et Haute-Normandie (*carte 2a*). En termes d'évolution entre 2004-2008 et 2009-2012, la fouine est l'une des deux espèces dont les indices de densité sont plus souvent en baisse qu'en augmentation (*tableau 1 et carte 2b*), l'autre étant le putois.

Cartes 2 Indices de densité de la fouine d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



◀ La fouine est l'une des deux espèces, avec le putois, dont les indices de densité sont plus souvent en baisse qu'en augmentation à l'échelle nationale.

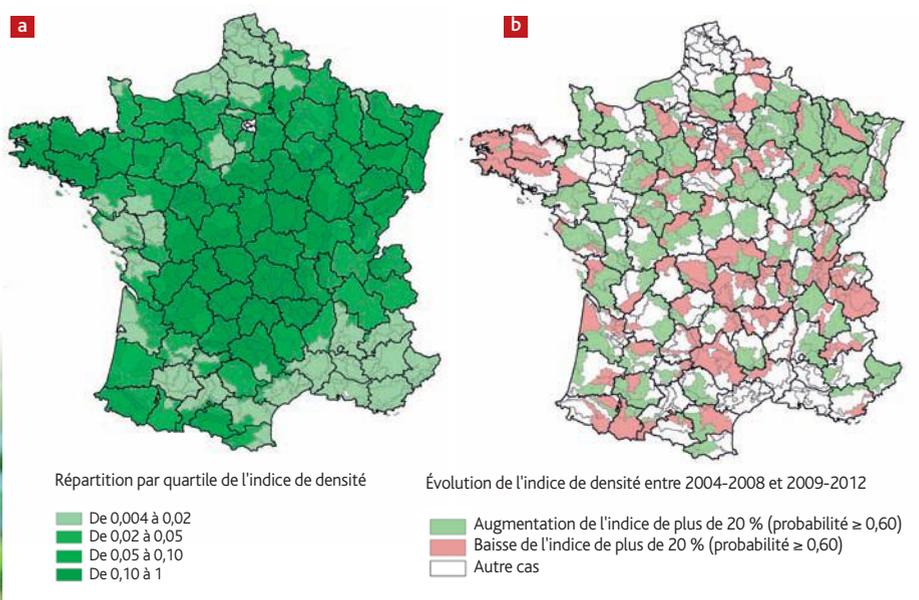


© S. Cordier

La martre

La martre est régulièrement enregistrée dans les carnets de bords (11 627 observations), et là encore les observations concernent le plus souvent des animaux morts (74 %). La gamme de variations des indices de densité est tout aussi large que pour la fouine (50 % des indices entre 0,02 et 0,10, soit un facteur multiplicatif de 5), traduisant de grandes variations entre PRA. Les indices sont les plus importants en Auvergne, Limousin et Centre (*carte 3a*). Entre 2004-2008 et 2009-2012, le nombre de PRA où les indices sont en hausse (28 %, *tableau 1 et carte 3b*) équivaut à celui où une baisse est enregistrée (26 %), et ces PRA sont réparties sur l'ensemble du territoire.

Cartes 3 Indices de densité de la martre d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



◀ Pour la martre, les indices de densité sont les plus élevés dans le Centre, l'Auvergne et le Limousin.



© P. Massit/ONCFS

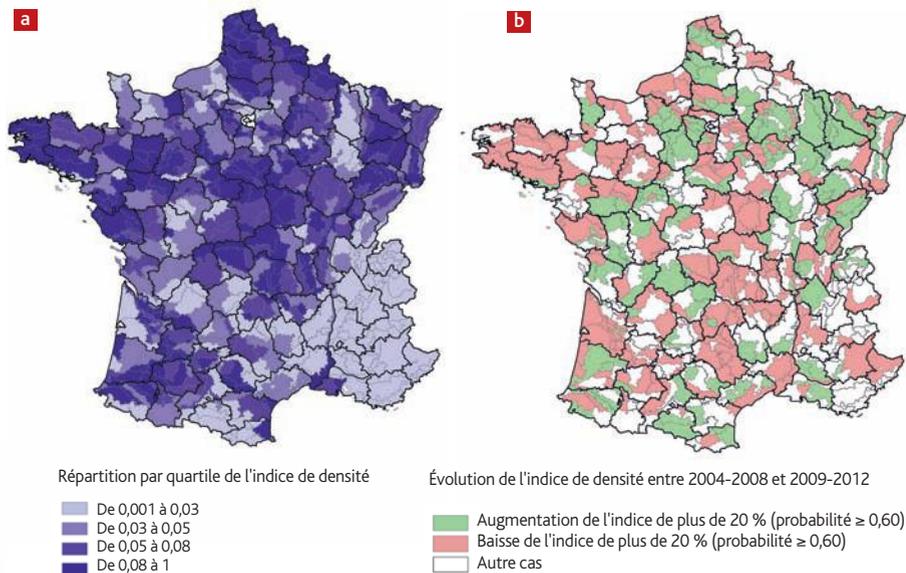
Le putois

Les observations de putois sont nettement moins abondantes que pour les espèces précédentes (7 495 observations) et concernent essentiellement des animaux morts (82 %) ; ce qui contribue à limiter les erreurs d'identification. La gamme de variations des indices de densité est plus resserrée (50 % des indices entre 0,03 et 0,08, soit un facteur multiplicatif de 2,5). Quelques PRA présentent des indices très forts en comparaison des autres : en Loire-Atlantique et Vendée, dans le Loir-et-Cher et dans le Nord-Pas-de-Calais (*carte 4a*). Entre 2004-2008 et 2009-2012, les indices indiquent une évolution plus souvent en baisse (36 % des PRA – *tableau 1* et *carte 4b*) qu'en hausse.



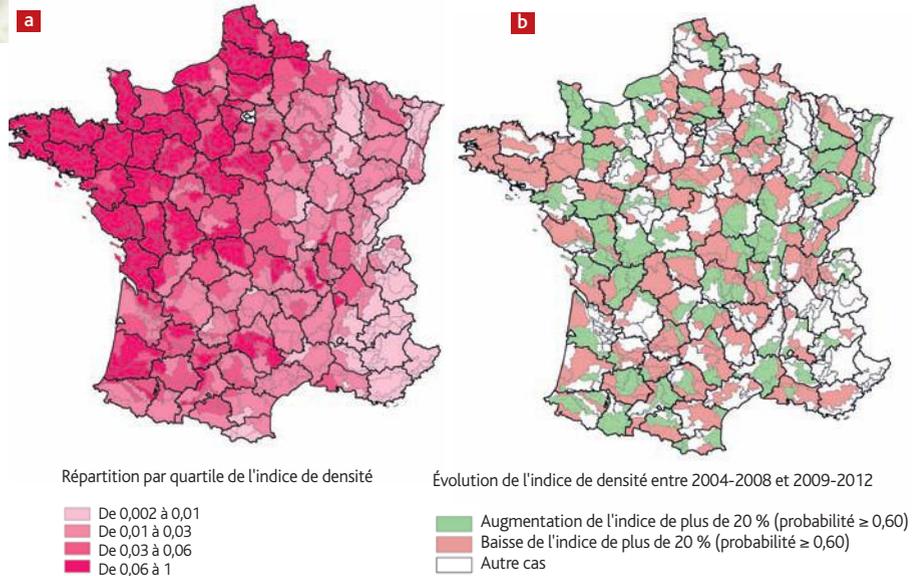
© Emi/FotoIste

Cartes 4 Indices de densité du putois d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



◀ *L'indice de densité du putois est plus élevé en Loire-Atlantique, Vendée, Loir-et-Cher et Nord-Pas-de-Calais.*

Cartes 5 Indices de densité de la belette d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



▼ *Les données sur la belette, de même que sur l'hermine, sont peu fréquentes et concernent surtout des individus vivants.*

La belette

Les données sur la belette, comme celles sur l'hermine, sont rares (respectivement 4 438 et 3 406 observations) et ces espèces sont le plus souvent observées vivantes (76 %). Compte tenu de leur petite taille, leurs probabilités de détection aux bords des routes sont faibles. Des confusions sont possibles entre les deux, mais l'hermine est plus corpulente et possède une touffe de poils noirs à l'extrémité de la queue, très facilement repérable sur un animal en mouvement. Les populations de belettes et d'hermines fluctuent naturellement dans un rapport de 1 à 10, en deux à quatre ans pour la belette et deux à six ans pour l'hermine, en fonction des cycles des populations de petits rongeurs. Les indices de densité couvrant une période de dix ans (2001-2010) comprennent probablement plusieurs cycles de fluctuations, mais nous ne connaissons pas leur échelle spatio-temporelle.

Les gammes de variations des indices obtenus sont plus petites que pour les autres espèces (50 % des indices entre 0,02 et 0,06 pour la belette et entre 0,01 et 0,04 pour l'hermine, soit des facteurs multiplicatifs de 2 à 3). Pour la belette, les indices de densité sont les plus importants en Bretagne – Pays de la Loire (Loire-Atlantique, Finistère), dans les Landes, le Loir-et-Cher et le Pas-de-Calais (*carte 5a*).

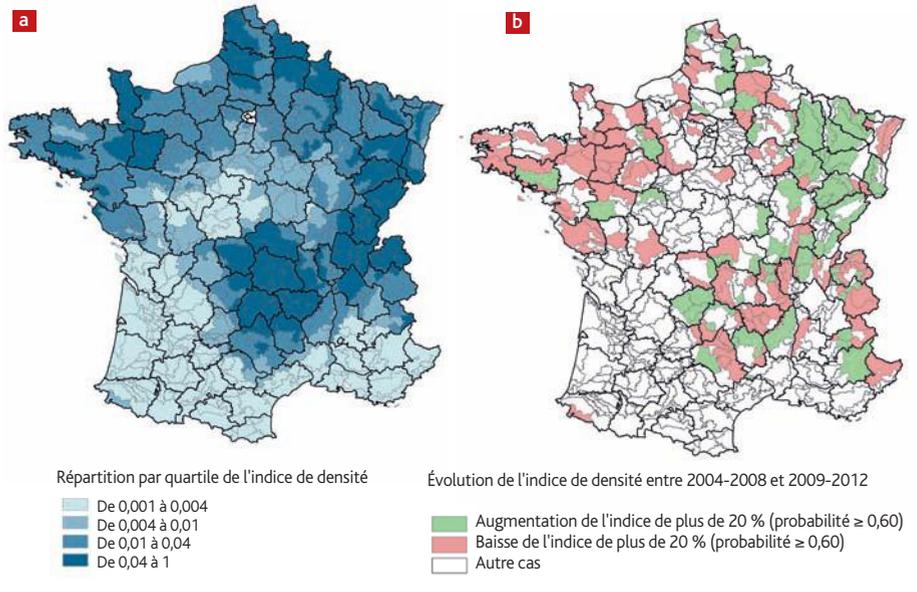


© P. Massit/ONCFS

l'hermine

Pour l'hermine, ce sont les régions de Haute-Savoie, du Massif central (Cantal et Haute-Loire) et du Doubs qui connaissent les indices les plus forts (*carte 6a*). En termes d'évolution entre 2004-2008 et 2009-2012, le nombre de PRA où les indices sont en hausse (*tableau 1*) équivaut à celui où une baisse est enregistrée, avec des fluctuations légèrement plus importantes pour la belette. Pour ces deux espèces, la proportion de PRA où il n'est pas possible de conclure à une hausse ou à une baisse indiciaire entre les deux périodes est plus importante que pour les autres (*carte 5b et 6b*), en relation probable avec de fortes fluctuations locales.

Carte 6 Indices de densité de l'hermine d'après les données « carnets de bord » de l'ONCFS collectées entre 2001 et 2010 (a) et évolution entre 2004-2008 et 2009-2012 (b).



◀ Pour l'hermine, comme pour la belette, de fortes fluctuations locales sont probables et limitent les interprétations et leurs évolutions.

Les perspectives

Vers des estimations de densités absolues

Une validation croisée a permis d'évaluer que les prédictions de ce modèle étaient satisfaisantes. Cependant, bien que cette méthode soit très commune en statistique, il est souvent préférable de mesurer la qualité de prédiction d'un modèle statistique en s'appuyant sur de nouvelles données collectées, de façon totalement indépendante. La prochaine étape consistera donc à étalonner ces abondances relatives avec des densités mesurées sur le terrain par un autre type de protocole.

Mieux quantifier l'effort de prospection

Notre mesure de l'effort de prospection est très simple. Un moyen de valider cette mesure serait de collecter des données auprès d'un réseau d'agents volontaires, qui fourniraient un rapport plus détaillé de leur activité à des fins de modélisation de l'effort d'observation.

Le passage à la saisie en ligne

Les résultats de cette étude montrent tout l'intérêt de la collecte de données concernant certaines espèces discrètes, telles que les mustélidés. L'analyse montre également toute l'importance de la qualité des données, le biais le plus important étant très probablement lié à l'effet observateur. Depuis 2015, les données sur les petits carnivores sont saisies sous BDBiodiv, au même titre que d'autres espèces. Pour les petits et méso-carnivores, il est demandé de préciser le numéro d'immatriculation du véhicule. Cette information est indispensable pour pouvoir relier les observations au kilométrage annuel de véhicule, et donc pouvoir produire des cartes actualisées avec ces indices de densité.

En conclusion

Le carnet de bord de l'ONCFS reste actuellement le meilleur outil de connaissance de la présence des mustélidés à l'échelle nationale. Les données récoltées sont simples mais se distinguent de celles de la science participative sur deux points essentiels. Il existe une mesure de l'effort de prospection

pour une des catégories (les animaux morts), et le réseau d'observateurs est un réseau de professionnels formés. La fiabilité des indices de densité obtenus repose sur une condition *sine qua non* : que toutes les observations soient correctement consignées.

Remerciements

Les données collectées reposent entièrement sur le travail des agents de l'ONCFS : agents des services départementaux, des DIR et de la DRE.

Les cellules techniques et/ou le secrétariat des DIR ont assuré la saisie des données depuis 2004 et contribué à l'animation du projet. ●

Bibliographie

- Calenge, C., Chadoeuf, J., Giraud, C., Huet, S., Julliard, R., Monestiez, P., Piffady, J., Pinaud, D. & Ruetten, S. 2015. The spatial distribution of Mustelidae in France. *PLoS ONE* 10(3): e0121689. doi:10.1371/journal.pone.0121689.