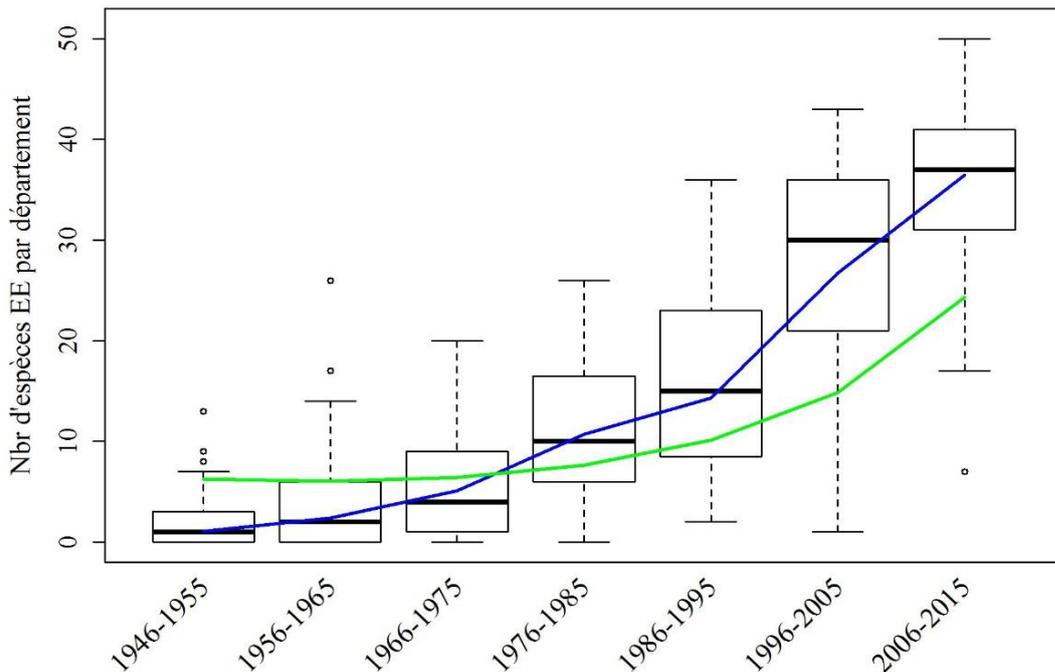




## Service du Patrimoine Naturel

Julien TOUROULT, Isabelle WITTÉ, Jessica THÉVENOT

Avec une contribution de :  
Arnaud ALBERT (FCBN) et Frédéric GOSSELIN (IRSTEA)



## Construction d'un indicateur d'évolution de la distribution des espèces exotiques envahissantes en France métropolitaine



## Le Service du Patrimoine Naturel (SPN) Inventorier - Gérer - Analyser - Diffuser



**SERVICE DU  
PATRIMOINE NATUREL**

Au sein de la direction de la recherche, de l'expertise et de la valorisation (DIREV), le Service du Patrimoine Naturel développe la mission d'expertise confiée au Muséum national d'Histoire naturelle pour la connaissance et la conservation de la nature. Il a vocation à couvrir l'ensemble de la thématique biodiversité (faune/flore/habitat) et géodiversité au niveau français (terrestre, marine, métropolitaine et ultra-marine). Il est chargé de la mutualisation et de l'optimisation de la collecte, de la synthèse et de la diffusion d'informations sur le patrimoine naturel.

Placé à l'interface entre la recherche scientifique et les décideurs, il travaille de façon partenariale avec l'ensemble des acteurs de la biodiversité afin de pouvoir répondre à sa mission de coordination scientifique de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (code de l'environnement : L411-5).

**Un objectif** : contribuer à la conservation de la Nature en mettant les meilleures connaissances à disposition et en développant l'expertise.

En savoir plus : <http://www.spn.mnhn.fr>

Directeur : Jean-Philippe SIBLET

Adjoint au directeur en charge des programmes de connaissance : Laurent PONCET

Adjoint au directeur en charge des programmes de conservation : Julien TOUROULT



Porté par le SPN, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du SINP et de l'Observatoire National de la Biodiversité.

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de mutualiser au niveau national ce qui était jusqu'à présent éparpillé à la fois en métropole comme en outre-mer et aussi bien pour la partie terrestre que pour la partie marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance, l'expertise et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : <http://inpn.mnhn.fr>

**Programme/Projet :**

Espèces exotiques envahissantes  
Observatoire national de la Biodiversité

Convention MEEM

**Production de l'indicateur :** Julien TOUROULT, Isabelle WITTÉ, Jessica THÉVENOT

La conception de l'indicateur a été discutée et améliorée en groupe de travail indicateur de l'ONB, groupe piloté par Luc Mauchamp (MEEM - DEB) et Antoine Lévêque (MEEM – SoeS)

**Coordination :** Julien TOUROULT

**Rédaction :** Jessica THÉVENOT, Isabelle WITTE, Julien TOUROULT

**Sélection des taxons :** Jessica THÉVENOT, Arnaud ALBERT (FCBN)

**Cadrage thématique :** Jessica THÉVENOT, Julien TOUROULT

**Analyses statistiques et résultats :** Isabelle WITTE, avec des échanges avec Frédéric GOSSELIN (IRSTEA)

**Relecture :** Julien TOUROULT, Guillaume GIGOT (SPN), Arnaud ALBERT (FCBN)

**Référence du rapport conseillée :** Touroult, J., Witté, I. & Thévenot, J. 2016. Construction d'un indicateur d'évolution de la distribution des espèces exotiques envahissantes en France métropolitaine. Rapport SPN 2016-90, Paris, 20 p.

<b>I/ INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>II/ MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>5</b>
OBJECTIF ET PRINCIPE GLOBAL DE L'INDICATEUR .....	5
CHOIX DES ESPECES : UN PANEL D'EEE.....	6
<i>LISTE DES ESPECES ANIMALES RETENUES POUR L'INDICATEUR .....</i>	<i>7</i>
<i>LISTE DES ESPECES VEGETALES RETENUES POUR L'INDICATEUR.....</i>	<i>8</i>
SELECTION ET MISE EN FORME DES DONNEES .....	9
<i>Données sources.....</i>	<i>9</i>
<i>Restriction des données.....</i>	<i>9</i>
<i>Données de richesses en EEE par période .....</i>	<i>9</i>
<i>Evaluation de l'effort de connaissance.....</i>	<i>9</i>
<b>III/ RESULTATS .....</b>	<b>10</b>
ETAT DES LIEUX DE LA DISTRIBUTION DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES .....	10
<i>Richesse en espèces à partir des 84 espèces de référence .....</i>	<i>10</i>
<i>Richesse en espèces EEE à partir des 37 EEE de la réglementation européenne .....</i>	<i>11</i>
<i>Effort de connaissance : nombre de données disponibles.....</i>	<i>12</i>
MODELISATION DE LA TENDANCE DES EEE EN FRANCE METROPOLITAINE .....	12
<i>Développement du modèle .....</i>	<i>13</i>
<i>Calcul de l'indicateur .....</i>	<i>13</i>
RESULTATS .....	14
<i>Modèle sur les 84 espèces EE de référence .....</i>	<i>14</i>
CONCLUSION 1 .....	15
<i>Modèle sur les 37 espèces EE du règlement européen .....</i>	<i>15</i>
CONCLUSION 2 .....	16
<b>IV/ DISCUSSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>16</b>
<i>Définition retenue de l'indicateur.....</i>	<i>16</i>
<i>Limites de l'indicateur .....</i>	<i>17</i>
PERSPECTIVES .....	18

## I/ INTRODUCTION

L'introduction d'espèces exotiques de manière volontaire ou involontaire par l'homme sur un nouveau territoire peut parfois s'avérer impactant pour la biodiversité, la santé ou l'économie (Genovesi et Shine, 2004)<sup>1</sup>. Ces espèces introduites peuvent, pour certaines d'entre-elles, devenir exotiques envahissantes (invasives). Ce phénomène est considéré par la communauté scientifique au niveau mondial comme une cause importante de perte de biodiversité (Convention sur la Biodiversité Biologique). En France, la thématique des **Espèces Exotiques Envahissantes (EEE)** est prise en compte au sein de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) du Ministère de l'Environnement et correspond à un engagement fort du Grenelle de l'environnement (art. 23 de la Loi Grenelle du 3 août 2009). En complément, le règlement n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes prévoit une liste d'espèces préoccupantes pour l'Union européenne. Afin de comprendre le phénomène de progression des EEE sur le territoire, le Service du Patrimoine Naturel (SPN) du MNHN, en collaboration avec la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux (FCBN) et l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), propose de construire un indicateur sur les EEE en métropole sur la base des données présentes dans l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN). L'objectif de cet indicateur est de connaître **l'évolution temporelle de l'étendue spatiale** des espèces introduites en métropole afin de mesurer l'ampleur du phénomène.

## II/ MATERIEL ET METHODE

### Objectif et principe global de l'indicateur

L'indicateur doit documenter la dynamique spatio-temporelle (expansion, stabilisation, recul éventuel) d'un large panel d'espèces reconnues pour leur caractère invasif, à partir de données d'observation de sources multiples, sans protocole standardisé à l'échelle de l'ensemble des données.

La méthode de calcul doit tenir compte de la qualité des données afin de détecter un signal significatif de progression des EEE et non une progression des prospections.

Pour cela les choix suivants ont été faits *a priori*, puis testés et ajustés :

---

<sup>1</sup> Genovesi M-P & Shine C. 2004. Stratégie européenne relative aux espèces exotiques envahissantes. Sauvegarde de la nature, n°137. Strasbourg, Editions du Conseil de l'Europe.

- Travailler par **département**, échelle (grain) assez large ce qui limite les risques de faux négatif (une espèce a de forte chance d'être signalée au moins une fois par département) ;
- Travailler par **pas de temps** assez large (5 ou 10 ans), pour la même raison ;
- Travailler sur un **panel varié** d'espèces (groupes taxonomiques et milieux), qui ont un statut invasif documenté et qui sont plutôt bien connues, afin d'éviter les débats sur le statut des espèces et pour être représentatif du phénomène (éviter de ne suivre que des espèces aquatiques ; éviter des espèces dont la distribution n'est pas bien représentée dans les données disponibles dans l'INPN) ;
- Estimer l'**effort de prospection** par un indice indirect et l'intégrer dans un modèle afin de ne retenir pour l'indicateur que l'effet imputable à la variation « réelle » de la distribution de ces espèces.

**L'indicateur porte ainsi sur une progression moyenne du nombre d'EEE par département et par période.**

On suppose que le nombre moyen d'EEE signalés par département sur une période de temps considérée dépend à la fois du nombre réel d'EEE dans ce département et de l'effort de prospection de ces espèces. On cherche ensuite à séparer ces deux composantes à l'aide d'un modèle, en prenant comme indicateur de l'effort de prospection le nombre total de données signalées dans le département pour la période considérée.

### Choix des espèces : un panel d'EEE

L'analyse porte sur un pool d'espèces introduites de faune et de flore considérées comme invasives<sup>2</sup>, présentes sur le territoire métropolitain ou inscrites sur le projet de liste de la Commission européenne (art. 4 du règlement n° 1143/2014). Ces espèces sont référencées dans des bases de données nationales (Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN)), ou internationales (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE), European Alien Species Information Network (EASIN), Global Invasive Species Database (GISD)). Le choix des taxons porte sur les critères suivants, permettant d'obtenir un panel varié :

- Espèces à impact documenté en France ou dans d'autres territoires (selon les bases de données relatives aux EEE) ;
- Une diversité de groupes taxonomiques, vertébrés, invertébrés et flore ;
- Des espèces terrestres et des espèces aquatiques ;
- Un stade d'expansion en France indifférent (émergent, moyennement ou largement répandu).

A partir de la liste des EEE et des espèces introduites du référentiel national taxonomique (TAXREF V9), une première liste de 15 taxons de faune a été sélectionnée par expertise fondée sur les critères évoqués plus haut. Cette liste a été complétée pour la flore par la FCBN et le réseau des Conservatoires botaniques nationaux à partir des listes d'EEE établies dans les territoires d'agrément ; en retenant les espèces qui figurent sur le plus de listes régionales complétée d'une expertise selon les critères listés plus haut. **La liste des EEE de l'Union**

---

<sup>2</sup> Pour simplifier le langage, nous utiliserons le terme d'EEE

européenne (Règlement UE 1143/2014 : liste validée mais non encore publiée à l'heure actuelle) a également été entièrement reprise, de même que certaines des espèces en cours de discussion pour compléter cette liste européenne. Cette liste contient des espèces présentes ou absentes (voir disparu<sup>3</sup>) sur le territoire métropolitain.

### LISTE DES ESPECES ANIMALES RETENUES POUR L'INDICATEUR

N°	CD_Nom	Groupe	Espèce
1	_	Mammifère	Bison américain, <i>Bison bison</i> (Linnaeus, 1758)
2	443629	Mammifère	Coati roux, <i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)
3	61204	Mammifère	Ecureuil de Corée, <i>Tamias sibiricus</i> (Laxmann, 1769)
4	61174	Mammifère	Ecureuil de Pallas, <i>Callosciurus erythraeus</i> (Pallas, 1779)
5	_	Mammifère	Ecureuil gris, <i>Sciurus carolinensis</i> Gmelin, 1788
6	_	Mammifère	Ecureuil fauve, <i>Sciurus niger</i> Linnaeus, 1758
7	60582	Mammifère	Chien viverrin, <i>Nyctereutes procyonoides</i> (Gray, 1834)
8	_	Mammifère	Mangouste de Java, <i>Herpestes javanicus</i> É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818
9	61043	Mammifère	Muntjac de Chine, <i>Muntiacus reevesii</i> (Ogilby, 1839)
10	61667	Mammifère	Ragondin, <i>Myocastor coypus</i> (Molina, 1782)
11	61448	Mammifère	Rat Musqué, <i>Ondatra zibethicus</i> (Linnaeus, 1766)
12	60822	Mammifère	Raton Laveur, <i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)
13	199413	Oiseau	Corbeau familier, <i>Corvus splendens</i> Vieillot, 1817
14	2823	Oiseau	Erismature rousse, <i>Oxyura jamaicensis</i> (Gmelin, 1789)
15	2687	Oiseau	Ibis sacré, <i>Threskiornis aethiopicus</i> (Latham, 1790)
16	3448	Oiseau	Perruche à Collier, <i>Psittacula krameri</i> (Scopoli, 1769)
17	459618	Amphibien	Grenouille taureau, <i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802),
18	79265	Amphibien	Xénope lisse, <i>Xenopus laevis</i> (Daudin, 1803)
19	77424 + 77425	Reptile	Trachémyde écrite, <i>Trachemys scripta</i> (Schoepff, 1792) + Tortue de Floride, <i>Trachemys scripta elegans</i> (Wied, 1839)
20	67415	Poisson	Goujon asiatique, <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)
21	_	Poisson	Goujon de l'Amour, <i>Perccottus glenii</i> Dybowski, 1877
22	69338	Poisson	Perche-soleil, <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)
23	67571	Poisson	Poisson-chat, <i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)
24	67585	Poisson	Silure glane, <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758,
25	17646	Crustacé	Ecrevisse américaine, <i>Orconectes limosus</i> (Rafinesque, 1817)
26	_	Crustacé	Ecrevisse commune, <i>Orconectes virilis</i> (Hagen, 1870)
27	162667	Crustacé	Ecrevisse signal, <i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)
28	162668	Crustacé	Ecrevisse de Louisiane, <i>Procambarus clarkii</i> (Girard, 1852)
29	_	Crustacé	Ecrevisse marbrée, <i>Procambarus sp.fallax virginialis</i> (Hagen, 1870) (écrevisse marbrée)
30	18515	Crustacé marin	Crabe chinois, <i>Eriocheir sinensis</i> H. Milne-Edwards, 1853
31	163458	Mollusque	Moule zébrée <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)
32	459325	Insecte	Coccinelle asiatique, <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)
33	433589 + 433590	Insecte	Frelon asiatique, <i>Vespa velutina</i> Lepeletier, 1836 + <i>Vespa velutina nigrithorax</i> du Buysson, 1905
34	645061	Insecte	Pyrale du buis, <i>Cydalima perspectalis</i> (Walker, 1859)

<sup>3</sup> Taxon introduit qui n'est plus présent à l'état sauvage dans la zone géographique considérée.

## LISTE DES ESPECES VEGETALES RETENUES POUR L'INDICATEUR

N°	CD_Nom	Famille	Espèce
1	89212	Aizoacées	Griffe de sorcière, <i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E.Br., 1926
2	160257	Apiacées	Berce de Perse, <i>Heracleum persicum</i> Desf. ex Fisch., 1841
3	_	Apiacées	Berce de Sosnowsky, <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden., 1944
4	101286	Apiacées	Berce du Caucase, <i>Heracleum mantegazzianum</i> Sommier & Levier, 1895
5	105433	Aracées	Lentille d'eau minuscule, <i>Lemna minuta</i> Kunth, 1816
6	610602	Aracées	Lysichiton américain, <i>Lysichiton americanus</i> Hultén & H.St.John
7	103139	Araliacées	Hydrocotyle fausse renoncule, <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f., 1782
8	82080	Astéracées	Ambroise à feuilles d'Armoise, <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L., 1753
9	448412	Astéracées	Aster des jardins, <i>Symphyotrichum novi-belgii</i> (L.) G.L.Nesom, 1995
10	125330	Astéracées	Aster lancéolé, <i>Symphyotrichum lanceolatum</i> (Willd.) G.L.Nesom, 1995
11	85474	Astéracées	Baccharis à feuilles d'arroche, <i>Baccharis halimifolia</i> L., 1753
12	85957	Astéracées	Bident feuillé, <i>Bidens frondosa</i> L., 1753
13	96749	Astéracées	Conyze du Canada, <i>Erigeron canadensis</i> L., 1753
14	446978	Astéracées	Grande camomille, <i>Parthenium hysterophorus</i> L., 1753
15	122630	Astéracées	Séneçon sud-africain, <i>Senecio inaequidens</i> DC., 1838
16	124164	Astéracées	Tête d'or, <i>Solidago canadensis</i> L., 1753
17	124168	Astéracées	Tête d'or, Solidage géant, <i>Solidago gigantea</i> Aiton, 1789
18	101055	Astéracées	Topinambour, <i>Helianthus tuberosus</i> L., 1753
19	96814	Astéracées	Vergerette de Barcelone, <i>Erigeron sumatrensis</i> Retz., 1810
20	103557	Balsaminacées	Balsamine à petites fleurs, <i>Impatiens parviflora</i> DC., 1824
21	103547	Balsaminacées	Balsamine de l'Himalaya, <i>Impatiens glandulifera</i> Royle, 1833
22	103543	Balsaminacées	Impatience de Balfour, <i>Impatiens balfourii</i> Hook.f., 1903
23	610664	Cabombacées	Cabomba de Caroline, <i>Cabomba caroliniana</i> A.Gray, 1848
24	117692	Ericacées	Rhododendron des parcs, <i>Rhododendron ponticum</i> L., 1762
25	_	Fabacées	Kudzu, <i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi ( <i>Pueraria montana</i> var. <i>lobata</i> (Willd.) Sanjappa & Pradeep)
26	117860	Fabacées	Robinier faux-acacia, <i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753
27	109141	Haloragacées	Myriophylle aquatique, <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc., 1973
28	95980	Hydrocharitacées	Élodée du Canada, <i>Elodea canadensis</i> Michx., 1803
29	95823	Hydrocharitacées	Élodée dense, <i>Egeria densa</i> Planch., 1849
30	95983	Hydrocharitacées	Élodée à feuilles étroites, <i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H.St.John, 1920
31	104805	Hydrocharitacées	Lagarosiphon élevé, <i>Lagarosiphon major</i> (Ridl.) Moss, 1928
32	106742	Onagracées	Jussie à grandes fleurs, <i>Ludwigia grandiflora</i> (Michx.) Greuter & Burdet, 1987
33	106748	Onagracées	Jussie rampante, <i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven, 1963
34	113418	Phytolaccacées	Raisin d'Amérique, <i>Phytolacca americana</i> L., 1753
35	92572	Poacées	Herbe de la Pampa, <i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn., 1900
36	112483	Poacées	Paspale à deux épis, <i>Paspalum distichum</i> L., 1759
37	112482	Poacées	Paspale dilaté, <i>Paspalum dilatatum</i> Poir., 1804
38	117507	Polygonacées	Renouée de Bohême, <i>Reynoutria x bohémica</i> Chrtek & Chrtkova, 1983
39	117503	Polygonacées	Renouée du Japon, <i>Reynoutria japonica</i> Houtt., 1777
40	_	Polygonacées	Renouée perfoliée, <i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H. Gross ( <i>Polygonum perfoliatum</i> L.)
41	117505	Polygonacées	Renouée de Sakhaline, <i>Reynoutria sachalinensis</i> (F.Schmidt) Nakai, 1922
42	95829	Pontédériacées	Jacinthe d'eau, <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms, 1883
43	116137	Rosacées	Cerisier tardif, <i>Prunus serotina</i> Ehrh., 1788
44	116089	Rosacées	Laurier-cerise, <i>Prunus laurocerasus</i> L., 1753
45	85469	Salviniacées	Azolla fausse-fougère, <i>Azolla filiculoides</i> Lam., 1783
46	79766	Sapindacées	Érable negundo, <i>Acer negundo</i> L., 1753
47	86869	Scrophulariacées	Buddleja à papillons, <i>Buddleja davidii</i> Franch., 1887
48	80824	Simaroubacées	Faux-vernis du Japon, <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle, 1916
49	94489	Solanacées	Stramoine, <i>Datura stramonium</i> L., 1753
50	112463	Vitacées	Vigne-vierge commune, <i>Parthenocissus inserta</i> (A.Kern.) Fritsch, 1922

Certaines espèces du règlement européen n° 1143/2014 ne sont pas présentes en France. Elles sont cependant incluses dans l'indicateur qui doit aussi traduire l'arrivée et l'expansion de nouvelles espèces.

## Sélection et mise en forme des données

### Données sources

Les données de distribution des espèces exotiques envahissantes (EEE) ainsi que les données permettant d'estimer les niveaux de connaissance sont issues de la base de données de l'INPN (<https://inpn.mnhn.fr/accueil/recherche-de-donnees/inventaires>) indexée par département. Elles proviennent de nombreux jeux de données diffusés dans l'INPN qui assure le rôle de plate-forme nationale du Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP). Certaines espèces font l'objet de programmes de suivis, dédiés ou non ; d'autres données sont dites « opportunistes ». L'extraction des données a eu lieu le 11 février 2016. L'INPN contient notamment le vaste jeu de données sur la flore produites par le réseau des conservatoires botaniques nationaux ; des inventaires de répartition ; des données de programmes de suivis etc.

### Restriction des données

L'étude est restreinte aux données de **France métropolitaine** de 1946 à 2015. Toutes les données de présence sont extraites de la liste de référence de 84 espèces (incluant les 37 espèces de la réglementation européenne). Dans le cas des deux sous-espèces (*Vespa velutina nigrithorax* et *Trachemys scripta elegans*), les données disponibles au niveau de l'espèce (*Vespa velutina* et *Trachemys scripta*) ont également été incluses.

### Données de richesses en EEE par période

**Des périodes de 10 ans<sup>4</sup>** sont définies jusqu'à l'année 2015. Pour chacune de ces périodes, on dénombre les espèces (parmi le panel de 84 espèces) observées dans chaque département. Ces « richesses » en espèces par département et par période de temps sont utilisées comme variable quantitative de la progression des espèces exotiques envahissantes en France métropolitaine.

Le sous-ensemble des données concernant les 37 espèces de la réglementation européenne a également été analysé séparément en utilisant les mêmes méthodes.

### Evaluation de l'effort de connaissance

**L'effort de connaissance (prospection ou remontée des informations)** pour chaque département est une variable qui pourrait *a priori* fortement influencer le nombre moyen d'EEE signalés dans une période donnée. Cet effet confondant a été pris en compte par la variable quantitative suivante : pour une période de 10 ans et un département, l'intensité d'échantillonnage est évaluée en mesurant le **nombre de données disponibles pour l'ensemble des taxons de l'INPN** en excluant les taxons exotiques ou envahissants (statuts TAXREF I et J). Plus il y a de données dans un département dans la période, plus la prospection naturaliste a

---

<sup>4</sup> Des périodes de 5 ans ont aussi été testées. Les résultats étaient proches et le choix a été fait de retenir 10 ans, qui est plus robuste grâce à une plus forte quantité de données.

été intense ou régulière au cours de la période. Cette hypothèse peut aussi se formuler en termes d'effort de partage des données : plus il y a de données accessibles dans l'INPN, plus l'effort de partage a été important. La variable (proxy) mesure simultanément ces deux phénomènes, qui sont censés avoir le même type d'effet confondant sur le nombre d'EEE signalé (plus il y a de prospection et plus il y a de données partagées, plus on a de chance d'avoir des EEE signalées, toutes choses égales par ailleurs).

### III/ RESULTATS

#### Etat des lieux de la distribution des espèces exotiques envahissantes

Des cartes de synthèse pour deux grandes périodes<sup>5</sup> « ancienne » (1946-1985) et « récente » (1986-2015) sont illustrant l'état général de la distribution des espèces et de l'effort de connaissance en France métropolitaine.

#### Richesse en espèces à partir des 84 espèces de référence

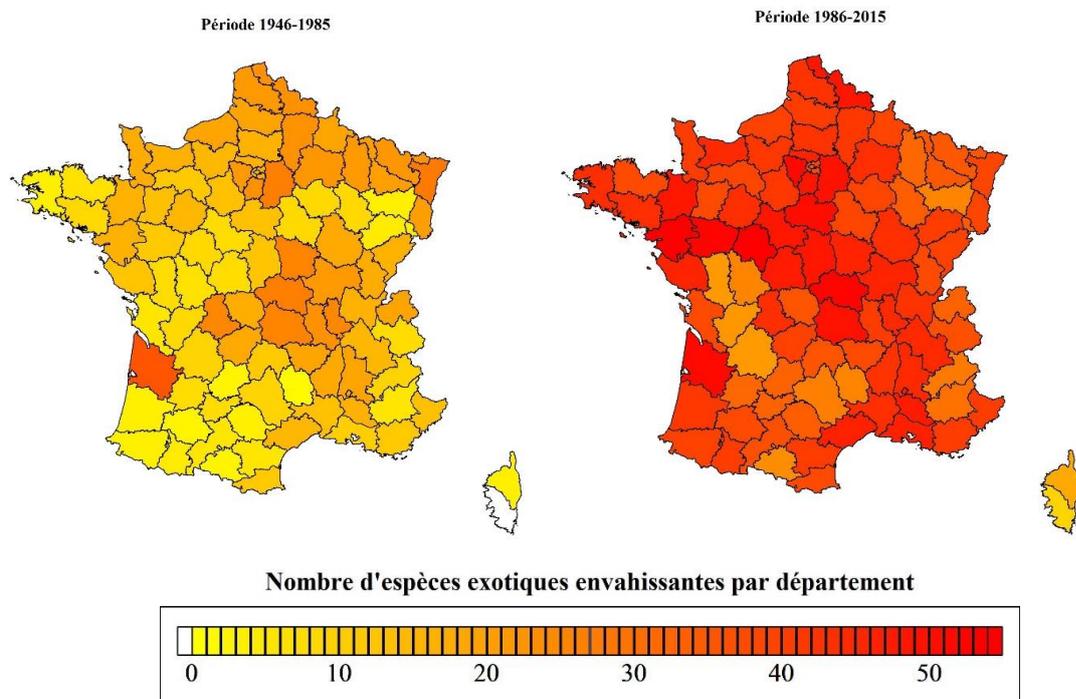


Figure 1 : Nombre d'espèces (issues du panel de 84 espèces, somme sur la période des espèces observées au moins une fois) ayant été observées dans les départements français de métropole entre 1946 et 1985 et entre 1986 et 2015. Ces cartes ne présentent pas de correction de l'effort de connaissance différent dans les deux périodes.

Pour le cumul des données sur des grandes périodes « ancienne » versus « récente » (cf. fig. 1) :

- Période 1946-1985 : de 0 espèces en Corse-du-Sud (minium départemental) à 36 espèces en Gironde (maximum départemental pour la période) ;

<sup>5</sup> Le choix des périodes tient compte de l'inflexion constatée dans la vitesse d'expansion des EEE (cf. courbe p. 14) et la période plus longue compense en partie la moindre quantité de données sur cette période ancienne.

- Période 1986-2015 : de 9 espèces en Corse-du-Sud à 54 espèces en Indre-et-Loire.

On note une nette différence de richesse entre les deux grandes périodes choisies (Fig. 1). Après 1985, le nombre d'espèces de la liste des 84 taxons sélectionnés dépasse 40 espèces pour la majorité des départements continentaux.

### Richesse en espèces EEE à partir des 37 EEE de la réglementation européenne

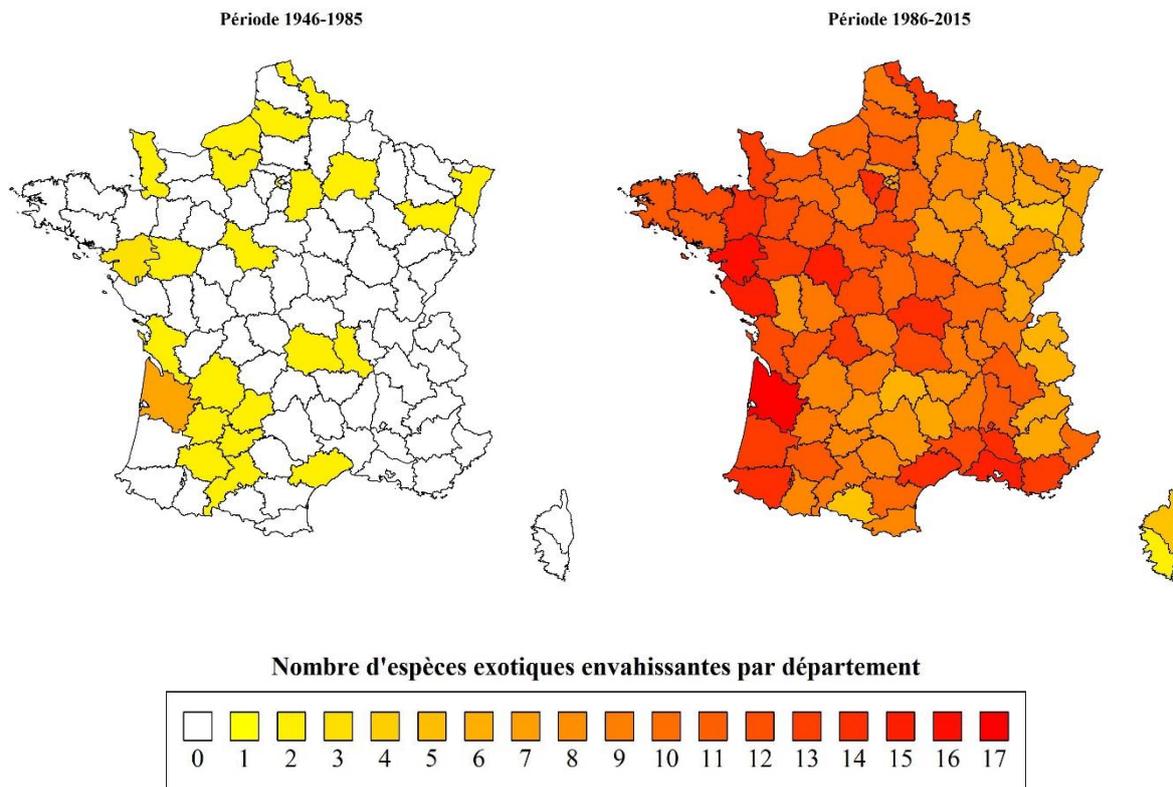


Figure 2 : Nombre d'espèces (issues des 37 espèces de la réglementation européenne ; somme sur la période des espèces observées au moins une fois) ayant été observées dans les départements français de métropole entre 1946 et 1985 et entre 1986 et 2015. Ces cartes ne présentent pas de correction de l'effort de connaissance différent dans les deux périodes.

- Période 1946-1985 : de 0 espèces dans 72 départements à 6 espèces en Gironde
  - Période 1986-2015 : de 1 espèces en Corse-du-Sud à 17 espèces en Gironde
- (cf. fig 2)

On note une nette différence de richesse en espèces de la liste de l'UE entre les deux grandes périodes considérées. Après 1985, on constate que de nombreux départements comptabilisent plusieurs des espèces de la liste européenne.

### Effort de connaissance : nombre de données disponibles

Le nombre de données disponibles traduit un effort de connaissance (prospection de terrain et mise à disposition de données) par grande période (cf. fig 3) :

- Période 1946-1985 : de 7 données disponibles dans le Tarn-et-Garonne à 90 433 données disponibles dans le Puy-de-Dôme ;
- Période 1986-2015 : de 34 740 données disponibles dans le Tarn-et-Garonne à 1 496 113 données disponibles dans les Hautes-Alpes.

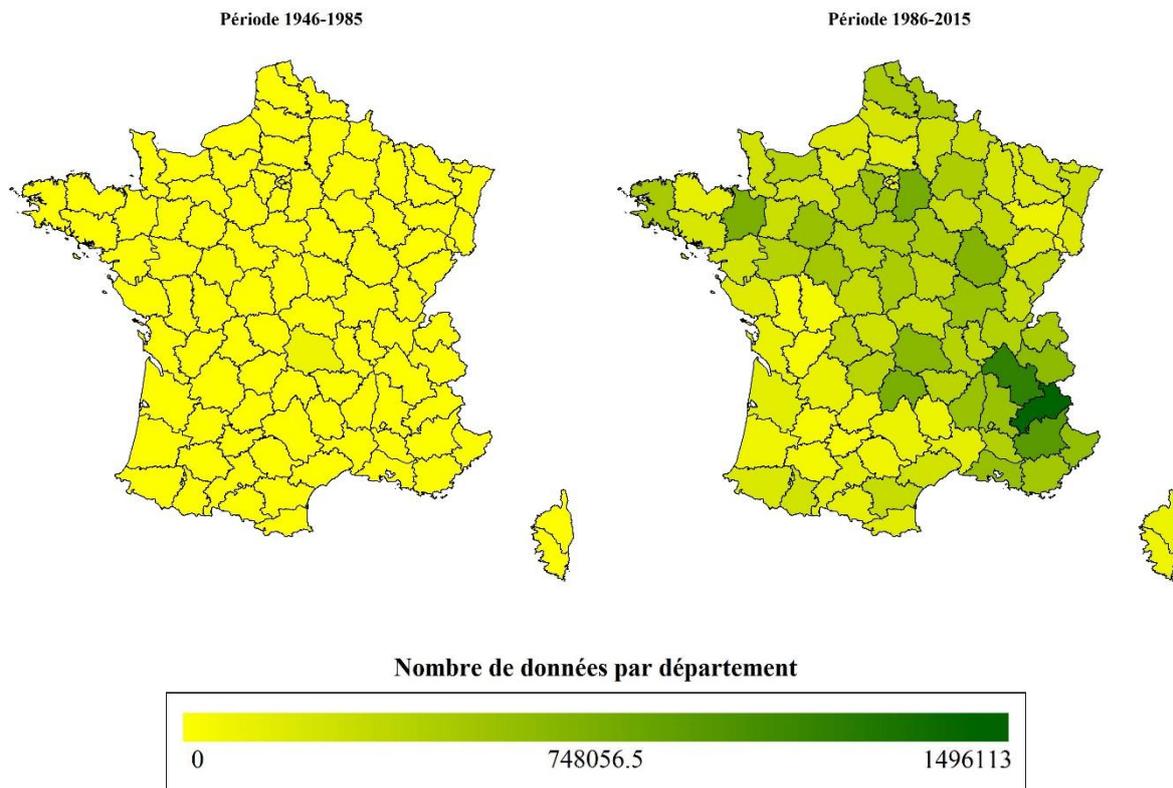


Figure 3 : Intensités d'échantillonnage en France métropolitaine pour les périodes entre 1946 et 1985 et entre 1986 et 2015

Les cartes ci-dessus illustrent bien l'effort de connaissance (cumul de la pression d'échantillonnage, effort de prospection, saisie et partage des données) sur les deux grandes périodes. Sur la première carte, en 40 ans, l'effort de connaissance semble être faible et relativement homogène entre les départements, tandis qu'une augmentation de cette pression se fait sentir sur les 20 dernières années, et s'avère plus hétérogène dans l'espace (ceci pouvant traduire la pression d'observation de terrain et l'effort de partage des données avec le SINP-INPN).

### Modélisation de la tendance des EEE en France métropolitaine

Une méthode basée sur la modélisation de la progression temporelle de la richesse moyenne en EEE dans les départements français de métropole a été utilisée pour aboutir à un indicateur pour l'ONB.

## Développement du modèle

Les données ne suivent pas une loi normale, les modèles mixtes linéaires ont donc été écartés au profit de modèles linéaires mixtes généralisés avec effet aléatoire (GLMM). Les données de richesse imposent l'utilisation de la famille Poisson avec un lien log pour rendre compte de la forme de la relation.

Au terme du processus de sélection, le modèle (1) a été considéré comme étant le plus rigoureux :

$$Y_i \sim \text{Poisson}(E(\text{RICH} \mid \text{DEPART}, \text{Obs}, \beta))$$

La prédiction de richesse en EEE au moment  $i$  suit une loi de poisson d'espérance  $E$  dépendante du département et de l'observation (variables aléatoires).

$$\log\{E(\text{RICH} \mid \text{DEPART}, \text{Obs}, \beta)\} =$$

$$\beta_0 + \beta_1 \cdot \log(\text{ECH}) + \beta_2 \cdot \text{PERIODE} + \beta_3 \cdot \text{PERIODE}^2 + \beta_4 \cdot \log(\text{ECH}) \cdot \text{PERIODE} + (1 \mid \text{DEPART}) + (1 \mid \text{Obs}) \quad (1)$$

Avec :

ECH, l'intensité d'échantillonnage (effort de connaissance) mesurée comme le nombre de données disponibles dans le département à la même période ;

PERIODE, l'intervalle de 10 ans considéré ; comme variable aléatoire :

DEPART, le département ;

et Obs qui permet de tenir compte de la sur-dispersion des données en ajoutant un effet aléatoire sur chaque mesure (couple département / Période).

Une analyse descriptive des données (observation sans *a priori* de la forme de la progression) et le test de plusieurs modèles (linéaire notamment) avec comparaison des pouvoirs explicatifs (BIC et AIC) a conduit à choisir le modèle exponentiel ci-dessus. Ce modèle pourrait changer lors d'un nouveau calcul de l'indicateur, pour tenir compte de la structure des données (par exemple, s'il y avait un ralentissement de la progression, voir un reflux).

Les valeurs de richesses en espèces par période sont calculées à partir de ce modèle (modèle complet) ainsi que la part de la progression de la richesse en espèces uniquement due à la période (modèle partiel effet période) et la part liée à l'effort de connaissance (modèle partiel effet connaissance). Ce modèle partiel permet de mettre en évidence la progression réelle de la richesse en espèces « nettoyée » de l'effet de l'augmentation de l'effort de connaissance.

## Calcul de l'indicateur

L'indicateur est calculé comme étant la pente moyenne du modèle partiel concernant l'effet période (c'est-à-dire la richesse corrigée du biais de l'effort inégal de connaissance) calculée à partir des pentes de trois périodes 1976-1985 à 1986-1995, 1986-1995 à 1996-2005 et 1996-2005 à 2006-2015, du modèle ajusté sur l'ensemble de la série de données.

Il représente ainsi la moyenne de la progression « réelle » de la richesse d'EEE de 1976 à aujourd'hui sans tenir compte de la progression apparente de la richesse liée à l'augmentation de l'effort de connaissance.

## Résultats

### Modèle sur les 84 espèces EE de référence

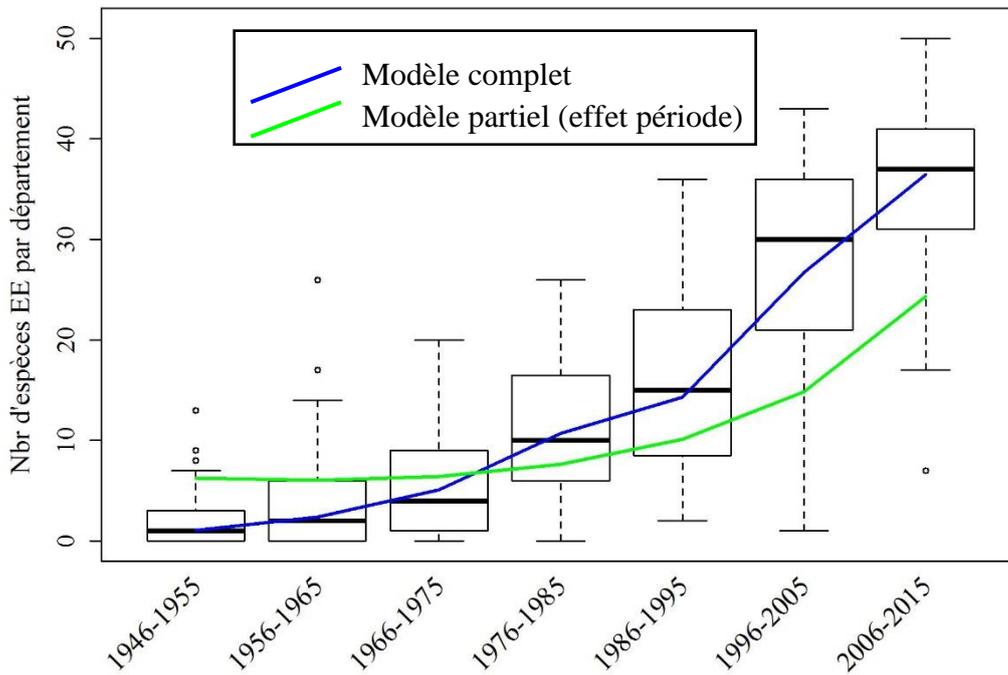


Figure 4 : Résultats du modèle de progression de la richesse en EEE sur les 84 espèces. Les boîtes à moustache représentent les données brutes (nombre d'espèces par département par décennie); la courbe bleue représente le modèle complet (modèle prédisant la valeur observée); la courbe verte représente le modèle partiel représentant la part de richesse causée uniquement par l'effet période.

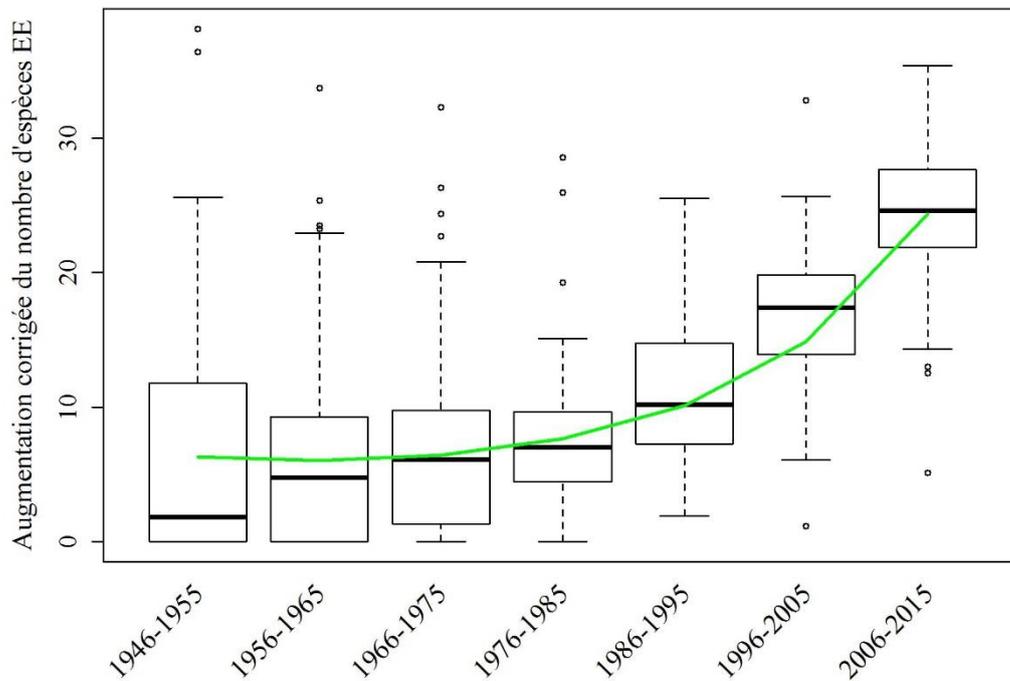


Figure 5 : Représentation du modèle partiel représentant uniquement la part de richesse causée par l'effet période. Les boîtes à moustache représentent les données brutes (nombre d'EEE par département par décennie)

corrigées pour ne représenter que la part d'augmentation de la richesse causée par l'effet période (l'effort de connaissance a été « soustrait »). La courbe verte représente le modèle partiel correspondant (progression due au temps).

### Progression moyenne des EEE par département depuis 1976

Progression de la richesse depuis 1976, sur trois intervalles, sur la base du modèle (effet temps) :

1976-1985 / 1986-1995	1986-1995 / 1996-2005	1996-2005 / 2006-2015
<b>+ 2.46</b>	<b>+ 4.76</b>	<b>+9.48</b>

Moyenne de progression sur trois périodes :  $(2,46 + 4,76 + 9,48)/3 = 5,57$

### Conclusion 1

Ces résultats permettent d'avancer que l'on gagne en moyenne, par département par période de 10 ans, 5,57 espèces de la liste de référence, sur la base d'un panel de 84 espèces.

### Modèle sur les 37 espèces EE du règlement européen

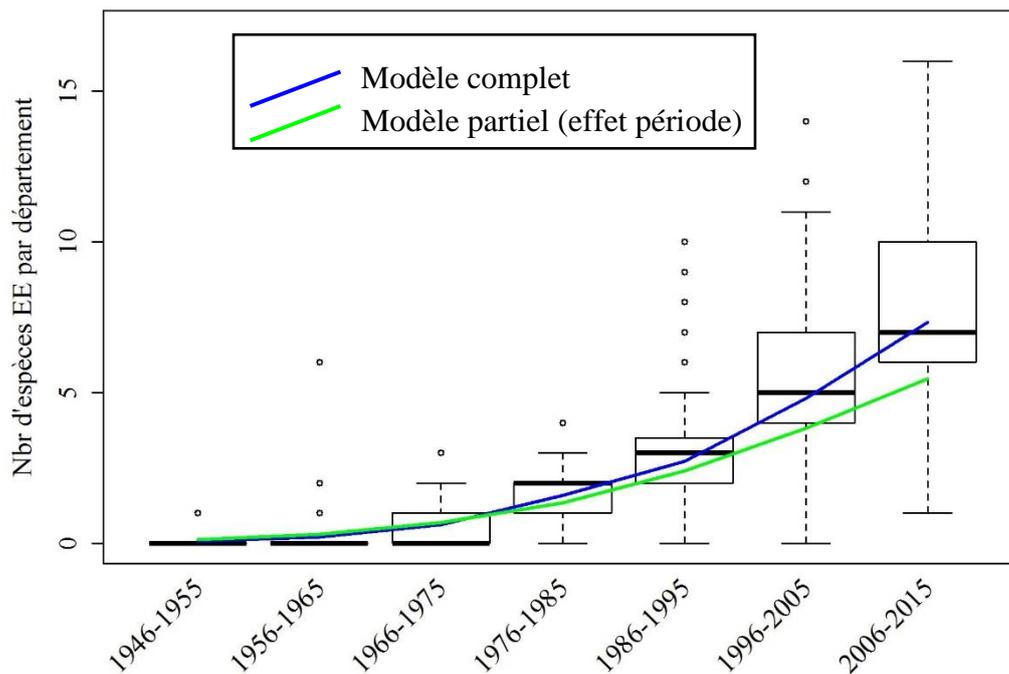


Figure 6 : Résultats du modèle de progression de la richesse en espèces EE sur les 37 espèces de la réglementation européenne.. Les boîtes à moustache représentent les données brutes (nombre d'espèces par département par décennie) ; la courbe bleue représente le modèle complet (modèle prédisant la valeur observée) ; la courbe verte représente le modèle partiel représentant la part de richesse causée uniquement par l'effet période.

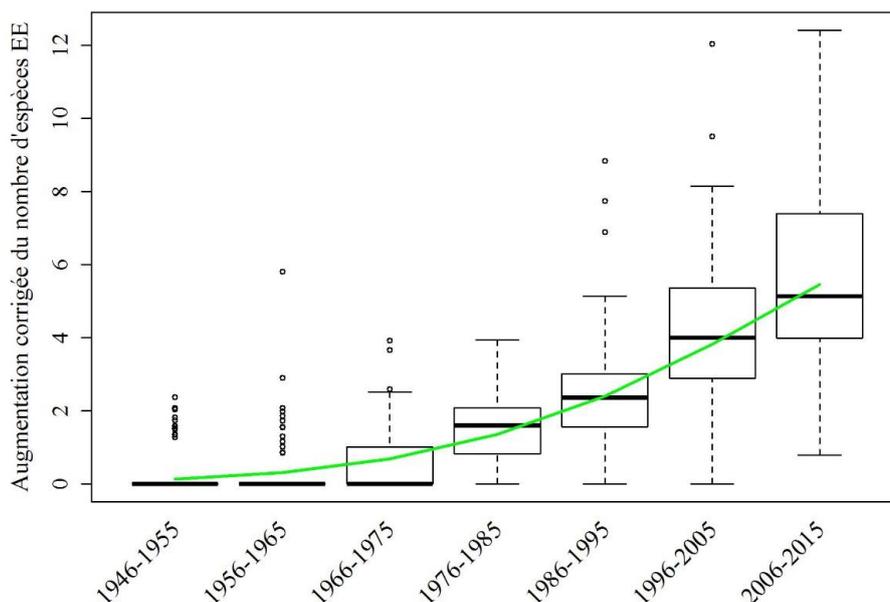


Figure 7 : Représentation du modèle partiel représentant la part de richesse causée uniquement par l'effet période sur les 37 espèces de la réglementation européenne. Les boîtes à moustache représentent les données brutes corrigées pour ne représenter que la part d'augmentation de la richesse (nombre d'espèces par département par période) causée uniquement par l'effet période. La courbe verte représente le modèle partiel correspondant.

### Progression moyenne des espèces EE par département depuis 1976

Progression de la richesse depuis 1976

1976-1985 / 1986-1995	1986-1995 / 1996-2005	1996-2005 / 2006-2015
+ 1.05	+ 1.42	+1.64

### Conclusion 2

Ces résultats permettent d'avancer que l'on « gagne » en moyenne, par département et par période de 10 ans, 1,37 espèces de la liste de 37 espèces du Règlement UE.

## IV/ DISCUSSION ET PERSPECTIVES

### Définition retenue de l'indicateur

Titre court : Evolution dans le temps du nombre moyen d'espèces exotiques envahissantes

Titre long : Evolution moyenne du nombre d'espèces exotiques envahissantes calculée à l'échelle des départements métropolitains, sur la base d'un panel de 84 espèces, à partir d'une moyenne de la progression des 40 dernières années.

### Limites de l'indicateur

L'approche spatiale utilisée, qui plus est avec un échelle grain large (département) n'est pas aussi précise qu'un suivi fondé sur de l'abondance ou sur l'impact des espèces sur les écosystèmes.

Cependant les EEE ayant généralement une phase d'expansion très dynamique, l'approche spatiale reste relativement pertinente. Une approche plus fine, en termes de variable utilisée (abondance, indice d'abondance ou indice de pression) et en termes de résolution spatiale, nécessiterait des séries de mesure avec protocole, ce qui n'existe à l'échelle nationale que pour quelques espèces. L'approche départementale et multi-sources de données permet une quantification plus globale du phénomène.

Cet indicateur est calculé à partir des valeurs de richesse en EEE modélisées sur les 3 dernières périodes de temps disponibles. Pour être mis à jour, ce résultat doit être recalculé intégralement (sur la base d'un nouveau modèle incluant les nouvelles données et en recalculant la pente des dernières périodes).

**Ce mode de calcul implique qu'avec l'apport de nouvelles données sur les périodes anciennes, les valeurs d'estimation pour des périodes passées doivent être corrigées (l'ensemble de la série de donnée est mise à jour).**

L'estimation est basée sur un modèle de forme exponentielle, par conséquent, l'utilisation d'une moyenne sur les trois dernières périodes pour le calcul de l'augmentation de richesse des EEE implique une légère sous-estimation de l'augmentation récente par période.

#### *Avantages*

- Synthétique.
- Développé pour être robuste à l'effort de prospection puisque cet effort est intégré dans les variables explicatives du modèle. Cependant, le résultat reste basé sur la connaissance dans l'INPN au moment du calcul.
- Possibilité de recalculer l'indicateur régulièrement en intégrant des données anciennes pour réviser les estimations passées.
- Large panel d'espèces et de situations biologiques.
- Mobilisation de nombreuses sources de données dans une approche robuste.
- Déclinaison possible par département en adaptant le modèle à chaque distribution.

### *Inconvénient*

- Complexité de la méthode qui doit compenser pour le biais d'échantillonnage, causé par l'absence de dispositif dédié au suivi des EEE en France (mis à part sur quelques espèces).
- Biais d'échantillonnage pris en compte par une variable proxy assez grossier, qui mélange les données faune et flore, alors que les dynamiques de prospections (et remontée de données) sont différentes pour chaque groupe (y compris au sein de la faune, selon les taxons).
- Il peut y avoir eu dans les périodes récentes des efforts d'inventaire spécifiques sur les EEE, non traduits dans le proxy sur l'effort d'échantillonnage.
- Moyenne de progression d'un modèle exponentiel : risque de sur-estimation dans les périodes anciennes (2.46 vs 5.57) et de sous-estimation dans les périodes récentes (9.48 vs 5.57).
- Recalcul de l'ensemble de la série de données pour actualiser l'indicateur, qui peut ainsi être sensible à l'enrichissement de l'INPN par des jeux de données nouveaux. Le modèle ajusté aux données peut aussi évoluer (ce n'est pas gênant mais complexifie la compréhension de la construction de l'indicateur).
- Ne traduit que la dimension spatiale à large échelle de l'expansion des EEE, mais ne traduit pas l'abondance des EEE ni leur impact sur la biodiversité.

### Perspectives

Il pourrait être intéressant de poursuivre ces travaux :

- Par un indicateur basé sur un ratio par rapport au nombre de taxons de la liste de référence. Le pourcentage moyen de taxons de la liste de référence arrivés par département à partir d'une date donnée serait intéressant.
- en consolidant la liste d'EEE à suivre, incluant des espèces émergentes et à surveiller ;
- en déconsolidant l'indicateur pour distinguer par exemple : faune / flore ; aquatique / terrestre ;
- en illustrant l'indicateur avec des espèces bénéficiant de programmes de suivi précis.

## Annexe : détails des modèles

Modèle sur les 84 espèces EE de référence :

$\log(\text{RICH}) \sim \log(\text{ECH}) * \text{PERIODE} + \text{PERIODE}^2 + (1 | \text{DEPART}) + (1 | \text{Obs})$

AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
3731.6	3763.1	-1858.8	3717.6	665

Effets aléatoires

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Obs	(Intercept)	0.04137	0.2034
DEPART	(Intercept)	0.11255	0.3355

Nombre d'observations: 672, groupes : Obs, 672; DEPART, 96

Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )		
(Intercept)	-2.844224	0.244827	-11.617	< 2e-16	***
I(log(ECH))	0.651574	0.039868	16.343	< 2e-16	***
as.integer(PERIODE)	0.444842	0.058093	7.657	1.90e-14	***
I(scale(as.integer(PERIODE)^2))	0.876010	0.125164	6.999	2.58e-12	***
I(log(ECH)):as.integer(PERIODE)	-0.071431	0.008064	-8.857	< 2e-16	***

Modèle sur les 37 espèces EE du règlement européen

$\log(\text{RICH}) \sim \log(\text{ECH}) * \text{PERIODE} + \text{PERIODE}^2 + (1 | \text{DEPART}) + (1 | \text{Obs})$

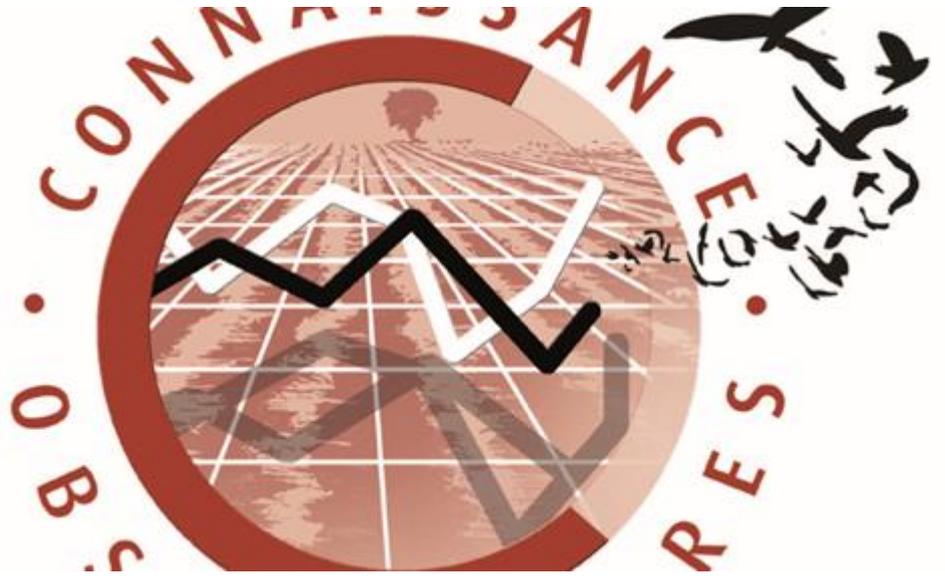
AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
1877.2	1908.8	-931.6	1863.2	665

Effets aléatoires

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Obs	(Intercept)	0.000	0.0000
DEPART	(Intercept)	0.107	0.3272

Nombre d'observations : 672, groupes : Obs, 672; DEPART, 96

	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	-5.630598	0.582923	-9.659	< 2e-16	***
I(log(ECH))	0.160830	0.090847	1.770	0.07667	.
as.integer(PERIODE)	1.119215	0.133261	8.399	< 2e-16	***
I(scale(as.integer(PERIODE)^2))	-0.891227	0.300648	-2.964	0.00303	**
I(log(ECH)):as.integer(PERIODE)	-0.006069	0.016362	-0.371	0.71071	



Dans le cadre de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité du MEEM et de l'Observatoire national de la Biodiversité (ONB) des « grands » indicateurs permettent de suivre l'état et l'évolution de la biodiversité sur le territoire national. En ce qui concerne la thématique des espèces exotiques envahissantes, un indicateur a été produit en 2012 pour l'outre-mer. A ce jour, aucun indicateur relatif aux espèces exotiques envahissantes n'a été produit pour la métropole.

Dans le cadre de l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB), le Service du Patrimoine Naturel au MNHN, en collaboration avec la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux et l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, propose un indicateur sur l'évolution spatiale des espèces exotiques envahissantes (EEE) en la métropole fondé la présence des taxons dans les départements français.

**Il représente ainsi l'évolution de la richesse moyenne en EEE par département, exprimée sous la forme d'accroissement moyen par période de 10 ans. L'ensemble est calculé sur un panel d'espèces.**

Quatre-vingt-quatre espèces (34 de faune et 50 de flore) ont été sélectionnées pour établir l'indicateur ONB, calculé comme une moyenne de la progression entre des périodes de dix ans et par département. Les tests ont également été réalisés sur des taxons de la liste des espèces préoccupantes pour l'Union européenne (37 espèces au sein des 84 taxons).

Nous avons pris en compte un effet « échantillonnage » (effort de connaissance), à savoir que plus on cherche les espèces, plus on obtient de données sur tous les taxons et plus on a de chance d'observer une espèce exotique envahissante. Pour distinguer l'effet réel de la progression des EEE d'une variation de l'effort de connaissance, nous avons utilisé un modèle linéaire mixte généralisé avec effet aléatoire (GLMM) prenant en compte les variables « temps » et une variable « connaissance » (fondé du sur le nombre total de données disponibles par département et par période).

Les résultats montrent qu'en valeur moyenne, par période de dix ans, il y a 5,57 espèces de la liste de référence (84 espèces) en plus par département et 1,37 espèces de la liste de l'Union européenne (37 espèces). Ce modèle pourra servir à synthétiser la surveillance des EEE.