

Déclinaison régionale des indicateurs issus du Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC)

-

Rapport d'analyse

Romain Lorrillière, Diane Gonzalez

Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation

Muséum National d'Histoire Naturelle

Mai 2016

Etude réalisée avec le soutien financier du Ministère de l'Ecologie, du
Développement Durable et de l'Energie



Table des matières

I.	Introduction.....	2
A.	Perte de biodiversité et indicateurs	2
B.	Les indicateurs nationaux et européens.....	2
C.	L'enjeu de la régionalisation.....	4
D.	Objectif.....	5
II.	Contraintes de la régionalisation.....	6
A.	Conservation de la méthodologie nationale.....	6
B.	Les espèces communes à l'échelle régionale	8
C.	Indicateurs régionaux par groupe de spécialistes.....	9
III.	Méthodes.....	10
A.	Les données disponibles	10
B.	Régionalisation de l'analyse de la variation d'abondance.....	10
C.	Régionalisation des indicateurs par groupe de spécialistes.....	14
IV.	Résultats.....	15
A.	Variation d'abondance	15
B.	Les groupes de spécialistes	18
V.	Discussion de la régionalisation	20
A.	Régionalisation.....	20
B.	Indicateurs spécialisation régionaux.....	21
VI.	Production de résultats régionaux.....	22
A.	Les régions	22
B.	Les régions de la réforme territoriales.....	26
C.	Les régions biogéographiques	28
VII.	Outil disponible.....	30
VIII.	Bibliographie.....	31

I. Introduction

A. Perte de biodiversité et indicateurs

La biodiversité fait face depuis le début de l'ère industrielle à de nombreuses perturbations d'origines anthropiques (directes ou indirectes) de grandes échelles qui sont les causes de la crise de perte de biodiversité que subissent les écosystèmes. Les oiseaux ont des places très variées au sein des écosystèmes à l'image de la grande variété des régimes alimentaires, des histoires de vie (par exemple migrateur ou non), des niches climatiques ainsi que des types de territoires de reproduction. Ils sont donc très impactés par les changements globaux, ce qui fait de l'avifaune un indicateur privilégié de la santé des écosystèmes. Le Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) permet de suivre l'évolution des populations d'oiseaux nicheurs en France dans le temps et dans l'espace, grâce à un protocole standardisé. L'analyse des données collectées chaque année depuis 1989 par des ornithologues amateurs nous montre l'état de santé des écosystèmes à travers différents indicateurs oiseaux, qui réagissent aux perturbations de leurs habitats selon leurs exigences écologiques. Ces indicateurs de biodiversité ont révélé une situation préoccupante puisque la France métropolitaine¹ a perdu globalement 15 % de ses oiseaux nicheurs depuis le début du suivi (Gonzalez and Jiguet 2015).

B. Les indicateurs nationaux et européens

Les indicateurs issus du STOC-EPS à l'échelle de la France sont déclinés à l'échelle spécifique pour près de 200 espèces d'oiseaux communs, mais également pour 4 grands groupes : les spécialistes des habitats agricoles, forestiers, bâtis et les généralistes. La fabrication de ces indicateurs de biodiversité par groupes de spécialistes par habitat est calculée à partir d'une liste de 75 espèces (**Figure 1**). Les variations d'abondance dans le temps par espèce ou groupe d'espèces sont ainsi connues pour l'ensemble du territoire.

Par ailleurs, ces indicateurs nationaux sont repris à plus large échelle dans la fabrication d'indicateurs européens, qui englobe les données des suivis oiseaux de 28 pays (**Figure 2**).

Afin d'obtenir une cohérence des résultats nationaux et européen, les méthodologies employées sont les mêmes pour tous les pays européens, et sont définies par l'European Bird Census Council (EBCC).

¹ Les données STOC-EPS ne permettent pas de considérer la Corse car dans cette région un seul carré a été suivi une seule année. Par conséquent, lorsque nous parlerons de résultats issus de l'analyse des données à l'échelle nationale, il faudra comprendre France métropolitaine hors Corse lorsque nous ferons référence à la France.

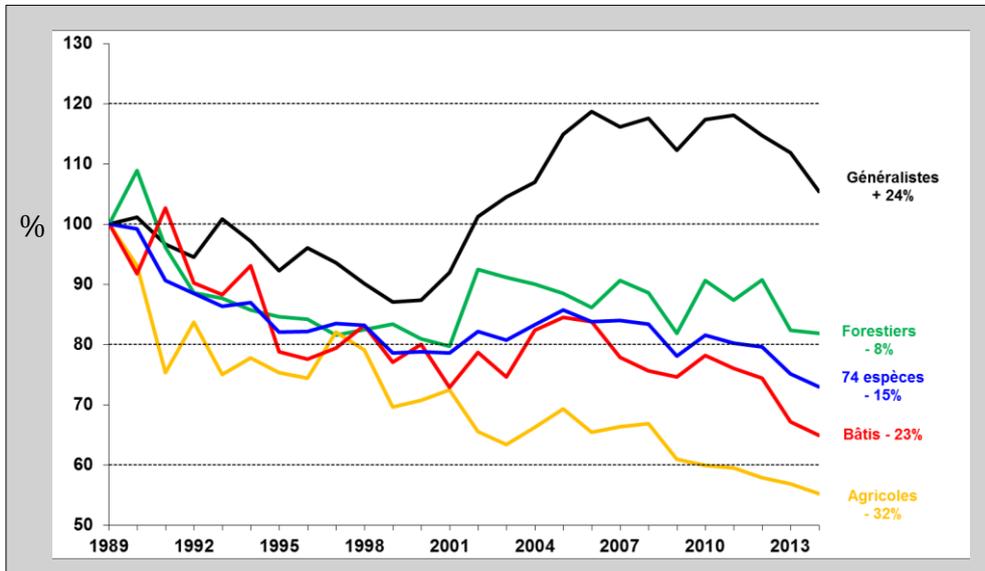


Figure 1 : Indicateur national de variations d'abondances des populations d'oiseaux communs par groupes de spécialistes ainsi que pour les généralistes de 1989 à 2014.

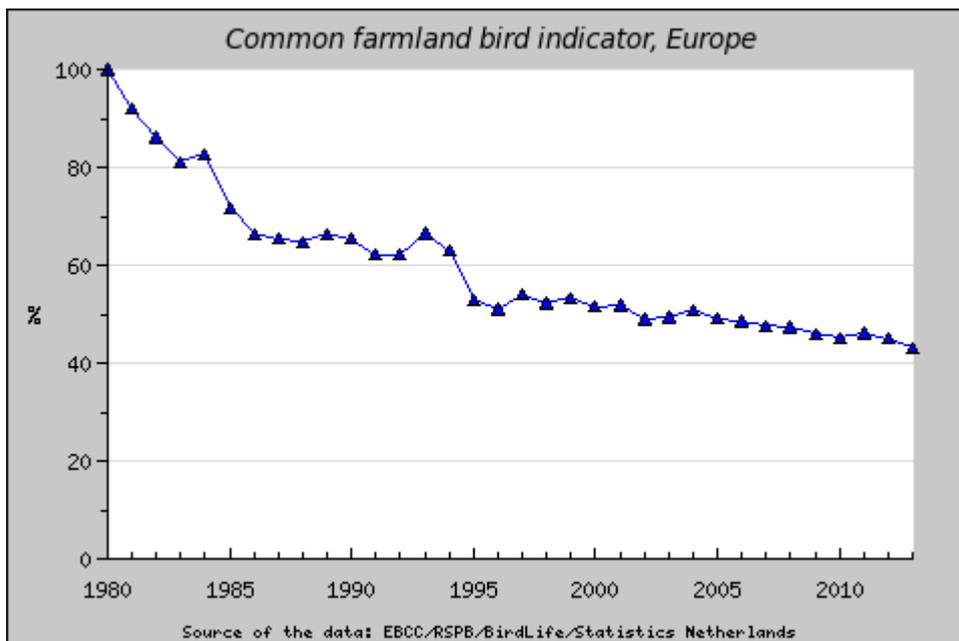


Figure 2 : Indicateur européen de variation d'abondance des populations d'oiseaux communs spécialistes des habitats agricoles de 1980 à 2013.

C. L'enjeu de la régionalisation

1. Enjeux politiques

Si les indicateurs de biodiversité nationaux permettent d'avoir une vision de l'état de santé des écosystèmes sur l'ensemble du territoire, une vision à l'échelle régionale est cohérente et primordiale dans les processus de gestion des territoires, tant pour permettre une évaluation de la santé des populations, qu'à terme pour évaluer les politiques régionales d'aménagement des territoires (notamment au travers des Schémas Régionaux de Cohérence Écologique). Les acteurs locaux seront en capacité d'avoir un outil qui mesure les réponses des oiseaux communs de manière ciblée par rapport aux perturbations environnementales propres à leur région, et de mettre aux regards ces processus locaux à ceux de plus grandes échelles au niveau national.

2. Enjeux scientifiques

Les indicateurs STOC sont aujourd'hui produits de manière robuste à l'échelle nationale, et internationale et sont grandement utilisés par les pouvoirs publics comme indicateurs de développement durable. S'il est intéressant de connaître la dynamique des populations d'oiseaux nicheurs aux échelles nationales et continentales, leur réponse vis-à-vis de perturbations plus locales est également importante. Ceci nécessite le développement d'indicateurs de dynamique de populations à ces échelles. L'échelle régionale devrait permettre d'analyser ces dynamiques tout en gardant une taille d'échantillon des populations assez grande pour construire des indicateurs robustes.

Cependant les indicateurs sont souvent sensibles aux effets d'échelles, c'est à dire qu'ils ne se comportent pas de la même manière si on les utilise à une large échelle (par exemple nationale) et une échelle locale. Ici la régionalisation aura pour effet de diminuer le nombre d'observations qui pourra devenir critique pour l'analyse de la variation d'abondance de certaines espèces pas suffisamment communes.

Un enjeu de ce travail est de proposer un outil qui respecte le cahier des charges (défini par l'EBCC) de l'indicateur national et européen et qui ne soit pas sensible à une utilisation régionale.

D. Objectif

L'objectif de ce travail est de créer une méthodologie de production des indicateurs STOC adaptée à l'échelle régionale. L'outil produit doit permettre de produire de manière automatisée et robuste les tendances de variations d'abondances dans le temps (variations inter-annuelles ainsi que sur l'ensemble de la période) par espèce et par groupe d'espèces spécialistes, en prenant en compte la spécificité des jeux de données réduits en régions. Les indicateurs seront produits pour chaque région administrative hors Corse, chaque nouvelle région administrative dans le cadre de la réforme territoriale ainsi que par région biogéographique. Les cartographies des indicateurs par groupe de spécialistes seront également produites par région hors Corse et par région biogéographique.

II. Contraintes de la régionalisation

A. Conservation de la méthodologie nationale

L'adaptation des indicateurs de variations d'abondances à de nouvelles échelles plus locales pour lesquelles ils n'ont pas été développés impose un choix entre deux méthodologies :

1. Développer une méthodologie nouvelle adaptée à la nouvelle échelle ne reprenant que la philosophie de la méthodologie de référence. Dans cette approche, le but sera de proposer une nouvelle méthode de calcul des indicateurs, par exemple en s'efforçant de rechercher les outils statistiques les plus performants, permettant de pallier à la diminution du nombre de données, afin d'augmenter la détection des variations d'abondance.
2. Adapter la méthodologie de référence à la diminution de la quantité de données disponibles. Dans cette approche, le but sera de chercher des seuils de présence qui permettent de définir des espèces éligibles à l'analyse. Cette approche fait le choix de ne pas être la plus efficace statistiquement, mais permet d'être équivalente et cohérente au regard des analyses nationales.

L'outil produit doit pouvoir être utilisé à différentes échelles, et au moins aux échelles régionales (actuelles et futures régions) et biogéographiques. Ces deux échelles sont très différentes puisque l'échelle biogéographique² correspond à un découpage en deux grandes régions (continentale et atlantique) et une petite région (méditerranéenne), alors que le découpage administratif (actuel et futur hors Corse) comprend 20 ou 12 régions plus homogènes en taille. Ainsi, alors que des petites régions nécessitent un ajustement sur la méthodologie nationale, les grandes régions biogéographiques devraient supporter la méthodologie nationale sans ajustement.

Enfin, un de nos objectifs est que les utilisateurs s'approprient cet outil afin de l'utiliser de manière autonome, et par conséquent nous n'avons pas souhaité contraindre l'échelle à laquelle il sera utilisé.

Par conséquent, afin que cet outil puisse calculer les indicateurs à des échelles très différentes telle que biogéographique ou régionale, mais aussi éventuellement nationale et départementale, nous avons adapté la méthodologie nationale afin de trouver des seuils d'éligibilité des espèces.

De plus, pour les mêmes raisons il ne sera pas proposé de liste d'espèces pour les groupes de spécialisations en fonction des régions. Nous chercherons à adapter ces

² Les données disponibles issues du STOC-EPS ne permettent pas de considérer la région biogéographique alpine dans laquelle très peu de sites sont échantillonnés. Par conséquent dans cette étude la France n'est découpée qu'en trois régions biogéographiques : atlantique, continentale et méditerranéenne.

listes et le calcul des indicateurs régionaux par groupe de spécialistes en fonction des jeux de données disponibles.

1. La méthodologie nationale

a) Variation d'abondance des espèces

Les variations d'abondance pour chaque espèce sont modélisées grâce à un modèle linéaire généralisé (GLM) avec une distribution de quasi-poisson de manière à corriger la sur-dispersion des résidus, en prenant en compte un effet année et un effet carré.

Deux déclinaisons du modèle statistique sont utilisées pour fabriquer les indicateurs. Afin de calculer les variations inter-annuelles d'abondances des espèces et réaliser les graphiques d'évolution de l'abondance dans le temps, la variable année est prise en facteur. Pour estimer la tendance générale sur la totalité de la durée du suivi, la variable année est prise en tant que variable continue.

Les deux modèles sont les suivants :

$$\log(N_{ijt}) \sim \lambda_{it} + \sigma_{ij} + \epsilon$$

$$\log(N_{ijt}) \sim \lambda_i a_t + \sigma_{ij} + \epsilon$$

où σ_{ij} est l'effet du site j sur l'espèce i , et λ_{it} et λ_i sont respectivement la variation d'abondance de l'espèce i de chaque année t et la tendance de cette variation d'abondance.

b) Indicateur par groupe de spécialistes

Les indicateurs plurispécifiques combinent les indices d'abondance de plusieurs espèces. Pour calculer la valeur de l'indicateur pour le groupe g une année t , la moyenne géométrique des indices des espèces s concernées pour l'année concernée est calculée (EBCC 2015) tel que :

$$\Delta N_{g,t} = \frac{1}{n} \sum_{s \text{ in } g}^n \log(\Delta N_{s,t})$$

Quatre indicateurs regroupant les espèces selon leur spécialisation par rapport à trois grands types d'habitat sont calculés. Ces indicateurs sont ceux des espèces spécialistes des milieux agricoles, forestiers, bâtis, et des espèces généralistes. Le degré de spécialisation est évalué à partir de la répartition des effectifs de l'espèce (dénombrés par le STOC-EPS) dans les trois grands types d'habitat, en proportion de leur disponibilité. Ainsi, si une espèce est plus abondante dans un habitat que ce que prédirait une répartition homogène dans les trois habitats, elle est dite spécialiste de cet habitat. Si une espèce ne présente pas de biais de répartition entre les habitats,

elle est classée parmi les espèces généralistes. Au total, 75 espèces sont utilisées pour construire les indicateurs. Elles se répartissent de la manière suivante :

Espèces généralistes (14)	Espèces agricoles (24)	Espèces forestières (24)	Espèces bâtis (13)
Accenteur mouchet	Alouette des champs	Bouvreuil pivoine	Chardonneret élégant
Cornelle noire	Alouette lulu	Fauvette mélanocéphale	Choucas des tours
Coucou gris	Bergeronnette printanière	Grimpereau des bois	Hirondelle de fenêtre
Fauvette à tête noire	Bruant jaune	Grimpereau des jardins	Hirondelle rustique
Geai des chênes	Bruant ortolan	Grive draine	Martinet noir
Hypolaïs polyglotte	Bruant proyer	Grive musicienne	Moineau domestique
Loriot d'Europe	Bruant zizi	Grosbec casse-noyaux	Moineau friquet
Merle noir	Buse variable	Mésange boréale	Pie bavarde
Mésange bleue	Caille des blés	Mésange huppée	Rougequeue à front blanc
Mésange charbonnière	Cochevis huppé	Mésange noire	Rougequeue noir
Pic vert	Corbeau freux	Mésange nonnette	Serin cini
Pigeon ramier	Faucon crécerelle	Pic cendré	Tourterelle turque
Pinson des arbres	Fauvette grisette	Pic épeiche	Verdier d'Europe
Rossignol philomèle	Huppe fasciée	Pic mar	
	Linotte mélodieuse	Pic noir	
	Perdrix grise	Pouillot de Bonelli	
	Perdrix rouge	Pouillot fitis	
	Pie-grièche écorcheur	Pouillot siffleur	
	Pipit farlouse	Pouillot véloce	
	Pipit rousseline	Roitelet à triple bandeau	
	Tarier des prés	Roitelet huppé	
	Tarier pâtre	Rougegorge familier	
	Traquet motteux	Sittelle torchepot	
	Vanneau huppé	Troglodyte mignon	

B. Les espèces communes à l'échelle régionale

Le jeu de données national est segmenté en jeux de données régionaux. Ceux-ci comprennent donc moins d'observations qu'à l'échelle nationale. Cette diminution peut être critique pour les espèces peu abondantes. C'est à dire que le nombre d'occurrences peut devenir trop faible pour autoriser une estimation fiable des variations d'abondances de ces espèces. Cependant, parmi ces espèces régionalement peu abondantes, certaines sont considérées comme communes à l'échelle nationale.

De ce fait, l'outil de régionalisation des indicateurs doit permettre, en fonction des données dont il dispose, de définir si une espèce est éligible à l'analyse statistique robuste de ses variations d'abondances. Une espèce devra pouvoir être désignée comme éligible si elle est assez abondante. Ces données d'abondance devront permettre un bon ajustement des deux modèles de variation d'abondance (avec les années en continu et avec les années en facteur).

L'objectif sera donc de définir des seuils qui permettent d'exclure les espèces trop rares, et de suggérer une attention particulière sur les espèces peu abondantes.

C. Indicateurs régionaux par groupes de spécialistes

Les indicateurs de variations d'abondance agrégés par groupe de spécialistes souffrent, de la même manière que les indicateurs spécifiques, de la réduction du nombre de sites d'observation. L'agrégation comme présentée ci-dessus est le résultat d'une moyenne géométrique des abondances des espèces du groupe. Les moyennes géométriques sont communément utilisées afin de limiter l'effet de populations localement surabondantes (EBCC 2015).

Cependant dans le cas des espèces peu abondantes, les années d'absence ont un très fort impact sur les moyennes géométriques car quelle que soit l'abondance des autres espèces, la moyenne géométrique sera dans ce cas égale à 0. Il est par conséquent nécessaire de trouver le meilleur moyen de corriger cet artefact dû à la méthodologie de calcul.

Il faudra également considérer la faible robustesse des estimations de variation d'abondance dans le cas des espèces peu abondantes, en pondérant la moyenne géométrique.

Afin de pouvoir comparer les indicateurs entre différentes régions, ou avec les tendances nationales, les listes des espèces qui constituent chaque groupe de spécialistes sont les mêmes qu'au niveau national. Cependant l'éligibilité des espèces pourra varier en fonction des régions. Ainsi, pour une région donnée, la liste des espèces dans un groupe de spécialisation est donc un sous-ensemble de la liste nationale du même groupe, dont les espèces jugées inéligibles sont exclues.

III. Méthodes

A. Les données disponibles

Le STOC-EPS existe depuis 1989, et le protocole a été amélioré en 2001 en instaurant un tirage aléatoire du carré suivi dans un rayon de 10 km autour de la commune du participant. Les carrés prospectés couvrent l'ensemble de la France métropolitaine avec plus de 2 300 sites (**figure 3**). 412 espèces ont été référencées dont 162 représentent plus de 99% des individus observés. Ce sont les espèces considérées comme « communes ». L'année du début du suivi STOC ainsi que le nombre des carrés varient entre régions. Le protocole consiste à identifier et compter tous les oiseaux au chant et à la vue pendant 5 minutes sur 10 points d'écoute représentatifs des habitats présents, formant un carré. 2 passages sont réalisés avant et après le 8 mai et l'abondance maximale pour chaque espèce, sur chaque point d'écoute, est retenue pour les analyses d'abondances.

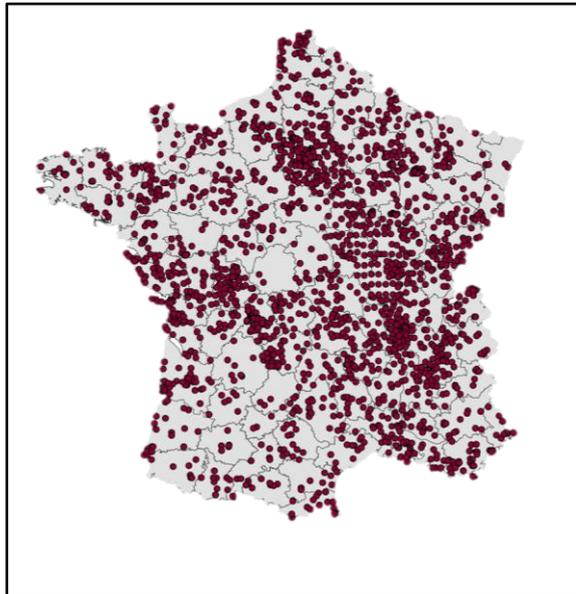


Figure 3 : Répartition des carrés STOC-EPS en France métropolitaine (hors Corse).

B. Régionalisation de l'analyse de la variation d'abondance

Le modèle statistique utilisé à l'échelle nationale et européenne est un modèle linéaire généralisé. Il évalue la significativité des variations des abondances en fonction d'un risque de première espèce (risque de trouver une différence inexistante). Cependant le contexte d'utilisation est ici particulier car nous devons pouvoir évaluer une dynamique stable c'est-à-dire sans variation d'abondance. Or ne pas pouvoir rejeter l'hypothèse nulle ne signifie pas qu'il n'y a pas de variation dans l'abondance des espèces, mais seulement que ces variations ne diffèrent pas significativement de

la stabilité. La quantité de données disponibles (occurrences des espèces) a un impact très fort sur la capacité des modèles à détecter des variations d'abondance réelles. Par conséquent moins une espèce est observée, plus une variation d'abondance significative est difficile à détecter. Cependant, pour ces espèces qui sont peu observées, il faut aussi noter que le risque de détecter une variation d'abondance qui ne représente pas la réelle dynamique de l'espèce est augmenté par simple effet d'échantillonnage.

Évaluer la capacité des modèles statistiques à estimer les variations d'abondance en fonction de la qualité et de la quantité des données disponibles est une problématique complexe des analyses statistiques corrélatives. C'est par deux approches complémentaires que nous avons pu établir des seuils d'occurrence définissant l'éligibilité des espèces à l'analyse, et éviter des risques trop importants d'erreur de première et seconde espèces, le risque de seconde espèce étant de ne pas trouver de différence alors qu'il y en a une. La première approche est une approche qualitative sur les données réelles et la seconde approche est quantitative sur des données simulées.

L'ensemble des analyses et de la modélisation a été réalisée sous le logiciel R 3.2.2 (R Core Team 2015), avec les packages ; *lme4* (Bates, Maechler, and Bolker 2015), *arm* (Gelman and Yu-Sung 2015), *rpart* (Therneau, Atkinson, and Ripley 2015), *ggplot2* (Wickham 2009).

1. Analyses heuristiques et qualitatives sur données réelles

Sur des jeux de données régionales et départementales (9 zones différentes), l'analyse (qualité d'ajustement) et la comparaison pour chaque espèce des sorties issues de quatre modèles différents nous a permis de donner une note qualitative de confiance, associée à un jeu de données (zone, espèce). Les indicateurs de qualité d'ajustement utilisés sont les suivants : sur-dispersion des résidus, goodness-of-fit (GOF) et vraisemblance.

Les quatre modèles sont les suivants :

1. GLM distribution de Quasi Poisson
2. GLM distribution négative binomiale
3. GLMER site en effet aléatoire
4. GLMER site en effet aléatoire + effet apprentissage

Chaque jeu de données est décrit selon des indicateurs d'occurrence, d'abondance et de séries de présences :

- Nombre de carrés suivis
- Nombre de carrés de présence
- Présence la première année du suivi
- Quantiles des occurrences : 25%, 50% (médiane), 75%
- Quantiles des abondances : 25%, 50% (médiane), 75%
- Statistiques sur les séries temporelles:
 - nombre d'années consécutives sans présence
 - nombre d'années consécutives avec présence

Nous avons utilisé un arbre de partition (librairie Rrpart, Therneau et al. 2015) afin de chercher les variables de description du jeu de données qui permettent de catégoriser la note de confiance.

2. Analyse quantitative sur données simulées

Afin d'affiner l'évaluation des sorties des modèles nous avons effectué une approche quantitative basée sur la simulation de dynamique de méta-populations. Après dégradation du jeu de données issu de cette dynamique, nous pourrions tester à partir d'une référence connue la robustesse de l'outil statistique d'estimation de la variation d'abondance.

a) Modélisation de dynamiques de populations

Afin de modéliser la dynamique de méta-populations, nous avons utilisé un modèle très simpliste de dynamique des populations. Nous modélisons la dynamique de l'espèce i sur le site j . Cette dynamique est itérative et suit un pas de temps t annuel sur 10 ans. Elle est fonction d'un taux de croissance λ_{ij} et d'une abondance initiale $N_{ij}(0)$ qui elle-même dépend d'un effet site σ_{ij} .

La dynamique suit le modèle suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij} \sim \mathcal{N}(\log(1), \log(\sigma_i)) \\ N_{ij}(0) \sim \mathcal{P}(\sigma_{ij} N_{0i}) \\ \lambda_{ij} \sim \mathcal{N}(\lambda_i, 0.005) \\ N_i(t+1) \sim \mathcal{P}(\lambda_i N_i(t)) \end{array} \right\}$$

Pour chaque espèce i les paramètres sont tirés dans une distribution uniforme dans les bornes des valeurs possibles et indiqués dans la table ci-dessous. Nous avons réalisé une analyse des dynamiques nationales des espèces suivie par le STOC-EPS à l'échelle nationale afin de borner les paramètres présentés ci-dessus en cohérence avec notre cas d'étude.

Intitulé	Symbole	Gamme de variation
Abondance initiale	$N0_i$	[0.05..0.1]
Taux de croissance globale de la méta-population	λ_i	[0.8..1.2]
Variance de l'effet site	σ_i	[1..5]

b) Modélisation des efforts d'observation

Les jeux de données issus de la modélisation de la dynamique de populations comme décrit ci-dessus sont ensuite dégradés afin de correspondre à un jeu de données de taille réduite qui serait issu du protocole STOC-EPS. Pour cela nous effectuons trois dégradations.

1. Nous utilisons l'historique de suivis des carrés d'une région pour filtrer les carrés suivis de la simulation
2. Puis nous ne conservons qu'une proportion variable de ces carrés suivis
3. Enfin nous appliquons sur les données d'abondance une probabilité de détection (Newson et al. 2013) par un tirage dans une loi Binomiale.

Intitulé de la dégradation	Gamme de variation
Région modèle	Bretagne, Franche-Comté, Pays de la Loire, Rhône-Alpes
Proportion de dégradation du nombre de sites suivis	[0.01...1]
Probabilité de détection de l'espèce	[0.01..0.5]

c) Estimation de la variation d'abondance sur 10 ans

100 000 jeux de données issus des étapes précédentes sont analysés par la méthodologie nationale et européenne d'obtention des indicateurs.

d) Comparaison avec l'attendu simulé

Nous calculons un indicateur de biais qui est la valeur absolue de la différence entre :

- l'estimation de la tendance par le GLM (avec les années en continu)
- le taux de croissance modélisé dans la dynamique de population

e) Validation des seuils trouvés par l'analyse qualitative

Les seuils trouvés lors de l'analyse qualitative sont confrontés à la distribution de ce biais.

C. Régionalisation des indicateurs par groupe de spécialistes

La recherche de pondération des variations spécifiques d'abondance pour le calcul par moyenne géométrique des indices pluri-spécifiques est effectuée par méthode heuristique, en confrontant le biais à des indicateurs d'occurrence.

IV. Résultats

A. Variation d'abondance

Cette première analyse sur les modèles issue des données réelles, permet de mettre en évidence que parmi les variables de description des jeux de données celles qui semblent les plus importantes dans l'explication de la note qualitative sont les nombres d'années consécutives d'absence et de présence (**figure 4**)

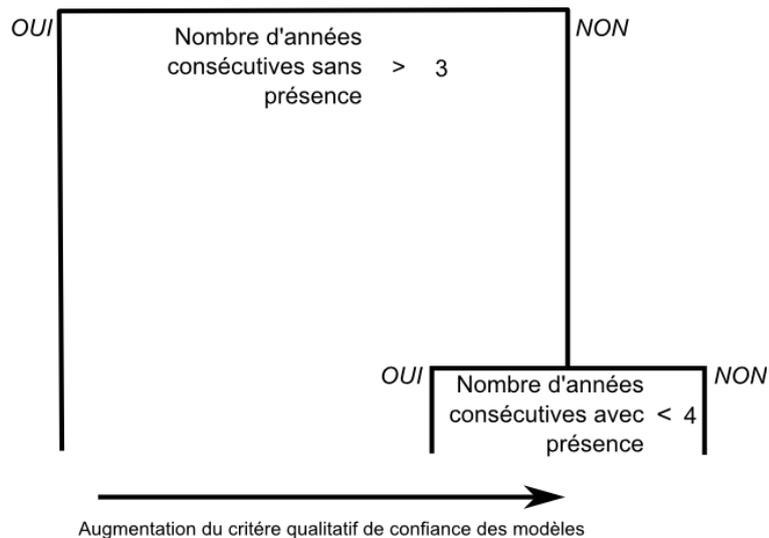


Figure 4 : Arbre de partitionnement du critère qualitatif de confiance.

De plus, il semble primordial pour une espèce que la première année analysée de la série temporelle ne soit pas associée à une absence complète. En effet, pour les années sans présence le GLM, qui estime les variations d'abondance (année en facteur), a du mal à estimer une valeur relative d'abondance et ne peut pas calculer d'intervalles de confiance. Aussi, si cette année d'absence est la première de la série temporelle, le GLM (avec les années en facteur) ne peut ancrer correctement les variations d'abondance et les intervalles de confiance.

Ainsi nous obtenons trois critères qui doivent permettre d'exclure des analyses (variation d'abondance et tendance) des espèces dont les occurrences sont insuffisantes :

1. Pas de présence la première année de l'analyse
2. Plus de trois années consécutives sans présence
3. Moins de quatre années consécutives avec présence

Ces critères d'exclusion ont été testés sur le jeu de données simulées afin d'en estimer la pertinence et la robustesse. Nous constatons qu'en effet le biais (différence entre les tendances simulée et estimée) associé aux jeux de données qui sont identifiés comme devant être exclu est beaucoup plus grand que celui du groupe de données identifiées comme éligibles à l'analyse.

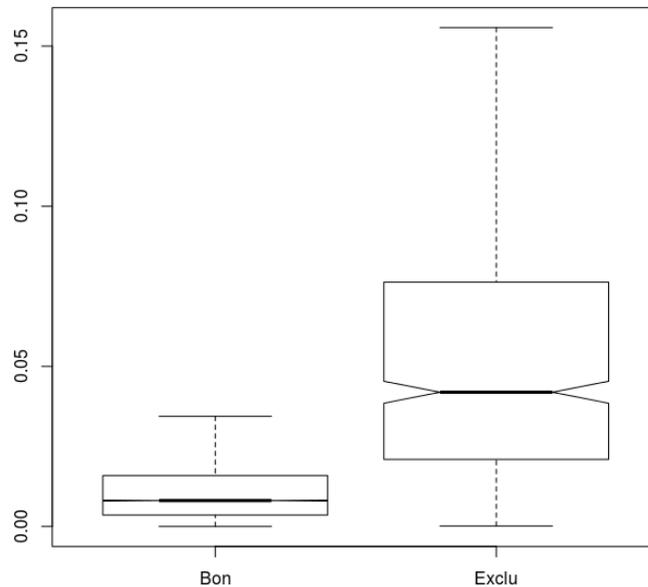


Figure 5: Biais dans le jeu de données simulées selon les catégories de confiance.

Nous avons ainsi défini un triple-critère d'exclusion des espèces non éligibles à l'analyse. Cependant dans la figure 5 nous pouvons observer que la variance du biais dans le groupe éligible "Bon" reste non négligeable. Une analyse par arbre de partition (**figure 6**) sur ce jeu de données simulé nous montre deux choses :

1. Les paramètres démographiques des populations ainsi que la probabilité de détection ne sont pas des variables structurantes pour expliquer le biais
2. la médiane des occurrences est la variable descriptive qui explique le plus la variance du biais dans le groupe "Bon"

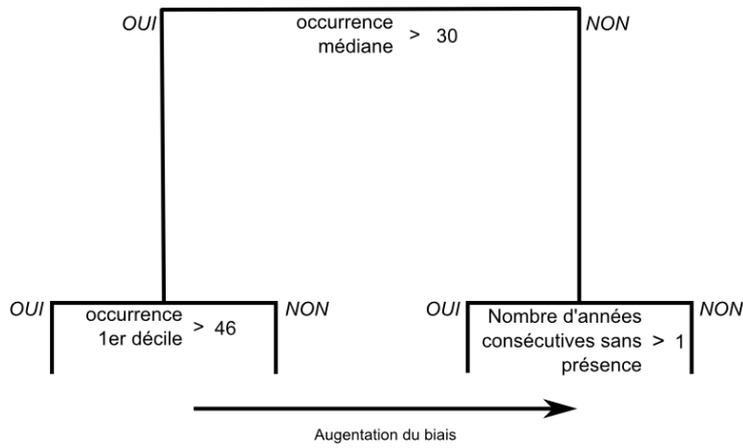


Figure 6 : Arbre de partition du biais de la catégorie « bon » (cf figure 5).

En effet il y a une relation très forte entre le biais et cette variable d'occurrence. Ainsi il existe un seuil de 14 pour la médiane des occurrences par an (sur la totalité de la période considérée) sous lequel le risque d'avoir un biais supérieur à 0.05 est supérieur à 5% (**figure 7**).

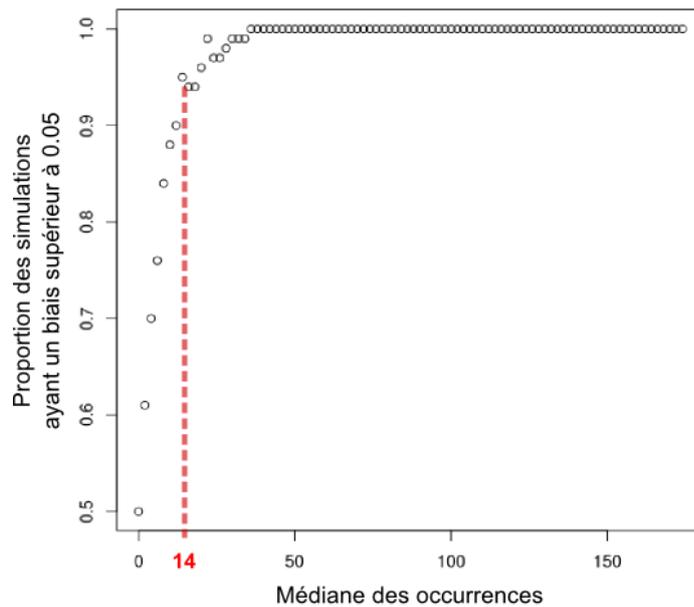


Figure 7 : Biais en fonction de la distribution des occurrences.

En conséquence les jeux de données dont la médiane des occurrences est inférieure à 14 seront étiquetés "incertain".

B. Les groupes de spécialistes

Afin de limiter les effets de mauvais ajustements des estimations des variations d'abondance de certaines espèces (notamment les moins abondantes), nous proposons de pondérer la moyenne géométrique des variations d'abondance par groupe de spécialisation comme suit :

$$W_{s,t} = f(\tilde{o}_s)$$

Où le poids W de l'espèce s l'année t est obtenu en fonction de la constante des occurrences de l'espèce. Elle est une pondération due à la probabilité de très mauvaise estimation (de la tendance) induit par un effet d'échantillonnage qui peut être le résultat de peu de présence. Ainsi elle est une fonction de la médiane de l'occurrence o définie par le résultat du biais observé dans les 100 000 trajectoires simulées (**figure 7**). Cette fonction correspond à la proportion de simulations ayant un biais supérieur à 0.05 en fonction de la médiane des occurrences, quand celle-ci est inférieure à 14 (elle est considérée comme égale à 1 quand la médiane est supérieure à 14 car la probabilité de biais important est inférieure à 5%).

Enfin, la moyenne géométrique souffre d'un comportement aberrant face aux valeurs infiniment proches de zéro ou même face au zéro. Ces valeurs sont toujours associées dans nos estimations des variations d'abondance à des intervalles de confiance non estimables. C'est-à-dire que les intervalles de confiance supérieurs sont dans ces cas infinis. Pour éviter de donner du poids à ces estimations dont nous ne pouvons pas accorder de confiance, nous avons affecté un poids nul à ces estimateurs (**figure 8**). Cette correction permet d'obtenir des variations d'abondance par groupes beaucoup plus cohérentes telles que :

Groupes	% de variation d'abondance sur la période 2003-2013 en Bretagne (figure 8)	
	Avec correction	Sans correction
Généralistes	- 1 %	11 %
Spécialistes bâtis	- 35 %	- 35 %
Spécialistes forestiers	- 51 %	- 32 %
Spécialistes agricoles	- 89 %	- 33 %

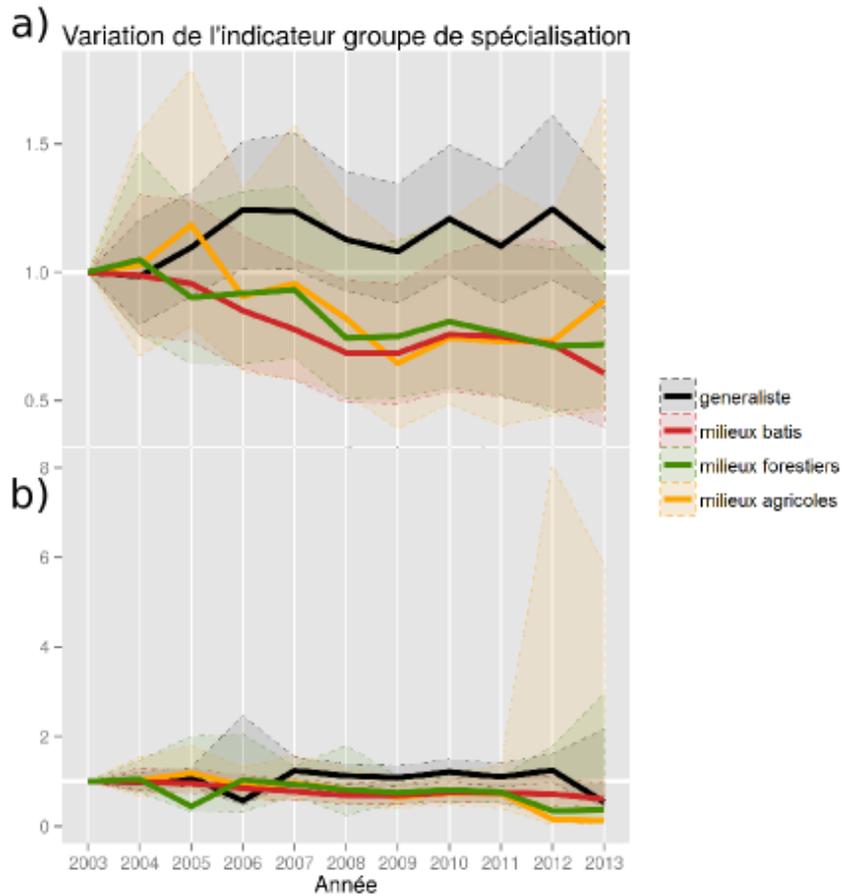


Figure 8 : Effet du poids nul associé aux estimateurs dont les intervalles de confiance sont incohérents (intervalle de confiance supérieur infini). Exemple de la Bretagne pour la série temporelle 2003-2013

- a) poids nul des estimateurs dont les intervalles de confiance sont incohérents, b) sans correction

V. Discussion de la régionalisation

A. Régionalisation

1. Bilan de la méthodologie de calcul

L'objectif est d'adapter la méthodologie nationale à un outil permettant l'analyse de variations d'abondances à diverses échelles spatiales (régionale, biogéographique). Or la réduction de l'échelle spatiale a pour conséquence de diminuer le nombre de sites suivis et donc le nombre d'occurrence. Ainsi les espèces peu abondantes peuvent localement devenir rares. Nous avons défini des règles d'éligibilité des espèces adaptées à cette méthodologie dans le but de conserver un maximum d'espèces.

Le logiciel TRIM recommandé par l'EBCC pour l'analyse des données de type STOC ne permet pas de calculer les variations d'abondance annuelles pour une espèce si cette espèce est absente ne serait-ce qu'une année.

Suite à une double analyse des données françaises disponibles et de données simulées nous proposons des critères de rejet de l'espèce moins contraignants :

1. Pas de présence la première année de l'analyse
2. Plus de trois années consécutives sans présence
3. Moins de quatre années consécutives avec présence

Ensuite, face au risque d'erreur associé dans l'estimation de la tendance des espèces qui montrent des occurrences très faibles, nous avons trouvé un seuil permettant d'étiqueter le résultat comme "incertain" afin que l'opérateur porte une vigilance particulière au résultat. Ce seuil correspond à la médiane des occurrences inférieure à 14.

2. Bilan des choix

La méthodologie que nous avons privilégiée a été d'adapter la méthode nationale de fabrication des indicateurs STOC-EPS, qui est également la méthode européenne dont le cahier des charges est fixé par l'EBCC. Notre but est de la rendre compatible à différentes échelles, notamment à l'échelle régionale. La méthodologie nationale utilise comme type de modèle un GLM dont l'effet site est modélisé par l'estimation d'un effet de chaque site. Cette méthodologie est très coûteuse en degrés de liberté car un paramètre est estimé pour chaque carré, et par conséquent perd de la puissance pour l'estimation de la tendance ou des variations d'abondances.

Il existe des méthodes statistiques moins coûteuses en degrés de liberté qui modélisent l'effet site comme un effet aléatoire (GLMER ou GAMM ; cf. Bolker et al. 2009; Zuur et al. 2009) . Cependant nous n'avons pas pu montrer l'intérêt statistique de ces méthodes qui justifieraient le développement d'une nouvelle méthodologie qui

serait alors différente aux échelles locales (de départementale à biogéographique) et nationale.

Cependant, l'utilisation de ces méthodologies statistiques plus modernes et très adaptées à des suivis standardisés, avec des répliques spatiaux et temporels, semble être une bonne perspective pour continuer à améliorer l'estimation des tendances des espèces. Il serait alors très pertinent de proposer de modifier la méthodologie européenne de calcul de ces indicateurs.

B. Indicateurs spécialisation régionaux

1. Bilan de la méthodologie de calcul

Le mode de calcul de cet indicateur par l'utilisation d'une moyenne géométrique le rend sensible aux très faibles estimations d'abondance. Nous avons par notre approche limité les effets des différentes sources de mauvaises estimations. Nous proposons donc une pondération qui permet d'avoir très peu d'effets à large échelle et qui sera plus contraignante aux échelles plus locales.

Enfin pour poursuivre ce travail nous proposons deux pistes de réflexions :

1. Une réflexion sur l'utilisation des moyennes géométriques doit être engagée tant elle est sensible à l'absence d'une espèce.
2. De plus à propos des groupes d'espèces par spécialisation, une réflexion pourrait être engagée sur ce qu'impliqueraient des regroupements qui ne seraient pas nationaux mais qui pourraient être définis à une échelle plus locale et qui pourraient aussi varier dans le temps.

VI. Production de résultats régionaux

A. Les régions

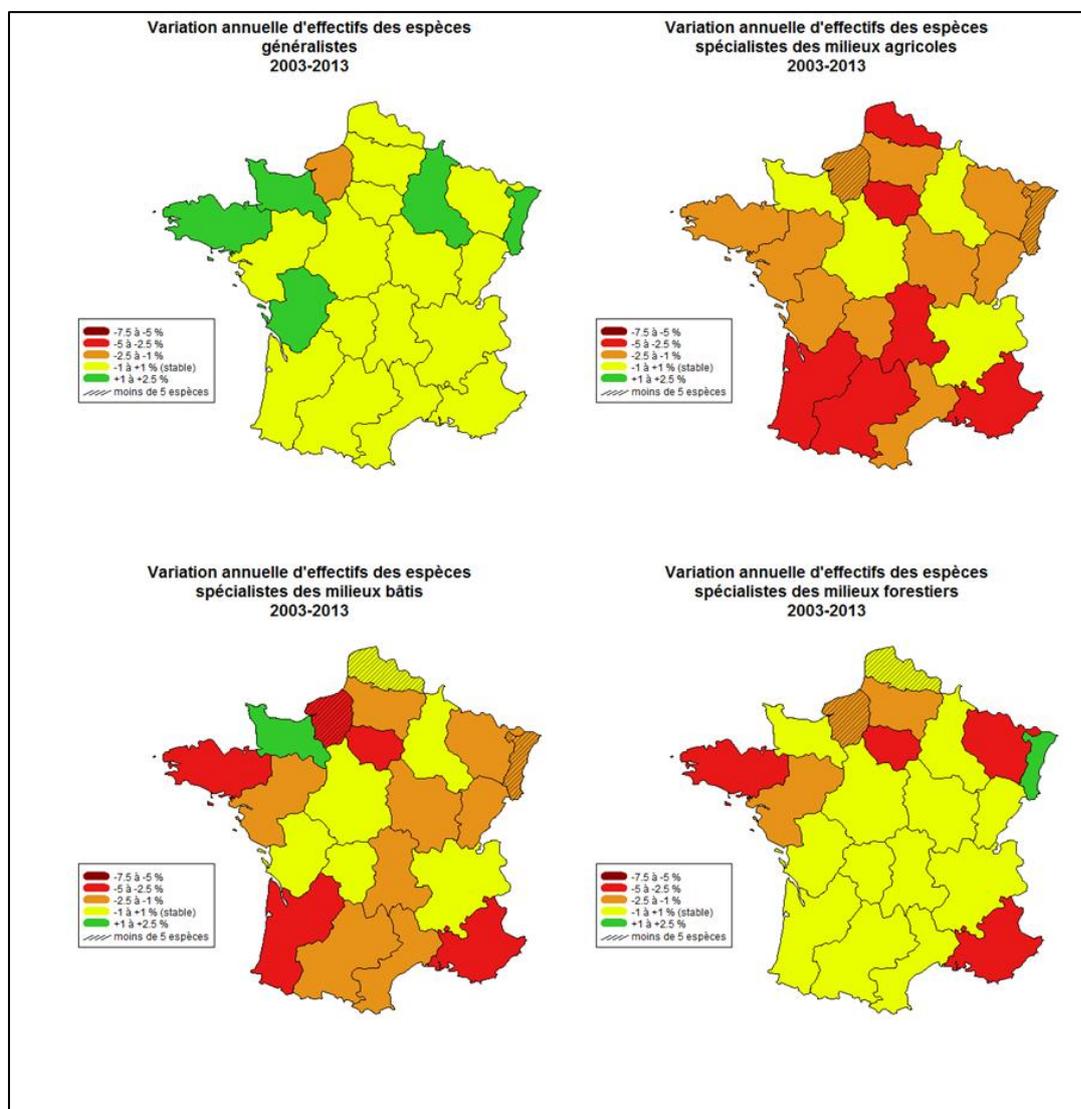


Figure 9 : Cartographies des variations annuelles d'effectifs par groupe de spécialistes, découpage par région.

La cartographie (**figure 9**) des indicateurs STOC par groupes de spécialisation nous montre d'une part une différence dans l'évolution dans le temps de l'abondance des différentes communautés de spécialistes, et d'autre part une différence d'évolution entre régions administratives. Les espèces spécialistes des milieux agricoles sont celles dans un état le plus critique puisque seulement 4 régions, Basse-Normandie, Rhône-Alpes, Centre et Champagne-Ardenne, voient leurs effectifs stabilisés sur 10 ans. Tout le reste de la France indique une baisse des effectifs d'oiseaux agricoles.

Les tendances des spécialistes des milieux bâtis et forestiers sont plus contrastées, avec des régions où ces communautés sont en forte baisse et une majorité en baisse modérée pour les milieux bâtis, et une majorité de régions à la stabilité pour les milieux forestiers. Les régions Bretagne, Ile-de-France, Haute-Normandie, Lorraine et PACA se démarquent en montrant des variations annuelles négatives à la fois pour les spécialistes de milieux forestiers et bâtis.

Les taux de croissance des espèces généralistes sont les moins impactés, ainsi la quasi-totalité des régions témoignent d'une stabilité de ces communautés, 5 régions sont en hausse, et seule la Haute-Normandie est en baisse d'effectifs.

Il est à noter que pour certaines régions (en hachuré sur la cartographie), la classification des tendances des communautés est à prendre avec précaution du fait du faible nombre d'espèces éligibles pour le calcul de l'indicateur.

Les tableaux qui suivent montrent les espèces qui ont été exclues de l'analyse par groupe de spécialistes pour chaque région. On note que pour les groupes agricoles et forestiers la régionalisation rend un grand nombre d'espèces non éligibles :

Généralistes	
région	espèce
Alsace	Hypolaïs polyglotte

Spécialistes des milieux bâtis	
région	espèce
Basse-Normandie	Moineau friquet
Bretagne	Moineau friquet
	Rouge Queue Front Blanc
Centre	Moineau friquet
Haute-Normandie	Moineau friquet
	Serin cini
Nord-Pas-De-Calais	Moineau friquet
	Rouge Queue Front Blanc
	Serin cini

Spécialistes des milieux forestiers		Spécialistes des milieux forestiers	
région	espèce	région	espèce
Alsace	Grosbec casse-noyaux	Languedoc-Roussillon	Grosbec casse-noyaux
	Pouillot de Bonelli		Pic mar
	Fauvette mélanocéphale		Mésange boréale
Aquitaine	Grimpereau des bois		Pouillot siffleur
	Pic mar		Pic cendré
	Mésange boréale		Limousin
	Pouillot siffleur	Mésange boréale	
	Pic cendré	Pic cendré	
Fauvette mélanocéphale	Fauvette mélanocéphale		
Auvergne	Pic mar	Lorraine	Grimpereau des bois
	Pic cendré		Pouillot de Bonelli
	Fauvette mélanocéphale		Pic cendré
Basse-Normandie	Grimpereau des bois		Fauvette mélanocéphale
	Grosbec casse-noyaux	Midi-Pyrénées	Pic mar
	Mésange noire		Mésange boréale
	Mésange huppée		Pouillot siffleur
	Mésange boréale		Pic cendré
	Pouillot de Bonelli		Fauvette mélanocéphale
	Pic cendré		Nord-Pas-De-Calais
	Fauvette mélanocéphale	Grosbec casse-noyaux	
Bourgogne	Pouillot de Bonelli	Pic mar	
	Pic cendré	Pic noir	
	Fauvette mélanocéphale	Mésange noire	
Bretagne	Grimpereau des bois	Mésange huppée	
	Grosbec casse-noyaux	Mésange boréale	
	Mésange noire	Pouillot de Bonelli	
	Mésange boréale	Pic cendré	
	Pouillot de Bonelli	Roitelet triple bandeau	
	Pouillot siffleur	Roitelet huppé	
	Pic cendré	Fauvette mélanocéphale	
	Fauvette mélanocéphale	PACA	Grosbec casse-noyaux
Centre	Mésange noire		Pic mar
	Mésange boréale		Pouillot siffleur
	Pic cendré		Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale	Pays-De-La-Loire	Grosbec casse-noyaux
Champagne-Ardenne	Pouillot de Bonelli		Mésange noire
	Fauvette mélanocéphale		Mésange boréale
Franche-Comté	Fauvette mélanocéphale		Pic cendré
Haute-Normandie	Grimpereau des bois	Fauvette mélanocéphale	Picardie
	Grosbec casse-noyaux	Grimpereau des bois	
	Pic mar	Mésange noire	
	Mésange boréale	Mésange boréale	
	Pouillot de Bonelli	Pouillot de Bonelli	
	Pouillot siffleur	Pic cendré	
	Pic cendré	Fauvette mélanocéphale	
Fauvette mélanocéphale	Poitou-Charentes	Grimpereau des bois	
Ile-de-France		Grimpereau des bois	Pic mar
		Grosbec casse-noyaux	Mésange noire
		Mésange boréale	Mésange huppée
		Pouillot de Bonelli	Mésange boréale
		Pic cendré	Pic cendré
Fauvette mélanocéphale	Bouvreuil pivoine		
		Fauvette mélanocéphale	Rhône-Alpes
		Pic mar	
		Pic cendré	

Spécialistes des milieux agricoles		Spécialistes des milieux agricoles	
région	espèce	région	espèce
Alsace	Perdrix rouge	Ile-de-France	Perdrix rouge
	Pipit rousseline		Pipit rousseline
	Pipit farlouse		Caille des blés
	Caille des blés		Bruant zizi
	Bruant zizi		Bruant ortolan
	Bruant ortolan		Cochevis huppé
	Cochevis huppé		Pie-grièche écorcheur
	Alouette lulu		Alouette lulu
	Bruant proyer		Traquet motteux
	Bergeronnette printanière		Huppe fasciée
	Traquet motteux		Vanneau huppé
	Perdrix grise		Corbeau freux
	Tarier des prés		Perdrix grise
	Tarier patre		Vanneau huppé
Aquitaine	Huppe fasciée	Languedoc-Roussillon	Pipit rousseline
	Vanneau huppé		Corbeau freux
	Corbeau freux		Bruant ortolan
	Bruant ortolan		Cochevis huppé
Auvergne	Perdrix grise	Limousin	Bergeronnette printanière
	Vanneau huppé		Perdrix grise
	Pipit rousseline		Vanneau huppé
Basse-Normandie	Bruant ortolan	Lorraine	Perdrix rouge
	Cochevis huppé		Pipit rousseline
Bretagne	Perdrix rouge	Lorraine	Bruant zizi
	Pipit rousseline		Bruant ortolan
	Bruant ortolan		Cochevis huppé
	Cochevis huppé		Perdrix grise
	Pie-grièche écorcheur		Huppe fasciée
	Tarier des prés		Vanneau huppé
	Vanneau huppé		Pipit farlouse
Bourgogne	Pipit rousseline	Midi-Pyrénées	Corbeau freux
	Bruant ortolan		Bruant ortolan
	Cochevis huppé		Cochevis huppé
	Traquet motteux		Perdrix grise
Bretagne	Pipit rousseline	Nord-Pas-De-Calais	Vanneau huppé
	Caille des blés		Perdrix rouge
	Bruant ortolan		Pipit rousseline
	Cochevis huppé		Bruant zizi
	Pie-grièche écorcheur		Bruant ortolan
	Bruant proyer		Cochevis huppé
	Bergeronnette printanière		Pie-grièche écorcheur
	Perdrix grise		Alouette lulu
Tarier des prés	Tarier des prés		
Centre	Pipit rousseline	PACA	Huppe fasciée
	Bruant ortolan		Pipit farlouse
	Cochevis huppé		Corbeau freux
	Traquet motteux		Perdrix grise
Champagne-Ardenne	Tarier des prés	Pays-De-La-Loire	Pipit rousseline
	Perdrix rouge		Bruant ortolan
	Pipit rousseline		Pie-grièche écorcheur
Franche-Comté	Bruant zizi	Picardie	Perdrix rouge
	Bruant ortolan		Pipit rousseline
	Perdrix rouge		Bruant zizi
	Pipit rousseline		Bruant ortolan
	Bruant ortolan		Cochevis huppé
	Cochevis huppé		Pie-grièche écorcheur
	Perdrix grise		Alouette lulu
Huppe fasciée	Huppe fasciée		
Haute-Normandie	Vanneau huppé	Poitou-Charentes	Vanneau huppé
	Perdrix rouge		Pipit rousseline
	Pipit rousseline		Bruant ortolan
	Pipit rousseline	Rhône-Alpes	Pipit rousseline
	Bruant ortolan		Bruant ortolan
	Cochevis huppé		Cochevis huppé
	Pie-grièche écorcheur		Bergeronnette printanière
	Alouette lulu		Traquet motteux
	Traquet motteux		Perdrix grise
	Tarier des prés		
Tarier patre			
Huppe fasciée			
Vanneau huppé			

B. Les régions de la réforme territoriale

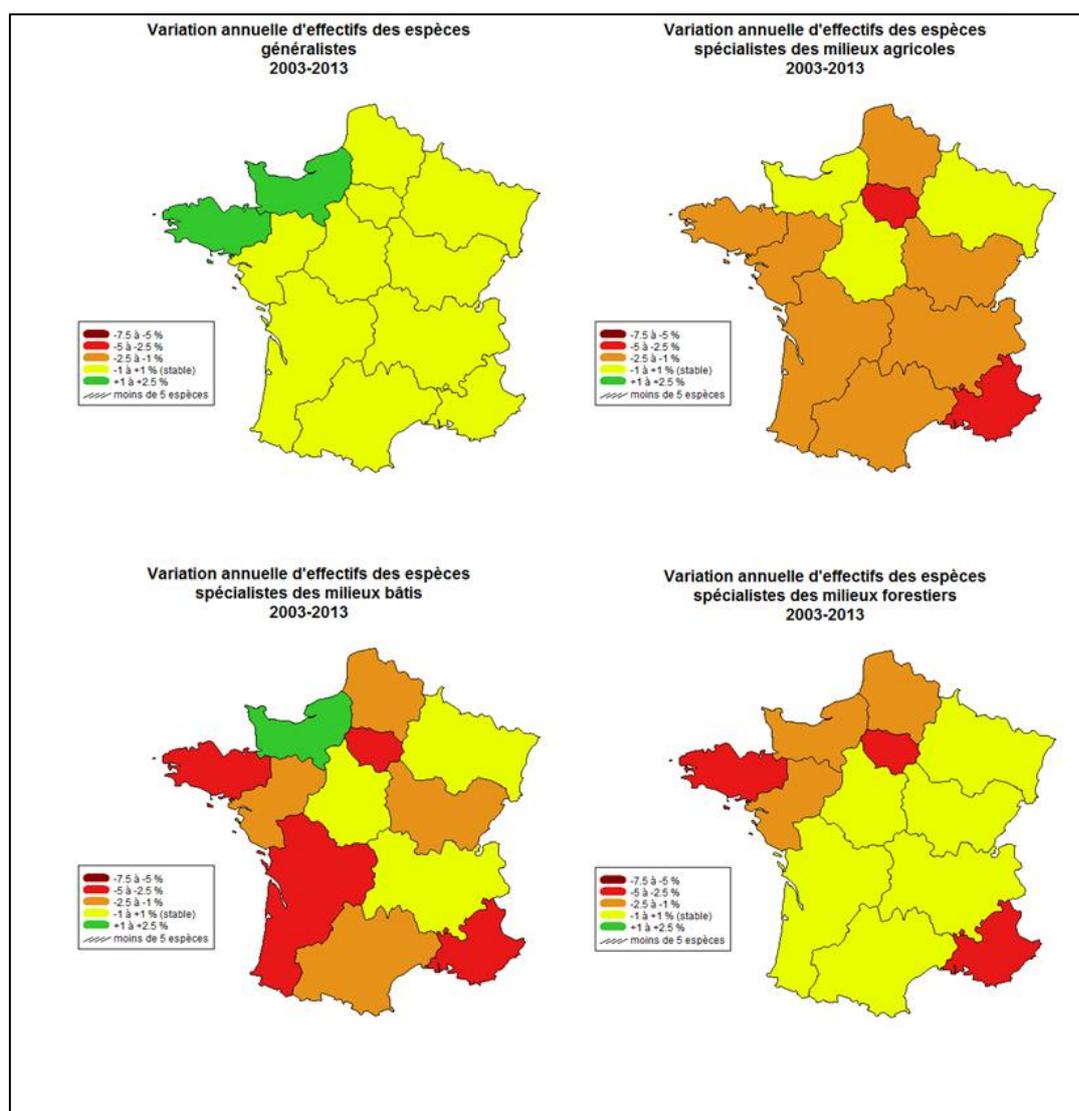


Figure 10 : Cartographies des variations annuelles d'effectifs par groupe de spécialistes, découpage par nouvelle région.

Ce découpage par nouvelles régions administratives (**figure 10**) montre des grands ensembles proches de variations d'effectifs de spécialistes cohérents et ne souffre pas de l'effet de certaines espèces rares, notamment en Normandie, puisqu'un nombre plus important d'espèces est pris en compte dans le calcul de l'indicateur, qui est par conséquent plus représentatif de la communauté. L'Ile-de-France, la Bretagne et PACA se démarquent puisque ce sont les seules régions où les populations sont en forte diminution depuis 10 ans pour les 3 groupes de spécialistes.

Les tableaux qui suivent montrent les espèces qui ont été exclues de l'analyse par groupe de spécialistes pour chaque nouvelle région. On note que le nombre d'espèces non conservées par rapport à l'analyse sur les régions actuelles est beaucoup moins grand :

Spécialistes des milieux forestiers	
région	espèce
Basse-Normandie Haute-Normandie	Grimpereau des bois
	Mésange boréale
	Pouillot de Bonelli
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Bourgogne Franche-Comté	Fauvette mélanocéphale
Bretagne	Grimpereau des bois
	Grosbec casse-noyaux
	Mésange noire
	Mésange boréale
	Pouillot de Bonelli
	Pouillot siffleur
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Centre	Mésange noire
	Mésange boréale
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Champagne-Ardenne Lorraine Alsace	Pouillot de Bonelli
	Fauvette mélanocéphale
IleDeFrance	Grimpereau des bois
	Grosbec casse-noyaux
	Mésange boréale
	Pouillot de Bonelli
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Midi-Pyrénée Languedoc-Roussillon	Grosbec casse-noyaux
	Pic mar
	Pic cendré
PACA	Grosbec casse-noyaux
	Pic mar
	Pouillot siffleur
	Pic cendré
Pays-De-La-Loire	Grosbec casse-noyaux
	Mésange noire
	Mésange boréale
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Picardie Nord-pas-De-Calais	Grimpereau des bois
	Mésange noire
	Pouillot de Bonelli
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Poitou-Charentes Limousin Aquitaine	Grimpereau des bois
	Mésange boréale
	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Rhône-Alpes Auvergne	Pic mar
	Pic cendré

Spécialistes des milieux bâtis	
région	espèce
Basse-Normandie Haute- Normandie	Moineau friquet
Bretagne	Moineau friquet
	Rouge Queue Front Blanc
Centre	Moineau friquet

Spécialistes des milieux agricoles	
région	espèce
Basse-Normandie Haute-Normandie	Pipit rousseline
	Bruant ortolan
	Cochevis huppé
	Pie-grièche écorcheur
	Tarier des prés
	Vanneau huppé
Bourgogne Franche-Comté	Pipit rousseline
	Bruant ortolan
	Cochevis huppé
Bretagne	Pipit rousseline
	Caille des blés
	Bruant ortolan
	Cochevis huppé
	Pie-grièche écorcheur
	Bruant proyer
	Bergeronnette printanière
	Perdrix grise
	Tarier des prés
	Pipit rousseline
Bruant ortolan	
Centre	Cochevis huppé
	Traquet motteux
	Tarier des prés
	Perdrix rouge
	Pipit rousseline
Champagne-Ardenne Lorraine Alsace	Bruant zizi
	Bruant ortolan
	Perdrix rouge
Ile-De-France	Pipit rousseline
	Caille des blés
	Bruant zizi
	Bruant ortolan
	Cochevis huppé
	Pie-grièche écorcheur
	Alouette lulu
	Traquet motteux
	Huppe fasciée
	Vanneau huppé
	Corbeau freux
	Vanneau huppé
PACA	Pipit farlouse
	Corbeau freux
	Perdrix grise
Pays-De-La-Loire	Pipit rousseline
	Bruant ortolan
	Pie-grièche écorcheur
Picardie Nord-pas-De-Calais	Perdrix rouge
	Pipit rousseline
	Bruant zizi
	Bruant ortolan
	Cochevis huppé
	Pie-grièche écorcheur
	Alouette lulu
Huppe fasciée	
Poitou-Charentes Limousin Aquitaine	Bruant ortolan
Rhône-Alpes Auvergne	Pipit rousseline
	Cochevis huppé

C. Les régions biogéographiques

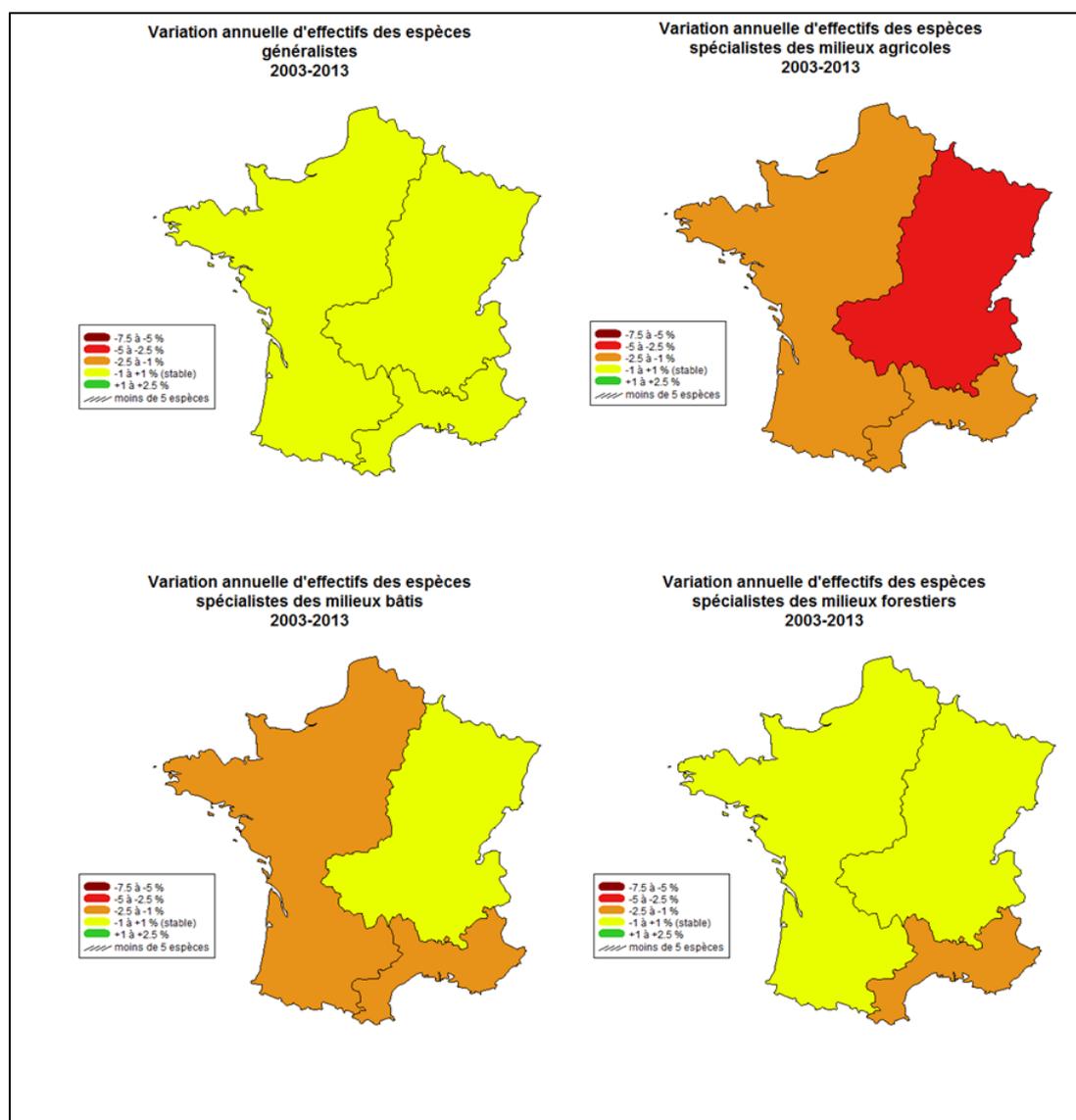


Figure 11 : Cartographies des variations annuelles d'effectifs par groupe de spécialistes, découpage par région biogéographique.

Les différences spatiales au sein d'une même communauté apparaissent très peu avec ce découpage par grandes régions biogéographiques (**figure 11**). En effet la France est ainsi découpée en deux grandes zones continentale et atlantique et en une zone très réduite sur le pourtour méditerranéen. Du fait du grand nombre de régions concernées dans chacune des grandes zones, les tendances de populations se trouvent lissées et le résultat est homogène pour la quasi-totalité du territoire.

Ainsi, les populations agricoles ressortent en déclin, les généralistes sont stables sur toute la France, comme les forestières excepté en Méditerranée, et les spécialistes

des milieux bâtis apparaissent en déclin sauf en région continentale où ils sont restés stables en 10 ans.

Les tableaux qui suivent montrent les espèces qui ont été exclues de l'analyse par groupe de spécialistes pour chaque région biogéographique. À cette échelle, seulement cinq espèces sont exclues du calcul des indicateurs.

Spécialistes des milieux agricoles	
biorégion	espèce
Continentale	Pipit rousseline

Spécialistes des milieux forestiers	
biorégion	espèce
Atlantique	Pic cendré
	Fauvette mélanocéphale
Méditerranéenne	Grosbec casse-noyaux
	Pic mar
	Pic cendré

VII. Outil disponible

Nous avons ainsi produit un outil qui permet aux opérateurs de traiter, en toute autonomie, leurs jeux de données. Cet outil réalisé sous le logiciel R permet le calcul des variations d'abondance en routine sur tout ou partie des espèces considérées comme éligibles présentes dans le jeu de données selon les critères définis dans ce présent rapport. De plus, cet outil calcule également les indices de variation d'espèces par groupe de spécialistes, corrigés en fonction de leurs robustesses.

Cet outil est hébergé sur le site internet de Vigie-nature du Muséum national d'Histoire naturelle à l'adresse : <http://vigienature.mnhn.fr/page/protocole> (lien actif le 12/11/2015).

Cet outil permet sur tout type de territoire l'analyse de variations d'abondances de populations nicheuses d'oiseaux suivies par un protocole standardisé d'estimation d'abondance relative. L'utilisation de la méthodologie nationale permet une comparaison des variations d'abondances locales (qui peuvent être estimées) et nationales. Les indices par groupes d'espèces sont calculés à partir d'un sous-ensemble des espèces nationales. Ainsi des échelles trop locales peuvent aboutir à un nombre d'espèces éligibles très faible, et dans certains cas la comparaison entre zones locales qui ne partagent que peu d'espèces ou entre zone locale et échelle nationale doit être effectuée avec prudence.

Enfin, cet outil paramétré à partir d'une analyse théorique, pourra être utilisé sur d'autres taxons suivis selon des protocoles équivalents (tels que ceux proposés par Vigie-Nature). Cela nécessitera un ajustement des fichiers de références présents dans le package.

VIII. Bibliographie

- Bates, Douglas, Martin Maechler, and Benjamin M. Bolker. 2015. "Fitting Linear Mixed-Effects Models Using {lme4}." *Journal of Statistical Software* 67(1):1–48.
- Bolker, Benjamin M. et al. 2009. "Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution." *Trends in ecology & evolution* 24(3):127–35.
Retrieved July 9, 2014
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709000196>).
- EBCC. 2015. "European Wild Bird Indicators, 2015 Update." *EBCC*. Retrieved
(<http://www.ebcc.info/index.php?ID=588>).
- Gelman, Andrew and Su Yu-Sung. 2015. "Arm: Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models." Retrieved (<http://cran.r-project.org/package=arm>).
- Gonzalez, Diane and Frédéric Jiguet. 2015. "Les Résultats Nationaux Du Programme STOC EPS de 1989 à 2014." *MNHN*. Retrieved
(<http://vigienature.mnhn.fr/page/produire-des-indicateurs-partir-des-indices-des-especes-habitat>).
- Newson, Stuart E., Dario Massimino, Alison Johnston, Stephen R. Baillie, and James W. Pearce-Higgins. 2013. "Should We Account for Detectability in Population Trends?" *Bird Study* 60(3):384–90.
- R Core Team. 2015. "R: A Language and Environment for Statistical Computing." Retrieved (<https://www.r-project.org/>).
- Therneau, Terry M., Beth Atkinson, and Brian Ripley. 2015. "Rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees." Retrieved (<http://cran.r-project.org/package=rpart>).
- Wickham, Hadley. 2009. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New-York: Springer US. Retrieved (<http://had.co.nz/ggplot2/book>).
- Zuur, Alain F. et al. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Retrieved
(http://www.qut.eblib.com.au/EBLWeb/patron?target=patron&extendedid=P_428755_0&\nhttp://www.amazon.com/Effects-Extensions-Ecology-Statistics-Biology/dp/0387874577/ref=sr_1_1?s=books&ie=UTF8&qid=1402078326&sr=1-1&keywords=Mixed+Effects+Models+and+Extensions).