

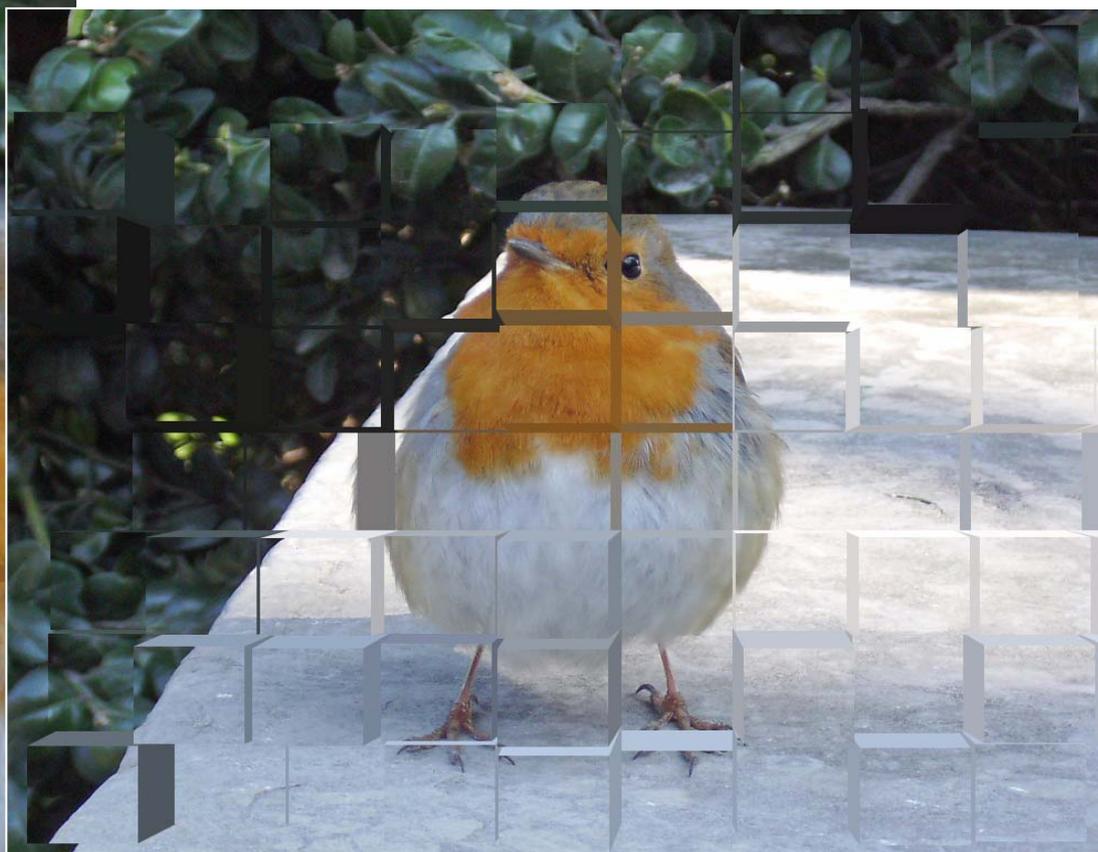
Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation
Direction Déléguée au Développement Durable, à la
Conservation de la Nature et à l'Expertise



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Service du Patrimoine Naturel
UMR 7204 Centre d'Ecologie et des
Sciences de la Conservation

Romain Lorrillière, Isabelle Le Viol,
Romain Sordello, Julien Touroult, Lucille Billon



L'indice de dispersion moyen des communautés

*Un possible outil d'évaluation de
l'efficacité de la politique Trame verte
et bleue ?*



Rapport produit dans le cadre de la mission du SPN-MNHN au sein du Centre de ressources Trame verte et bleue (CONVENTION MNHN/MEDDE)

Premier auteur :

Romain Lorrillière, CESCO

Coordination :

CESCO : Isabelle Le Viol, Maitre de conférences

MNHN-SPN : Romain Sordello, Chef de projet Trame verte et bleue

Contribution MNHN-SPN :

Julien Touroult, Directeur adjoint en charge des programmes de conservation N2000 et TVB

Lucille Billon, Chargée de mission Trame verte et bleue

Citation recommandée : LORRILLIÈRE R., LE VIOL I., SORDELLO R., TOUROULT J. & BILLON L. (2015). *L'indice de dispersion moyen des communautés. Un possible outil d'évaluation de l'efficacité de la politique Trame verte et bleue ?*. Rapport MNHN-SPN/CESCO. 24 pages.

Le Service du Patrimoine Naturel (SPN)

Inventorier - Gérer - Analyser - Diffuser

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 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.mnhn.fr/spn/>

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

INPN

 Inventaire National
du Patrimoine Naturel



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>

Sommaire

1	Introduction.....	5
2	Etat des connaissances.....	6
2.1	Fragmentation des habitats	6
2.2	La Trame verte et bleue et son dispositif de suivi/évaluation	7
2.3	Les indicateurs de biodiversité.....	8
2.4	Proposition d'indicateur	11
3	Les données et méthodes.....	13
3.1	Le STOC un programme national de science participative.....	13
3.2	Les indices de dispersion	14
3.3	Indices d'état de la biodiversité	15
3.4	L'occupation du sol.....	16
4	Les résultats.....	17
4.1	Quelles relations entre indice de dispersion natal (SDI) et degré de spécialisation à l'habitat (SSI) des espèces ?.....	17
4.2	CDI et spécialisation des communautés à l'habitat	18
4.3	Le CDI et les indicateurs structurels du paysage.....	19
4.4	Tendance temporelle nationale du CDI.....	20
5	Discussion et perspectives.....	21
5.1	Le SDI	21
5.2	Le CDI.....	21
5.3	Perspectives.....	22
6	Remerciements.....	23
7	Références citées	23

1 Introduction

La crise écologique actuelle, résultat des effets directs et indirects des activités humaines a poussé les pouvoirs publics à proposer, au travers du Grenelle de l'environnement, des outils pour la protection de la biodiversité. Ainsi, la mise en place d'une Trame verte et bleue cohérente à l'échelle nationale est un engagement fort qui a pour but de réduire le phénomène de fragmentation et permettre aux espèces de se déplacer.

Comme pour toute politique, il est nécessaire de suivre et d'évaluer l'efficacité de la Trame verte et bleue, en vue notamment de procéder à des réorientations si nécessaires. A cet effet, un dispositif de suivi et d'évaluation a été proposé au niveau national par le Centre de ressources Trame verte et bleue (travail piloté par IRSTEA en 2013) sous la forme d'une batterie d'indicateurs pertinents à l'échelle régionale¹. Un des indicateurs (ESP2 : Suivi de la répartition de certaines espèces) propose ainsi de s'appuyer sur la répartition de certaines espèces dont l'évolution nous permettrait de mesurer dans le temps l'efficacité de la TVB et plus particulièrement des Schémas régionaux de cohérence écologique. Dans le concret, un tel indicateur reste néanmoins à développer car il ne doit pas aboutir à une évaluation de la biodiversité en général mais bien à une évaluation ciblée sur la connectivité, qui soit donc le reflet d'une fonctionnalité écologique. Par ailleurs, la réalisation d'indicateurs basés sur la répartition se confronte aux carences en données adaptées (suffisantes en nombre, homogènes, ...).

Le travail présenté ici avait ainsi pour objectif d'initier une réflexion pour la construction d'un tel indicateur basé sur la répartition d'espèces, en explorant la possibilité :

- d'utiliser les données de répartitions issues de la science participative (programme STOC) en réalisant notre calcul directement à l'échelle nationale,
- de recourir à l'indice de dispersion moyen des communautés (CDI) comme indicateur de sensibilité des communautés à la fragmentation des paysages pour ajouter une dimension fonctionnelle à la démarche.

¹ Jennifer Amsallem, Jean-Philippe Tonneau, Elodie Salles, Romain Sordello, Sophie Benko (2013). Propositions pour le dispositif de suivi et d'évaluation d'un Schéma Régional de Cohérence Ecologique. Irstea, MEDDE, MNHN, ONEMA. 27 pages + annexe + fiches indicateurs.

2 Etat des connaissances

2.1 Fragmentation des habitats

Nombre de travaux désignent la fragmentation (dans un sens large incluant la perte d'habitat) et l'isolement des habitats comme des causes majeures de perte de biodiversité (Quinn and Harrison, 1988). Cependant, cette conclusion est très dépendante de la définition de la fragmentation utilisée. Ici, notre définition est plus restrictive, nous considérons la fragmentation comme le découpage des habitats indépendamment de leur perte de surface (Fahrig, 2003). Cette fragmentation peut être illustrée par le tracé de voies de circulation rapide, qui sont une source de fragmentation et découpent les paysages (telles que les voies ferroviaires ou routières).

La principale conséquence de la fragmentation est la subdivision de populations en unités plus petites qui, comme le prédit la théorie (Lande, 1993), voient la probabilité d'extinction de chacune augmenter (ex : variation du taux d'extinction des poissons de rivière à la fin du Pléistocène Hugueny *et al.*, 2011). La fragmentation crée des obstacles à la dispersion (Mader, 1984) qui, dans le contexte de déplacement des aires de distribution (en réponse au réchauffement climatique), peuvent être fatals pour certaines espèces. Selon Debinski & Holt (2000), les réponses comportementales individuelles à la fragmentation peuvent expliquer un grand nombre d'effets observés à des niveaux plus élevés d'organisation tels que les populations et les communautés.

Cependant, peu d'études empiriques permettent de faire la distinction entre les effets de la fragmentation et ceux de la perte de l'habitat. D'un point de vue théorique, nous observons que la perte d'habitat a toujours un effet négatif sur les populations ou sur les communautés (comme nous l'avons évoqué ci-dessus) alors que la fragmentation peut avoir des effets contrastés (Fahrig, 2003). Les insectes sont un modèle biologique très étudié dans le but de mettre en évidence empiriquement les patterns théoriques. Il a été montré que la fragmentation affecte la taille du domaine de prospection des insectes pollinisateurs (Steffan-Dewenter and Tscharntke, 1999) et que cette taille a des effets contrastés sur la guildes des insectes phytophages selon le groupe fonctionnel considéré (oligophages, polyphages Steffan-Dewenter and Tscharntke, 2000). L'isolement a également des effets contrastés. Ainsi, chez trois espèces de papillons (*Junonia coenia*, *Euptoieta claudia*, et *Phoebis sennae*) des densités plus élevées sont observées dans des patchs d'habitats reliés par des corridors, mais cette réponse est moins contrastée dans le cas d'espèces généralistes à l'habitat (voir ci-après Haddad and Baum, 1999). Plus surprenant, Danielson & Hubbard (2000) ont constaté que dans

une forêt fragmentée, la présence de corridors réduit la probabilité que la Souris de plage (*Peromyscus polionotus*) quitte un patch. Enfin Bas *et al.* (2009) trouvent un effet déstructurant de la présence de haie pour les communautés d'oiseaux forestiers, cet effet étant plus fort si la parcelle forestière est petite.

Pour conclure, au vu de ces réponses contrastées, Debinski & Holt (2000) soulignent la nécessité d'études des mécanismes comportementaux sous-jacents.

La capacité d'un paysage à faciliter ou à limiter le déplacement des organismes entre deux patches d'habitats à travers la matrice paysagère est nommée connectivité (Taylor *et al.*, 1993), définition admise depuis Merriam (1984). A ce jour, il reste difficile de développer des indicateurs de connectivité prenant en compte la dimension fonctionnelle de la connectivité. Les indicateurs de description des paysages tels que les surfaces d'habitat favorable, la distance entre les parcelles d'habitat et leur forme sont des indicateurs structurels qui permettent d'ores et déjà de mesurer des potentialités. Cependant, la particularité de la connectivité est qu'elle correspond à un mécanisme de déplacement, de flux (individus, gènes, ...). Par conséquent, mesurer la connectivité fonctionnelle sous-entend que seule une approche fonctionnelle, c'est-à-dire basée sur les traits fonctionnels des espèces, est vraiment pertinente. Or cela reste difficile, d'autant plus sur un large territoire, a fortiori sur le territoire national.

2.2 La Trame verte et bleue et son dispositif de suivi/évaluation

Dans le contexte général de perte et de dégradation des habitats, le Grenelle de l'environnement a proposé la Trame verte et bleue. Il s'agit donc désormais depuis 2007 d'une nouvelle politique publique du Ministère en charge de l'écologie, qui doit participer à la grande ambition d'enrayer le déclin de la biodiversité, et plus précisément ici par la limitation de la fragmentation. Etant un objectif clair de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité², c'est par cet outil d'aménagement des territoires, notamment au travers de sa déclinaison régionale dans les SRCE³, que l'État et les Conseils régionaux identifient les besoins de préservation et de restauration des continuités écologiques.

Cette trame est définie autour de deux concepts forts de l'écologie du paysage :

- des réservoirs de biodiversité (zones favorables) où les populations animales et végétales doivent pouvoir avoir une dynamique positive,

² <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

³ Schéma Régional de Cohérence Ecologique

- des corridors (au sens large) qui les relient et qui permettent aux espèces de circuler et d'accéder aux zones favorables.

Un dispositif de suivi et d'évaluation a été proposé au niveau national par le Centre de ressources Trame verte et bleue (travail piloté par IRSTEA en 2013) sous la forme d'une batterie d'indicateurs pertinents à l'échelle régionale⁴. Cette batterie comporte un indicateur, dénommé « ESP2 » qui porte sur le suivi de la répartition de certaines espèces. L'objectif de cet indicateur est de s'appuyer en effet sur la répartition de certaines espèces dont l'évolution nous permettrait de mesurer dans le temps l'efficacité de la TVB et plus particulièrement des Schémas régionaux de cohérence écologique. Cet indicateur reste néanmoins à construire et pour cette raison, il a été fléché « A développer » dans cette batterie nationale. Un tel indicateur ne doit pas en effet aboutir à une évaluation de la biodiversité en général mais bien à une évaluation ciblée sur la connectivité, qui soit donc le reflet d'une fonctionnalité écologique. Or, comme évoquée ci-dessus, la mesure d'une connectivité fonctionnelle reste encore délicate. Par ailleurs, la réalisation d'indicateurs basés sur la répartition se confronte aux carences en données adaptées.

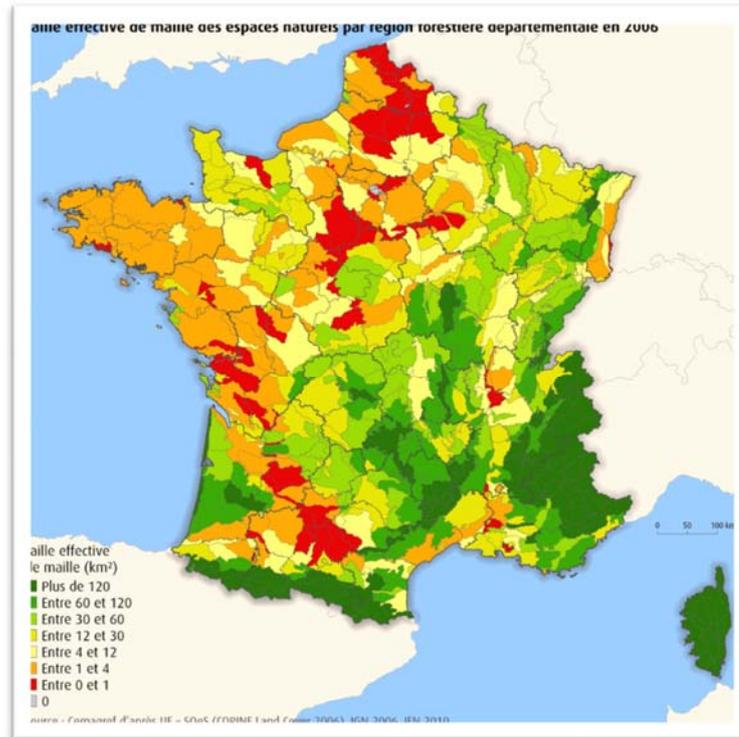
2.3 Les indicateurs de biodiversité

Depuis le Sommet de la terre de Rio (1992) et la conférence de Johannesburg (2002), le suivi de la biodiversité est reconnu comme urgent et nécessaire. Mais il pose des problèmes d'une grande complexité. Ainsi, afin d'appréhender cette infinie complexité, d'observer la perte de biodiversité ou de mesurer les effets des politiques publiques pour sa sauvegarde, des outils de synthèse et de simplification sont indispensables. Il s'agit du rôle des indicateurs, qui renseignent sur l'état de la biodiversité, sur les pressions qui s'exercent sur elle, ou encore sur les réponses en termes de politiques environnementales adoptées. Il en existe une grande variété. Pour la France plusieurs indicateurs ont ainsi été définis à l'échelle nationale à la suite de concertations avec différents experts, acteurs dans le cadre de l'Observatoire National de la Biodiversité⁵, l'idée étant bien évidemment qu'ils soient renseignés régulièrement au fil du temps pour évaluer les tendances de la biodiversité notamment face aux pressions et réponses adoptées.

⁴ Jennifer Amsallem, Jean-Philippe Tonneau, Elodie Salles, Romain Sordello, Sophie Benko (2013). Propositions pour le dispositif de suivi et d'évaluation d'un Schéma Régional de Cohérence Ecologique. Irstea, MEDDE, MNHN, ONEMA. 27 pages + annexe + fiches indicateurs.

⁵ <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/>

Un certain nombre d'entre eux peuvent être mobilisés pour évaluer la connectivité d'habitats et donc pour la définition de la Trame verte et bleue. Nous pouvons citer ici des indicateurs renseignant sur la pression anthropique exercée sur les écosystèmes, tels que la surface des massifs forestiers, la longueur des linéaires routiers ou encore la taille effective de maille des espaces naturels en France métropolitaine.

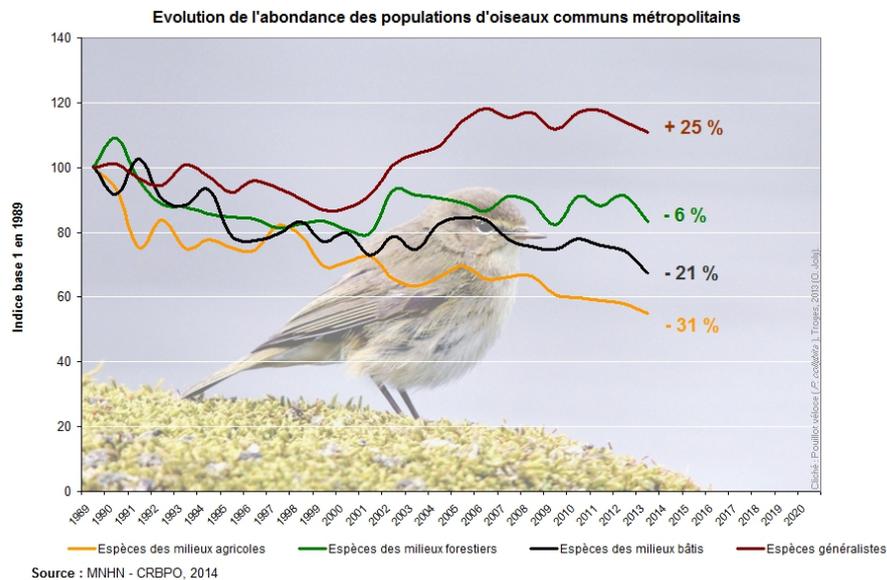


L'enjeu est cependant d'évaluer la réponse de la biodiversité à ce type de pressions et surtout aux réponses adoptées en termes de politiques publiques d'aménagement du territoire.

Dans ce contexte, le fait d'étudier les tendances de plusieurs espèces et non d'une seule, constitue une évidence pour obtenir une idée générale de l'évolution temporelle de la biodiversité. Par ailleurs, considérer les tendances de groupes d'espèces ayant des caractéristiques communes (habitat, degré de spécialisation, affinité thermique) permet d'appréhender encore mieux les causes possibles d'évolution des tendances. Basé sur le suivi temporel annuel de population (STOC écoute), l'indicateur « oiseaux communs » (et ses différentes catégories) nous informe ainsi par exemple sur la manière dont les populations répondent aux pressions anthropiques exercées sur les différents grands types d'habitats (<http://vigenature.mnhn.fr/page/produire-des-indicateurs-partir-des-indices-des-especes-habitat>).

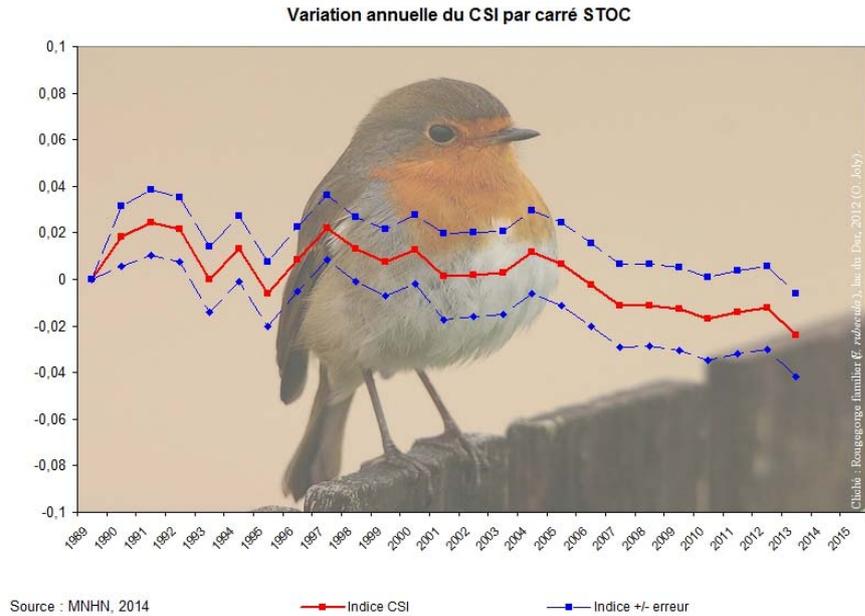
Celui-ci met en évidence l'augmentation de l'abondance des espèces généralistes ainsi que la diminution des abondances des espèces spécialistes des habitats agricoles, urbains et

forestiers. Notons que l'indicateur oiseaux communs a été choisi par l'UE comme indicateur structurel de développement durable pour la biodiversité (Balmford & Bond, 2005 ; Eurostat, 2010).



Enfin, travailler à l'échelle des communautés permet de tenir compte des relations entre espèces, les espèces ne fonctionnant pas indépendamment les unes des autres mais bien en interaction : le déclin de certaines espèces du fait de caractéristiques particulières (trait) peut ainsi parfois bénéficier à d'autres ayant d'autres valeurs du trait, du fait de relâchement de compétition. Ainsi, la valeur du trait moyen de la communauté est-il susceptible, via un seul indicateur, de refléter la tendance « fonctionnelle » de la communauté. L'indice de spécialisation des communautés (CSI⁶, cf. ci-après) est donc un indicateur couramment utilisé (Devictor *et al.*, 2008 ; Doxa *et al.*, 2008) pour mettre en évidence le processus d'homogénéisation biotique en cours sous l'impact des changements globaux, via le remplacement d'individus d'espèces spécialistes par des individus d'espèces généralistes au sein des communautés.

⁶ Community Specialisation Index



2.4 Proposition d'indicateur

Dans la continuité du développement d'indicateurs basés sur les caractéristiques des communautés évoqué précédemment, une perspective qui commence à émerger en écologie des communautés est de pouvoir évaluer la connectivité à l'échelle d'un paysage en se basant sur les caractéristiques relatives au déplacement (capacité de dispersion) des espèces pour des communautés d'espèces ou des groupes fonctionnels (Hodgson *et al.*, 2009 ; Doerr *et al.*, 2011).

Ainsi, dans notre démarche, nous avons repris cette idée en étudiant l'intérêt d'utiliser l'indice de dispersion moyen des communautés (CDI) comme indicateur de sensibilité des communautés à la fragmentation des paysages. Par la dimension fonctionnelle qu'il ajoute, cet indice peut en effet potentiellement être un outil d'évaluation de l'efficacité des politiques d'aménagement du territoire dédiées au maintien et à la restauration de la connectivité.

Comme d'autres indices (tels que le CSI, cf. ci-après), cet indicateur est basé sur le trait moyen des communautés. Il prend donc en compte les réponses de différentes espèces, mais aussi les interactions entre espèces au sein de la communauté et entre espèces et environnement. Dans ce cas, le trait considéré est le degré de dispersion des espèces, moyenné à l'échelle de la communauté, et pondéré par les effectifs respectifs de chaque espèce dénombrés à l'échelle de la communauté. Cette approche a déjà montré son intérêt pour évaluer l'impact de la fragmentation (proxi du degré d'imperméabilisation : HDVI) sur les orthoptères à l'échelle de l'Île-de-France (Penone *et al.* 2012). L'idée est aujourd'hui de la développer pour évaluer son intérêt dans l'évaluation des politiques environnementales

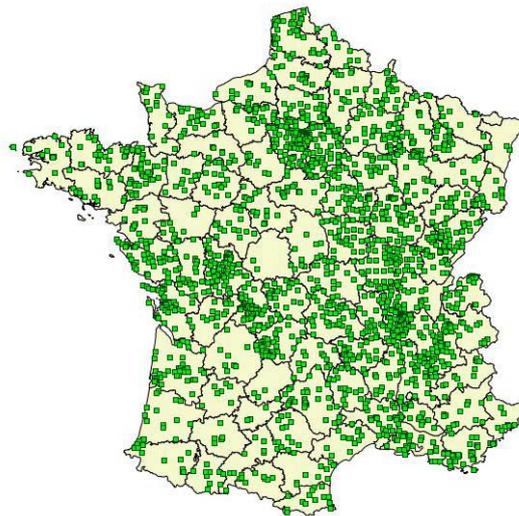
dédiées au maintien de la connectivité, c'est-à-dire de la décliner spatialement mais aussi temporellement. Dans ce contexte, le groupe des oiseaux forestiers semble le plus pertinent à considérer étant donné ; i) la série temporelle couverte par les données du STOC-écoute (1989-2014), ii) le gradient de fragmentation constaté des milieux boisés et iii) la sensibilité potentielle, due à des raisons évolutives, de ces espèces à la pression (fragmentation des forêts) et donc potentiellement à la réponse (restauration de trame verte). Dans ce cas, la distance de dispersion post-natale moyenne des espèces sera utilisée comme proxy de la sensibilité moyenne des espèces à la fragmentation.

Cet indicateur sera notamment confronté à la spécialisation à l'habitat des communautés (CSI, cf. ci-après). Il a en effet été démontré une plus grande sensibilité des espèces spécialistes à la fragmentation (par rapport aux espèces généralistes), se traduisant par une diminution du degré moyen de spécialisation des communautés (CSI, Devictor *et al.*, 2008). Ce CSI est donc un bon indicateur fonctionnel de la réponse des communautés à la transformation des habitats.

3 Les données et méthodes

3.1 Le STOC un programme national de science participative

En France, nous disposons du programme de Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Echantillonnages Ponctuels Simples (STOC-EPS) lancé en France au printemps 1989 et réajusté en 2001 (Jiguet *et al.*, 2011). Chaque observateur, ornithologue bénévole, se voit attribuer un carré de 2x2 km tiré au sort dans un rayon de 10 km autour d'une commune de son choix. A l'intérieur de ce carré l'observateur répartit 10 points de comptage de manière homogène et proportionnellement aux habitats présents, sur lesquels il effectue deux relevés de 5 minutes exactement chaque printemps, à au moins 4 semaines d'intervalle. Tous les oiseaux vus et entendus sont notés, et un relevé de l'habitat est également effectué, selon un code utilisé dans d'autres pays européens et adapté pour la France. Cet observatoire nous fournit donc des données datées d'abondance pour plus d'une centaine d'espèces d'oiseaux communs. Ci-dessous la figure montre la localisation des quelques 2 300 carrés suivis au moins une fois entre 2001 et 2013.



Dans le cadre de ce travail, afin de simplifier l'interprétation des résultats au regard de la continuité écologique, nous nous sommes concentrés sur les milieux forestiers qui permettent une bonne appréhension de la fragmentation. Ainsi, nous avons considéré uniquement les points échantillonnés en milieu forestier afin de nous focaliser sur l'effet de la fragmentation forestière sur un indice de dispersion moyen des communautés. De plus, les points d'altitude supérieure à 800 m ont été exclus de l'analyse. Enfin, nous avons seulement considéré les années allant de 2006 à 2010 afin d'être cohérents avec les données habitats utilisées (voir ci-

après). Au final nous disposons donc d'un jeu de données de 4 201 points répartis dans 1 076 carrés.

3.2 Les indices de dispersion

3.2.1 Indice de dispersion des espèces (SDI)

Nous considérons comme indice de dispersion d'une espèce, la distance de dispersion natale observée dans les données de capture-marquage-recapture. Cette distance de dispersion natale correspond à la distance entre le site de naissance (où l'oiseau a été bagué) et le site de première reproduction (où l'oiseau est recapturé et contrôlé). Les oiseaux ont la particularité d'avoir, pour la majorité d'entre eux, de très bonnes capacités de déplacement et ils sont donc en général de très bons voyageurs. Un très grand nombre d'espèces présentent en effet des comportements migratoires, certaines d'entre elles réalisant des voyages de plusieurs milliers de kilomètres chaque année. Cependant, pour la plupart des espèces, la distance de dispersion natale est de quelques kilomètres seulement. Cette dispersion natale nous renseigne sur le comportement réalisé des individus par rapport à leur lieu de naissance. Cet éloignement est dépendant de nombreux paramètres tels que la présence d'habitat, la complexité sociale des populations, la disponibilité en ressources alimentaires et en sites de reproduction. Nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit d'un bon indicateur de la capacité de dispersion des espèces pour l'analyse de connectivité.

Ces distances de dispersion natale (SDI) ont été renseignées par Paradis *et al.* (1998) pour de nombreuses espèces mais ce travail ne couvre toutefois que 61 des 137 espèces détectées par les ornithologues dans le cadre du programme STOC. Nous avons donc utilisé une liste complète publiée par Barbet-Massin *et al.* (2012).

3.2.2 Indice de dispersion moyen des communautés (CDI)

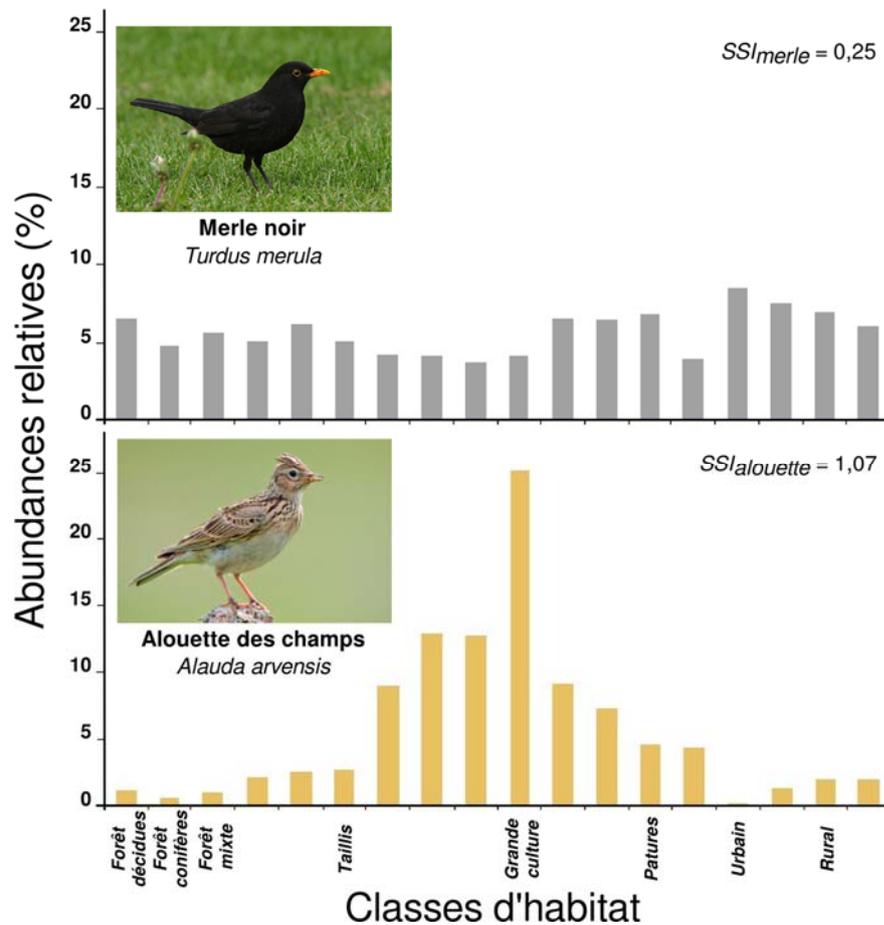
L'indice de dispersion moyen d'une communauté (CDI) est la moyenne des indices de dispersion des espèces (SDI), indice pondéré par leur abondance observée dans la communauté.

$$CDI = \frac{\sum_i N_i SDI_i}{\sum_i N_i}$$

3.3 Indices d'état de la biodiversité

3.3.1 L'indice de spécialisation à l'habitat (SSI)

L'indice de spécialisation à l'habitat des espèces (SSI) est le coefficient de variation des abondances relatives dans 18 classes d'habitats. Cela signifie que le SSI est le résultat de la division de l'écart-type des abondances dans les différentes classes par la moyenne de ces abondances. Les abondances relatives sont estimées à partir des données du programme STOC.



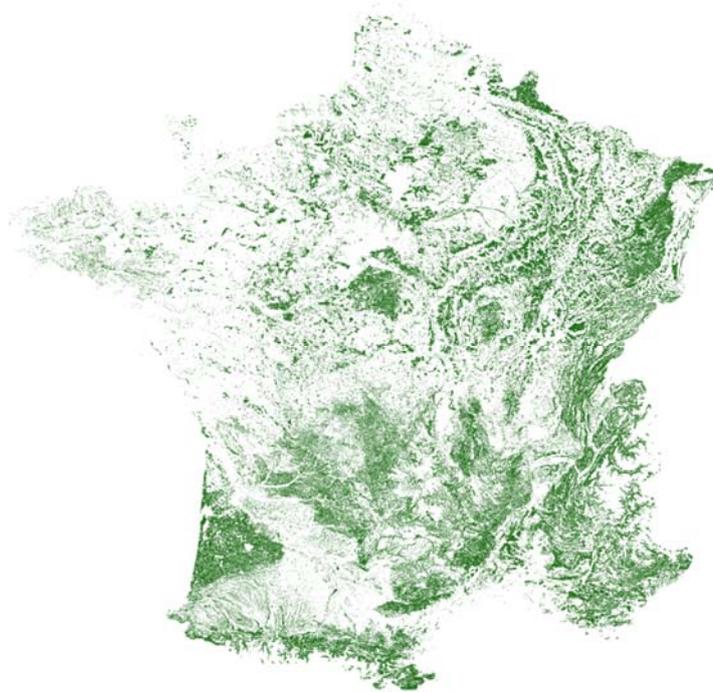
3.3.2 La spécialisation de la communauté (CSI)

L'indice de spécialisation d'une communauté (CSI) est la moyenne des indices de spécialisation à l'habitat des espèces (SSI), indice pondéré par leur abondance observée dans la communauté.

$$CSI = \frac{\sum_i N_i SSI_i}{\sum_i N_i}$$

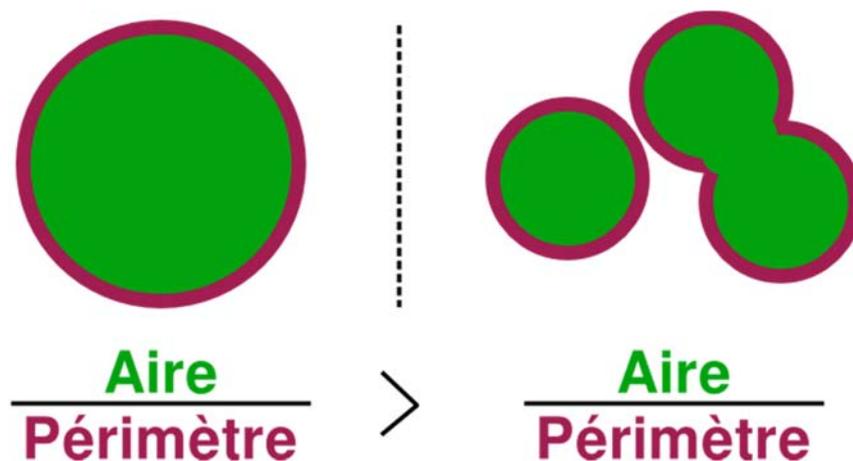
3.4 L'occupation du sol

Le présent travail étant centré sur les communautés d'oiseaux forestiers, nous avons considéré les zones forestières définies par la base de données Corine Land Cover de 2006 en ne conservant que les parcelles du poste 31 « Forêt ».



3.4.1 Indices de fragmentation

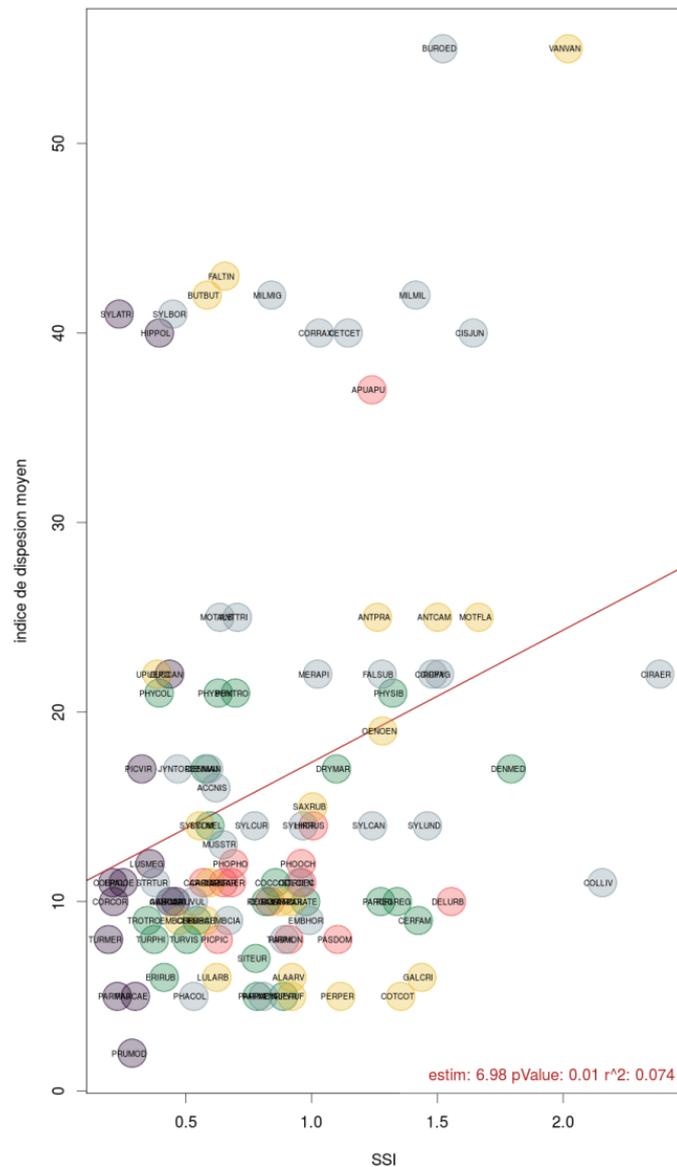
Autour de chaque carré d'échantillonnage STOC nous avons décrit le paysage forestier dans un rayon de dix kilomètres. Cette description correspond au calcul de deux indicateurs structurels de la connectivité. Il s'agit de la surface boisée dans ce rayon de dix kilomètres et l'agrégation (Aire / Périmètre) des taches boisées, toujours dans le rayon de dix kilomètres.



4 Les résultats

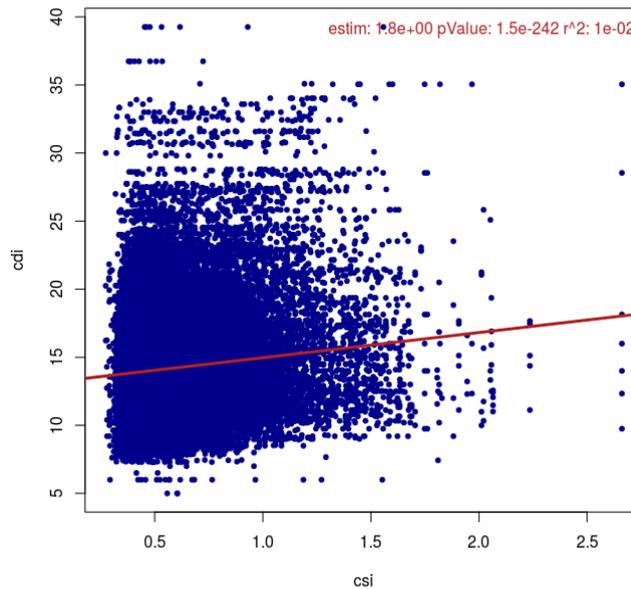
4.1 Quelles relations entre indice de dispersion natal (SDI) et degré de spécialisation à l'habitat (SSI) des espèces ?

La figure montre une relation corrélative positive et significative entre le SDI et le SSI. Ainsi les espèces les plus spécialisées aux habitats ont tendance à avoir la plus grande dispersion natale. Cependant cette relation n'est que peu soutenue car elle perd sa significativité si l'analyse est réalisée avec les deux seuls groupes focus de notre étude c'est-à-dire les espèces généralistes (pastilles grises) et les espèces spécialistes des habitats forestiers (pastilles vertes).



4.2 CDI et spécialisation des communautés à l'habitat

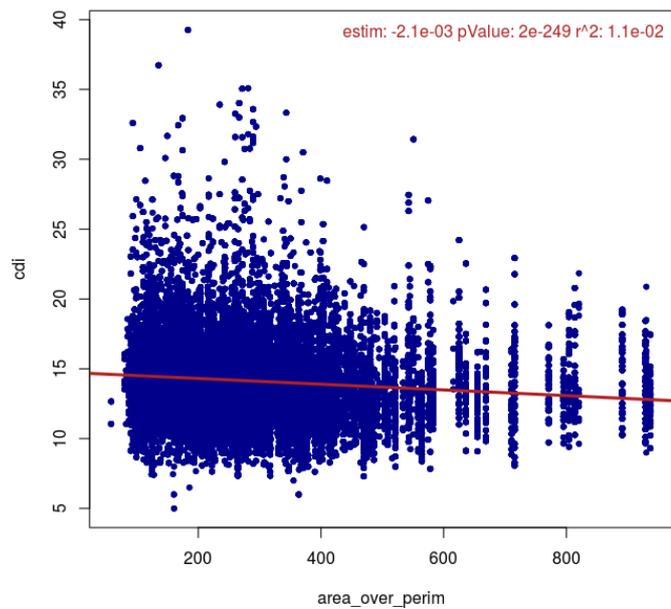
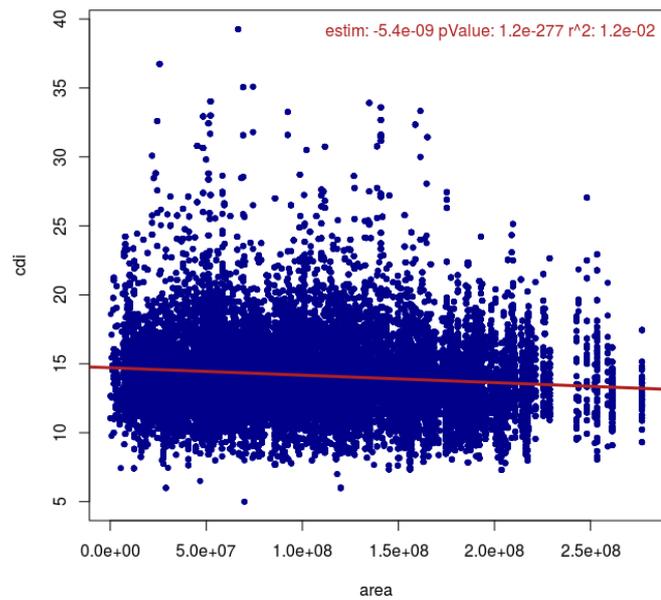
Comme attendu, le CSI montre une corrélation positive significative avec le CDI (n = 107 447). Ainsi, les communautés qui sont le plus composées d'individus d'espèces spécialistes sont celles dont la distance de dispersion natale moyenne (CDI) est la plus grande. Cependant, la part de variance expliquée étant seulement de 1 %, cet indicateur CDI ne semble pas redondant avec le CSI.



4.3 Le CDI et les indicateurs structurels du paysage

L'indicateur de dispersion des communautés (CDI) est corrélé aux indicateurs structurels du paysage (n = 107 447). Ainsi, nous observons une très légère mais significative corrélation négative entre le CDI et la surface forestière dans un rayon de dix kilomètres autour du site d'échantillonnage.

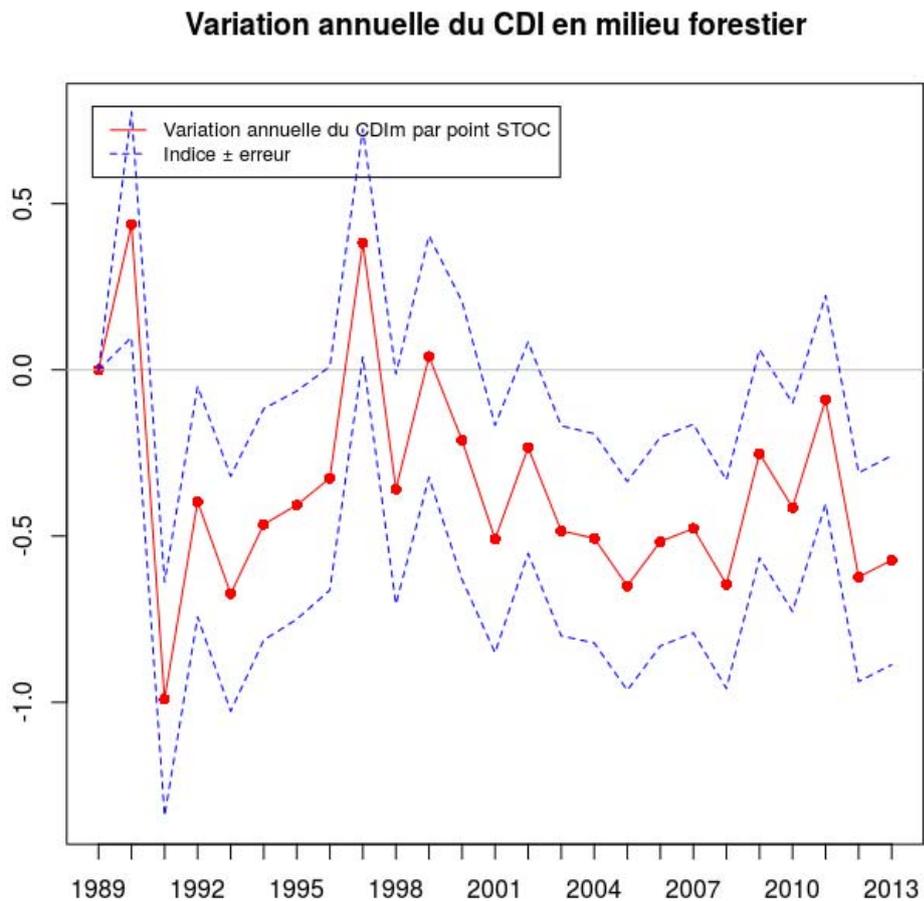
Nous observons aussi un effet toujours négatif mais plus important de l'agrégation des taches forestières dans le rayon de 10 km sur le CDI (n = 107 447).



4.4 Tendence temporelle nationale du CDI

La tendance nationale d'un tel indicateur nous renseigne sur la transformation globale des communautés à l'échelle du territoire métropolitain français.

Le CDI national ne montre pas de tendance significative depuis 1989 et non plus depuis 2000. Cependant la courbe de son évolution temporelle montre une variabilité importante et suggère une diminution (non statistiquement significative) ces dernières années.



5 Discussion et perspectives

5.1 Le SDI

Le SDI que nous proposons dans ce travail est basé sur les distances de dispersion natale. Ces données sont issues, pour un certain nombre, d'analyses de données telles que les données de capture-marquage-recapture, et déjà publiées, et semblent robustes, objectives et simples à interpréter. Par exemple, on note une corrélation positive entre ce SDI et le degré de spécialisation à l'habitat des espèces (SSI). Cette corrélation est attendue. En effet, les jeunes des espèces utilisant une gamme restreinte d'habitat (espèce spécialiste) seront souvent obligés, afin de retrouver un habitat favorable, de s'éloigner davantage de leur lieu de naissance que des jeunes d'espèces généralistes (donc moins exigeants envers l'habitat).

Cependant, la faiblesse de l'utilisation des distances de dispersion natale est que celles-ci ne sont pas disponibles pour toutes les espèces et manquent pour un grand nombre d'espèce de notre étude, ce qui nécessite des approximations importantes pouvant être sources de bruit.

5.2 Le CDI

L'interprétation écologique au niveau de la communauté de l'indicateur de dispersion moyen de la communauté (CDI) montre tout d'abord une faible corrélation avec le degré de spécialisation de la communauté (CSI). Cette corrélation est attendue, mais le faible r^2 met en évidence qu'une grande part de la variance du CDI n'est pas expliquée par le CSI. Ceci est important car cela nous informe sur le fait que ces deux indicateurs ne sont pas redondants mais plutôt complémentaires.

Face aux indicateurs structurels du paysage le CDI montre un comportement satisfaisant. Ainsi, la très faible corrélation avec la surface forestière sous-entend que l'indicateur réagit peu à la taille du patch d'habitat. Par contre, la bonne corrélation avec l'agrégation des tâches forestières montre qu'il semble réagir à la connectivité. Ainsi, plus la connectivité augmente (ou plus l'agrégation augmente), plus le CDI diminue. En d'autres termes, il semble que plus l'habitat est connecté et moins la communauté est soumise à un filtre écologique qui sélectionne des espèces devant avoir des distances de dispersion natale importante.

Par conséquent, un objectif pour l'élaboration des trames vertes et bleues sera la diminution du CDI dans les communautés.

A l'échelle nationale la tendance semble montrer une diminution de ce CDI depuis 2001. Ce résultat semble aller tout à fait dans le bon sens et serait compatible avec la dynamique forestière nationale. En effet cette dynamique montre une augmentation des surfaces

forestières en France depuis plusieurs décennies. Ainsi selon l'interprétation de la tendance du CDI, cette augmentation de surface se serait accompagnée d'une augmentation de la connectivité globale entre les massifs forestiers en France métropolitaine.

5.3 Perspectives

5.3.1 Pour améliorer l'indicateur

Une analyse de la réponse temporelle des communautés en fonction de la transformation des indicateurs du paysage permettrait une validation finale de l'approche testée ici. Ce type d'analyse nécessite des données temporelles de la transformation du paysage. Une base de données telle que la base de données TERUTTI (du ministère de l'agriculture) pourrait être exploitée dans ce sens.

Il semble qu'il serait nécessaire aussi d'affiner la méthode d'estimation du SDI. Pour cela, deux approches complémentaires pourraient être mises en œuvre :

1. Des mesures de variables biométriques sur des individus de collection, qui permettraient d'apporter une information sur les capacités de déplacement des espèces (Dawideit *et al.*, 2009).
2. Des analyses statistiques, des données STOC par des outils de modélisation de métapopulations, qui permettraient des estimations de paramètres équivalents aux taux de dispersions natales.

5.3.2 Vis-à-vis de la Trame verte et bleue

Les calculs dans ce travail ont porté sur des données antérieures à la mise en place de la TVB (le premier SRCE adopté datant de fin 2013). L'objectif était donc de vérifier ici la pertinence même d'un tel indicateur sans pour le moment entrer dans une évaluation en tant que telle de la TVB. En ce sens, les résultats concluants ouvrent des perspectives pour l'avenir : les calculs pourront être refaits avec des données contemporaines à la mise en œuvre Trame verte et bleue et comparés avec cet « état initial ».

Dans le même temps, la démarche présentée ici a porté uniquement sur les milieux forestiers qui sont globalement dans une dynamique positive en France. Si le milieu boisé est intéressant d'un point de vue fondamental pour étudier la fragmentation, il n'est donc peut-être pas le plus pertinent pour évaluer l'efficacité de la TVB même si l'on peut espérer au moins de la TVB qu'elle participe au maintien de cette dynamique positive des milieux boisés en France. Il serait donc intéressant quand même de tester cet indicateur sur d'autres milieux actuellement en dynamique plutôt négative, impactés par la fragmentation, et pour lesquels on pourrait espérer dans l'avenir une inversion de tendance grâce (au moins en partie) à la

TVB. Ces milieux en situation actuelle défavorable seraient sans doute plus révélateurs du rôle effectif de la TVB.

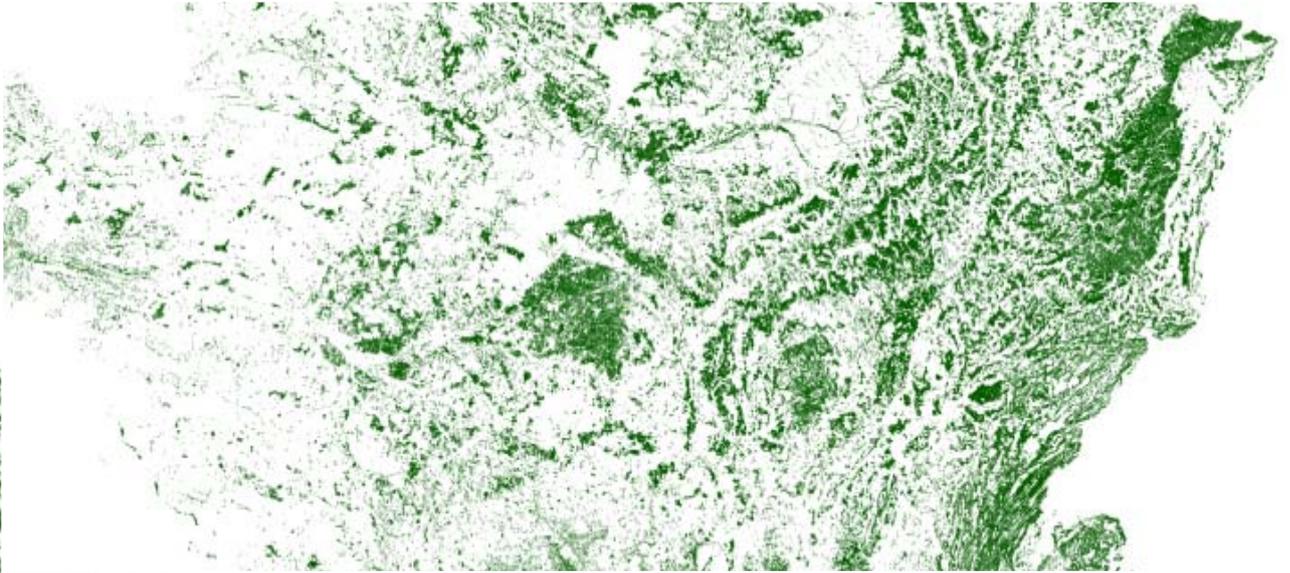
6 Remerciements

Nous remercions les observateurs volontaires du STOC, sans lesquels ces analyses ne pourraient être conduites.

7 Références citées

- Amsallem J., Tonneau J.P., Salles E., Sordello R., Benko S. (2013). *Propositions pour le dispositif de suivi et d'évaluation d'un Schéma Régional de Cohérence Ecologique*. Irstea, MEDDE, MNHN, ONEMA. 27 pages + annexe + fiches indicateurs.
- Balmford, Andrew, and William Bond. 2005. "Trends in the State of Nature and Their Implications for Human Well-Being." *Ecology Letters* 8 (11): 1218–34. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00814.x.
- Barbet-Massin, Morgane, Wilfried Thuiller, and Frédéric Jiguet. 2012. "The Fate of European Breeding Birds under Climate, Land-Use and Dispersal Scenarios." *Global Change Biology* 18 (3): 881–90. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02552.x.
- Danielson, B. J., and M. W. Hubbard. 2000. "Effects of Corridors on Home Range Sizes and Interpatch Movements of Three Small Mammal Species." *Landscape Ecology* 15 (4): 323–31.
- Dawideit, Britta A., Albert B. Phillimore, Irina Laube, Bernd Leisler, and Katrin Böhning-Gaese. 2009. "Ecomorphological Predictors of Natal Dispersal Distances in Birds." *Journal of Animal Ecology* 78 (2): 388–95. doi:10.1111/j.1365-2656.2008.01504.x.
- Debinski, Diane M., and Robert D. Holt. 2000. "A Survey and Overview of Habitat Fragmentation Experiments." *Conservation Biology* 14 (2): 342–55. doi:10.1046/j.1523-1739.2000.98081.x.
- Devictor Vincent, Romain Julliard, Joanne Clavel, Frédéric Jiguet, Alexandre Lee, and Denis Couvet. 2008. "Functional Biotic Homogenization of Bird Communities in Disturbed Landscapes." *Global Ecology and Biogeography* 17 (2): 252–61. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00364.x.
- Doerr, Veronica A. J, Tom Barrett, and Erik D Doerr. 2011. "Connectivity, Dispersal Behaviour and Conservation under Climate Change: A Response to Hodgson et Al." *Journal of Applied Ecology* 48 (1): 143–47. doi:10.1111/j.1365-2664.2010.01899.x.
- Doxa, Aggeliki, Maria Luisa Paracchini, Philippe Pointereau, Vincent Devictor, and Frédéric Jiguet. 2012. "Preventing Biotic Homogenization of Farmland Bird Communities: The Role of High Nature Value Farmland." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 148: 83–88. doi:10.1016/j.agee.2011.11.020.

- Fahrig, L. 2003. "Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 487–515. doi:10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.
- Haddad, N. M., and K. A. Baum. 1999. "AN EXPERIMENTAL TEST OF CORRIDOR EFFECTS ON BUTTERFLY DENSITIES." *Ecological Applications* 9 (2): 623–33. doi:10.1890/1051-0761(1999)009[0623:AETOCE]2.0.CO;2.
- Hodgson, Jenny A, Chris D Thomas, Brendan A Wintle, and Atte Moilanen. 2009. "Climate Change, Connectivity and Conservation Decision Making: Back to Basics." *Journal of Applied Ecology* 46 (5): 964–69. doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01695.x.
- Hugueny, Bernard, Aurore Movellan, and Jérôme Belliard. 2011. "Habitat Fragmentation and Extinction Rates within Freshwater Fish Communities: A Faunal Relaxation Approach." *Global Ecology and Biogeography* 20 (3): 449–63. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00614.x.
- Jennifer Amsallem, Jean-Philippe Tonneau, Elodie Salles, Romain Sordello, Sophie Benko (2013). *Propositions pour le dispositif de suivi et d'évaluation d'un Schéma Régional de Cohérence Ecologique*. Irstea, MEDDE, MNHN, ONEMA. 27 pages + annexe + fiches indicateurs.
- Jiguet, Frédéric, Vincent Devictor, Romain Julliard, and Denis Couvet. 2012. "French Citizens Monitoring Ordinary Birds Provide Tools for Conservation and Ecological Sciences." *Acta Oecologica* 44 (October): 58–66. doi:10.1016/j.actao.2011.05.003.
- Lande, R. 1993. "Risks of Population Extinction from Demographic and Environmental Stochasticity and Random Catastrophes." *The American Naturalist* 142 (6): 911–27.
- Mader, H.-J. 1984. "Animal Habitat Isolation by Roads and Agricultural Fields." *Biological Conservation* 29 (1): 81–96. doi:10.1016/0006-3207(84)90015-6.
- Merriam, G. 1984. "Connectivity: A Fundamental Ecological Characteristic of Landscape Pattern." In *Methodology in Landscape Ecological Research and Planning*, 5–16. Roskilde University Centre, Roskilde, Denmark: Roskilde University Centre.
- Paradis, Emmanuel, Stephen R. Baillie, William J. Sutherland, and Richard D. Gregory. 1998. "Patterns of Natal and Breeding Dispersal in Birds." *Journal of Animal Ecology* 67 (4): 518–36. doi:10.1046/j.1365-2656.1998.00215.x.
- Penone, Caterina, Nathalie Machon, Romain Julliard, and Isabelle Le Viol. 2012. "Do Railway Edges Provide Functional Connectivity for Plant Communities in an Urban Context?" *Biological Conservation* 148 (1): 126–33. doi:10.1016/j.biocon.2012.01.041.
- Quinn, James F., and Susan P. Harrison. 1988. "Effects of Habitat Fragmentation and Isolation on Species Richness: Evidence from Biogeographic Patterns." *Oecologia* 75 (1): 132–40. doi:10.1007/BF00378826.
- Steffan-Dewenter, I., and T. Tscharntke. 2000. "Butterfly Community Structure in Fragmented Habitats." *Ecology Letters* 3 (5): 449–56. doi:10.1111/j.1461-0248.2000.00175.x.
- Taylor, P. D, L. Fahrig, K. Henein, and G. Merriam. 1993. "Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure." *Oikos* 68 (3): 571–73.



Comme pour toute politique, il est nécessaire de suivre et d'évaluer l'efficacité de la Trame verte et bleue, programme national destiné à lutter contre le phénomène de fragmentation des habitats. A cet effet, une batterie nationale d'indicateurs a été proposée, dont certains restent à construire. C'est le cas de l'indicateur ESP2 qui porte sur le suivi de la répartition de certaines espèces. Plusieurs difficultés existent en effet pour concrétiser ce type d'indicateur, notamment la disponibilité en données adaptées et la dimension fonctionnelle à intégrer pour correspondre à la spécificité du phénomène de fragmentation que l'on souhaite mesurer.

Le travail présenté dans ce rapport a ainsi pour objectif d'initier une réflexion pour la construction d'un indicateur basé sur la répartition d'espèces, en explorant la possibilité :

- d'utiliser les données de répartitions issues de la science participative (programme STOC) en réalisant notre calcul directement à l'échelle nationale,
- de recourir à l'indice de dispersion moyen des communautés (CDI) comme indicateur de sensibilité des communautés à la fragmentation des paysages pour ajouter une dimension fonctionnelle à la démarche.