



Cybergeo : revue européenne de géographie / European journal of geography

Revue fondée en 1996 / Journal founded in 1996
Environnement, Nature, Paysage | 2024

La compensation écologique permet-elle vraiment de tendre vers l'absence de perte nette de biodiversité ?

Does ecological offsetting really enable us to move towards no biodiversity net loss?

¿Permite realmente la compensación ecológica avanzar hacia una ausencia de pérdida neta en biodiversidad ?

Brian Padilla, Salomé Gelot, Adrien Guette et Jonathan Carruthers-Jones



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/cybergeo/40826>

DOI : [10.4000/cybergeo.40826](https://doi.org/10.4000/cybergeo.40826)

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par INESAAE



Référence électronique

Brian Padilla, Salomé Gelot, Adrien Guette et Jonathan Carruthers-Jones, « La compensation écologique permet-elle vraiment de tendre vers l'absence de perte nette de biodiversité ? », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 1060, mis en ligne le 15 février 2024, consulté le 29 février 2024. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/40826> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.40826>

Ce document a été généré automatiquement le 14 février 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

La compensation écologique permet-elle vraiment de tendre vers l'absence de perte nette de biodiversité ?

Does ecological offsetting really enable us to move towards no biodiversity net loss?

¿Permite realmente la compensación ecológica avanzar hacia una ausencia de pérdida neta en biodiversidad ?

Brian Padilla, Salomé Gelot, Adrien Guette et Jonathan Carruthers-Jones

Introduction

- 1 Alors que l'humanité est confrontée à la multiplication des crises écologiques, nos sociétés doivent s'organiser pour les atténuer, en adaptant ou modifiant nos activités afin qu'elles soient soutenables (Convention on Biological Diversity, 2022). Ce double objectif d'atténuation et d'adaptation est aujourd'hui régulièrement mis en avant dans le débat public concernant la lutte contre les changements climatiques. Il doit toutefois être également considéré au regard des enjeux de préservation de la biodiversité tant la communauté scientifique a mis en évidence ces dernières décennies la crise sans précédent, par son ampleur et par sa rapidité, que traverse le vivant (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019). La détermination des causes de l'effondrement de la biodiversité fait désormais l'objet d'un fort consensus scientifique, relayé par la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019). Parmi elles, le changement d'occupation des sols, entraînant la perte et la fragmentation des habitats naturels est souvent considérée comme l'une des principales sources de pression sur la biodiversité (Newbold *et al.*, 2015 ; Newbold *et al.*,

2016 ; Foley *et al.*, 2005). L'occupation de l'espace par des pratiques plus intensives et homogènes (urbanisation, agriculture ou sylviculture) se fait au détriment du bon fonctionnement des écosystèmes, qui repose en partie sur la diversité des relations entre chaque élément de biodiversité qui le constitue. En France, ce phénomène se traduit notamment par la perte de plus de 265 000 hectares de milieux naturels entre 1990 et 2018, devenus des territoires urbanisés, des territoires agricoles ou des plans d'eau (indicateur de l'observatoire national de la biodiversité, sur la base des données de Corine Land Cover).

- 2 Pour tenter de lutter contre ce phénomène, la France légifère depuis plus de 40 ans pour proposer des instruments d'action publique ayant pour objectif de neutraliser les incidences environnementales des activités humaines sur son territoire. Elle a notamment introduit, dans la loi relative à la protection de la nature de 1976, une séquence visant à éviter, réduire, puis compenser les modifications que les travaux ou projets d'aménagement sont susceptibles d'occasionner sur l'environnement.
- 3 Cette séquence, dite "ERC" (Éviter-Réduire-Compenser), impose à tout porteur de projet, plan ou programme d'identifier les incidences de son activité sur l'environnement et notamment sur les espèces, les habitats et les fonctions écologiques, puis de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour minimiser ces incidences en les évitant, puis les réduisant, afin de proposer en dernier lieu des mesures dites "compensatoires" pour contrebalancer les incidences n'ayant pu être ni évitées, ni suffisamment réduites. En pratique, les porteurs de projets s'appuient sur des opérateurs de compensation, bureaux d'études ou associations pour les accompagner dans cette démarche.
- 4 L'application de la séquence "ERC" a ensuite évolué au gré des réformes des études d'impacts, de l'établissement d'une doctrine nationale et de lignes directrices publiées par le ministère chargé de l'écologie au début des années 2010. Ces dernières traduisent en grande partie les dispositions réglementaires françaises et rappellent que les mesures de compensation doivent démontrer une plus-value écologique, c'est à dire une amélioration substantielle des fonctions réalisées sur le site et, par conséquent, de son état écologique. Puis, lorsque la puissance publique adopte la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages en 2016, elle confirme que la mise en œuvre de la séquence doit viser "l'absence de perte nette de biodiversité", la consacrant comme un outil majeur à la fois de l'atténuation des incidences et de l'adaptation aux changements qu'impliquent notre utilisation de l'espace.
- 5 Pour justifier d'une "absence de perte nette de biodiversité", la séquence "ERC" doit conduire à la mise en œuvre de mesures compensatoires générant des gains de biodiversité équivalents aux pertes occasionnées par les projets malgré les mesures d'évitement ou de réduction. Ces mesures peuvent se traduire par création d'habitats naturels (plantation de haies, de ripisylve, création de mares, reboisement, etc.), par la restauration de milieux soumis à des pressions (enlèvement d'espèces exotiques envahissantes, décaissement du sol ou suppression de remblais visant à remodeler la topographie d'une parcelle) ou par la modification de pratiques de gestion (abandon de gestion pour mettre en place des îlots de sénescence, qui consistent à laisser une parcelle sylvicole en libre évolution et sans objectif d'exploitation malgré la mort de certains individus ; mais aussi changement de pratiques culturelles, conversions en jachère ou prairie, etc.). Elles doivent être réalisées à proximité fonctionnelle des impacts occasionnés par le projet, c'est-à-dire qu'elles doivent pouvoir bénéficier aux

mêmes populations d'espèces ou remplir des fonctions dans la même entité écologique que celle impactée (par exemple au sein d'un même réseau d'habitats naturels, ou au sein d'un même bassin versant). Il appartient ensuite à l'autorité décisionnaire, à savoir le préfet de département ou de région, d'évaluer, sur la base des travaux d'instruction des services déconcentrés de l'État (Directions départementales des territoires ou Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement) si ces mesures peuvent être considérées comme satisfaisantes. Si les deux premières étapes de la séquence doivent être les garantes d'une minimisation des incidences des activités sur l'environnement, l'aménagement du territoire se fait encore en partie sur des espaces naturels, et participe à fragiliser l'intégrité des écosystèmes en occasionnant perte et fragmentation des habitats naturels. Dès lors, les mesures compensatoires doivent contribuer à réparer ces incidences en suivant une stratégie de gain cohérente avec les objectifs de préservation de la biodiversité.

- 6 Dans cet article, nous considérons que cette stratégie doit remplir deux conditions afin de tendre vers l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Tout d'abord, les mesures compensatoires doivent être réalisées sur des espaces présentant un fort potentiel de gain écologique, représenté par la probabilité de pouvoir générer un gain écologique par des actions de compensation. À ce titre, de nombreux auteurs ont montré la nécessité, pour les sites de compensation, de présenter un état dégradé ou, du moins, une évolution défavorable pour la biodiversité (Weissgerber *et al.*, 2019 ; Pope *et al.*, 2021 ; Maron *et al.*, 2012). De fait, les mesures de compensation doivent permettre d'améliorer l'intégrité biophysique¹ du site en supprimant des sources de pression ou en restaurant des habitats et des fonctions écologiques, de telle sorte que le site contribue davantage à la biodiversité locale après la mise en œuvre de la mesure. Considérant ce postulat, les mesures compensatoires devraient être réalisées préférentiellement dans des espaces de faible intégrité biophysique, pour lesquels les actions entreprises peuvent générer des gains importants. Ensuite, les mesures doivent s'inscrire dans un contexte écologique favorable autour du site de compensation. Plusieurs travaux mettent en effet en évidence l'importance du contexte paysager² dans les processus de colonisation des sites par les espèces ciblées par les actions écologiques et, dans le cas de la compensation, l'amplitude des gains que l'on peut obtenir (Hodgson *et al.*, 2011 ; Berges *et al.*, 2020). Les mesures compensatoires devraient donc être réalisées préférentiellement au sein d'un contexte paysager présentant une bonne intégrité biophysique et contribuant à la connectivité des réseaux écologiques pour maximiser les chances de réussite des actions entreprises.
- 7 Ces dernières années, la littérature scientifique a abondamment documenté, en France, le processus de mise en œuvre des mesures compensatoires à l'échelle des sites pour souligner l'écart entre ces hypothèses et les pratiques constatées (Devictor, 2018 ; Weissgerber *et al.*, 2019 ; Bigard *et al.*, 2018 ; Jacob, Pioch, Thorin 2016 ; Vaissière, Bierry, Quétier, 2016). La majorité de ces travaux reposait alors sur des cas d'études localisés, à partir desquels étaient formulées des hypothèses sur les tendances nationales. Pour compléter ces travaux, nous utilisons ici les données de mesures compensatoires géolocalisées en France depuis 2017, ce qui nous permet d'étudier plus de 1 000 mesures sur l'ensemble du territoire métropolitain. Nous évaluons ainsi si celles-ci sont réalisées sur des sites choisis pour maximiser le gain écologique, suivant une stratégie permettant de justifier que la séquence "ERC" vise effectivement une trajectoire vers l'absence de perte nette de biodiversité.

Données utilisées

GéoMCE, la base de données des mesures de compensation géolocalisées

- 8 La base de données GéoMCE, produite par le commissariat général au développement durable (CGDD) et le Cerema, est destinée aux services de l'État et vise à cartographier, à suivre et contrôler les mesures d'évitement, de réduction, de compensation et d'accompagnement prescrites dans le cadre de projets soumis à diverses procédures au titre du code de l'environnement. Les mesures y sont géolocalisées sous plusieurs formats : des polygones simples ou multiples, des lignes simples ou multiples, des points simples ou multiples, ou au niveau du centroïde la commune dans laquelle est réalisée la mesure. Actuellement, seules les mesures de compensation relatives à la biodiversité sont accessibles au public sur le site Géoportail³, un portail web mis en œuvre par l'Institut National de Géographie (IGN), donnant accès à des services de recherche, de téléchargement et de visualisation des données géographiques en France⁴. Dans la mesure où ce sont les services instructeurs déconcentrés (au sein des régions ou des départements) qui saisissent dans GéoMCE les mesures de compensation sur la base des informations issues de l'instruction des dossiers de projets d'aménagement, celle-ci connaît un remplissage hétérogène d'une région à une autre (Gelot, Bigard, 2021). Cette hétérogénéité dépend majoritairement du temps consacré au remplissage de la base de données et des pratiques de saisies (Gelot, Bigard, 2021, tableau 1), mais probablement aussi de la taille de la région et des activités économiques s'y déployant. Dans le format actuel de la base de données, le lien entre la mesure compensatoire et le projet qu'elle vient compenser ne peut être réalisé. En conséquence, cette étude n'évalue pas la proximité fonctionnelle des mesures compensatoires par rapport à la source des impacts.

Tableau 1 : Répartition par région du nombre de sites de compensation écologique étudiés et de la surface totale qu'ils représentent en hectares

| Région | Nombre de sites de compensation | Surface de compensation (en ha) |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <i>Auvergne-Rhône-Alpes</i> | 1 172 | 2 788,6 |
| <i>Nouvelle-Aquitaine</i> | 348 | 1 177,6 |
| <i>Hauts-de-France</i> | 341 | 974,6 |
| <i>Grand-Est</i> | 304 | 2556 |
| <i>Occitanie</i> | 161 | 1 226,25 |
| <i>Île-de-France</i> | 138 | 193,74 |
| <i>Pays-de-la-Loire</i> | 136 | 163 |

| | | |
|----------------------------|----|-------|
| Bretagne | 69 | 319,6 |
| Centre-Val de Loire | 62 | 671 |
| Normandie | 44 | 84,1 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 35 | 111,7 |
| Bourgogne-Franche-Comté | 29 | 94,2 |
| Corse | 1 | 1,61 |

Données : base GéoMCE

- 9 Les mesures de compensation géolocalisées sont parfois réalisées sur plusieurs entités géographiques distinctes. On parle alors de site de compensation pour chacune de ces entités. Les analyses réalisées portent sur les sites de compensation renseignés sous le format de polygones simples ou multiples du domaine terrestre de la France métropolitaine, sur la période allant du 1er janvier 2017 au 15 mars 2021, date de début de l'étude. Ainsi, l'analyse porte sur 2 840 sites de compensation pour un total de 1 153 mesures de compensation. Les données aberrantes ou celles dont la saisie était manifestement erronée ont été retirées de l'échantillon : il s'agit par exemple d'une mesure concernant une multitude d'actions de compensations réalisées dans le cadre d'un projet d'infrastructure linéaire, mais qui avait été saisie à l'échelle de l'ensemble de l'aire d'étude du projet, ce qui représentait plus d'une dizaine de milliers d'hectares et ne correspondait pas à l'emprise réelle des sites de compensation.

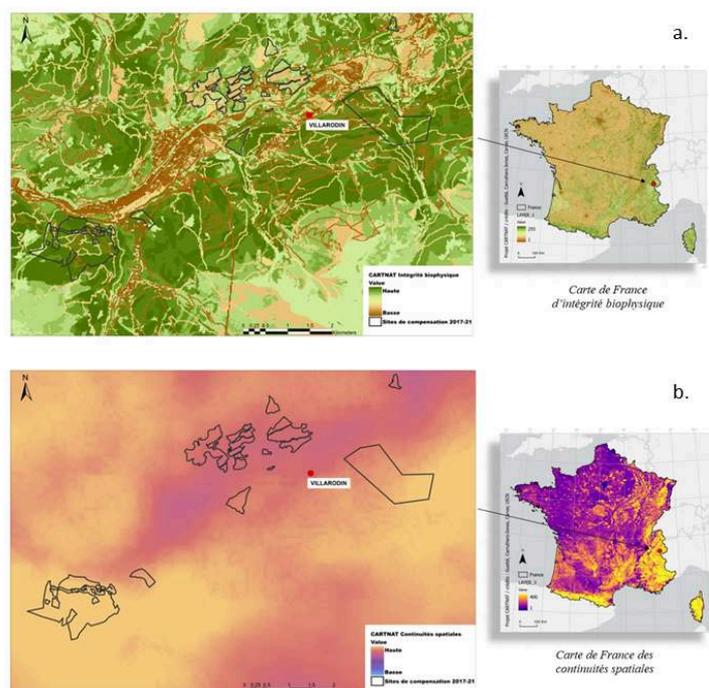
Cartographie de la naturalité potentielle de France métropolitaine (CARTNAT)

- 10 Afin de tester les deux conditions (i) de potentialité de gain écologique selon le site d'implantation de la mesure de compensation et (ii) de proximité avec des sites connectés à un réseau de sites de bonne intégrité biophysique, nous avons utilisé la cartographie nationale de "naturalité potentielle" de France métropolitaine, CARTNAT (Guetté *et al.*, 2018)⁵. Cette cartographie repose sur trois facettes pour qualifier la naturalité des paysages : "*l'intégrité biophysique de l'occupation du sol, qui traduit un état d'éloignement d'un paysage à ce qu'il serait sans transformation anthropique ; la spontanéité des processus, qui évalue le degré d'intervention humaine sur les dynamiques naturelles ; et les continuités spatiales, qui correspondent au degré de connectivité des paysages*" (Guetté, Carruthers-Jones, Carver, 2021).
- 11 Pour cette étude, nous avons utilisé deux couches spatiales de CARTNAT, celle de l'intégrité biophysique et une combinaison de cette même couche avec celle des continuités spatiales que l'on considère ici comme des variables proxies des deux conditions nécessaires à la bonne mise en œuvre de la compensation écologique.
- 12 La première carte correspond à l'intégrité biophysique (figure 1). Celle-ci repose sur la notion d'*hemeroby* qui fournit une mesure de l'impact anthropique sur les paysages et les habitats à l'aide d'une échelle, dans laquelle les valeurs les plus élevées (*ahemerob*) correspondent à des paysages "naturels" ou non perturbés tandis que les paysages

artificiels obtiennent les valeurs les plus faibles (*metahemerob*) (Paracchini, Capitani, 2011). Pour produire cette carte, les auteurs ont utilisé un ensemble de données liées à l'occupation du sol. La résolution spatiale de la couche d'intégrité biophysique est de 20 mètres.

- 13 La deuxième carte correspond à une modélisation des continuités écologiques produite à partir de l'intégrité biophysique de l'occupation du sol (figure 1). La carte des continuités spatiales des paysages a été réalisée avec le modèle "Omniscape" (McRae *et al.*, 2016). Ce modèle repose sur la dispersion omnidirectionnelle des flux écologiques qui est issu de la théorie des circuits. Cet outil mobilise une approche qui ne nécessite pas la définition de "zones cœur" et qui a été développée spécifiquement dans le but de modéliser l'intégrité du paysage à grande échelle. Elle est de fait généralisable et se concentre sur la modélisation de la connectivité fondée sur les flux écologiques (*ecological flow*) et l'intégrité du paysage (Dickson *et al.*, 2017 ; Theobald, 2010). Les méthodes de modélisation de la connectivité fondées sur la théorie des circuits électriques offrent la possibilité de modéliser la connectivité de l'ensemble du paysage, pas nécessairement liée aux "zones cœurs" ou aux chemins de moindre coût entre les cœurs. Cette approche apparaît donc pertinente pour identifier les corridors d'intérêt pour plusieurs espèces, en particulier celles qui se dispersent sur de plus longues distances (Breckheimer *et al.*, 2014 ; Krosby *et al.*, 2015). Plus les espaces sont à haute intégrité, grands et bien connectés, plus l'indice de continuité est élevé. Les deux cartes ont été produites au 1/20000^{ème} avec une nuance de 255 valeurs⁶.

Figure 1 : Illustration des données d'intégrité biophysique et de continuités spatiales sur un territoire comportant des mesures compensatoires



a. À gauche, la carte du gradient d'intégrité biophysique croisée avec des sites de compensation en Savoie, à droite, les données d'intégrité biophysique en France métropolitaine.

b. À gauche, la carte des continuités spatiales croisée avec les mêmes sites de compensation en Savoie, à droite, les données de continuité spatiale à l'échelle de la France métropolitaine.

Données : projet CARTNAT et base GéoMCE
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Méthodes

Utiliser l'intégrité biophysique comme indicateur du potentiel de gain écologique

- 14 Afin d'évaluer le potentiel gain écologique des sites de compensation, nous croisons la couche raster d'intégrité biophysique de CARTNAT avec la couche vectorielle des sites de compensation téléchargée sur le site du Géoportail⁷. Pour chaque pixel intersectant un site de compensation, la surface correspondante est pondérée par la proportion de recouvrement du pixel par le site de compensation. Pour chaque site de compensation, nous disposons donc du cumul des surfaces associées à chaque valeur d'intégrité biophysique.
- 15 Pour tester si la compensation écologique est réalisée sur les espaces à plus faible intégrité biophysique, nous comparons les médianes des notes d'intégrité des sites de compensation avec celle des notes des territoires régionaux et nationaux. Sur la base de 2 000 échantillons de pixels contenant plus de 300 000 notes d'intégrité biophysique tirées aléatoirement et sans remise à l'échelle nationale, nous appliquons un test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney. Cette méthode, appelée simulation de

Monte Carlo, a été privilégiée en raison de la taille importante des groupes à tester (la France métropolitaine contient plus d'1,3 milliards de pixels). Le test de rang nous permet de comparer les médianes de notes d'intégrité biophysique entre deux groupes d'échantillons⁸.

- 16 Ensuite, nous évaluons si au moins une part des sites de compensation présente une intégrité biophysique relativement faible en identifiant la note correspondant au premier décile sur chaque site. Pour cela, nous classons, pour chaque site, les notes en ordre croissant et calculons la surface cumulée pour chaque valeur d'intégrité biophysique. Nous retenons ensuite la valeur pour laquelle 10 % de la surface de chaque site a une note d'intégrité biophysique inférieure ou égale à celle-ci. Après avoir identifié la note correspondant au premier décile de chaque site de compensation, nous observons leur répartition en considérant l'ensemble de l'échantillon de nos sites de compensation. En retenant le premier décile, nous choisissons d'observer si au moins 10 % de la surface des sites de compensation est située sur des espaces à l'intégrité biophysique relativement faible par rapport à la note médiane observée en France métropolitaine.
- 17 En raison de l'hétérogénéité du remplissage de la base selon les régions, nous avons également testé la significativité des différences entre sites de compensation et territoire régional⁹. Un test de Wilcoxon-Mann-Whitney a été réalisé.

Méthode de calcul de la qualité écologique du paysage autour des sites de compensation

- 18 Pour obtenir un indice de la qualité écologique à l'échelle du paysage autour d'un site de compensation, nous fusionnons la couche d'intégrité biophysique et de continuité spatiale. Puis, nous utilisons un *buffer* de 1 000 mètres autour de chaque site, dont est retiré l'emprise des sites de compensation. Cette taille de *buffer* est souvent utilisée en écologie pour analyser les effets du paysage en raison de sa capacité à inclure une gamme d'habitats différents (McGarigal, Marks, 1995 ; Qi *et al.*, 2017). Si deux *buffers* se croisent, leurs bords sont fusionnés afin d'éviter tout double comptage.
- 19 Afin de tester si le paysage des sites de compensation présente une qualité écologique supérieure à la médiane métropolitaine, nous comparons les notes de qualité écologique des paysages avec celles du territoire national suivant la même simulation de Monte Carlo et en appliquant de nouveau un test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney.
- 20 Afin d'évaluer si au moins une part du paysage des sites de compensation présente une qualité écologique relativement élevée, nous cherchons à obtenir la note correspondant au neuvième décile du paysage de chaque site. Pour cela, nous classons pour chaque *buffer* autour de chaque site les notes pondérées en ordre croissant et calculons la part cumulée de la surface recouverte par chaque nouveau pixel. Nous retenons ensuite la valeur pour laquelle 10 % de la surface du paysage environnant de chaque site a une note de qualité écologique supérieure ou égale à celle-ci. Après avoir identifié la note correspondant au neuvième décile de chaque paysage autour d'un site de compensation, nous observons leur répartition en considérant l'ensemble de l'échantillon des sites. En retenant le neuvième décile, nous choisissons d'observer si au moins 10 % de la surface des paysages autour de ces sites est située sur des espaces de

qualité écologique relativement forte par rapport à la médiane du territoire métropolitain.

- 21 L'ensemble des analyses spatiales sont réalisées sur Rstudio version 2022.7.1.554.

Résultats

Caractéristiques intrinsèques des mesures de compensation

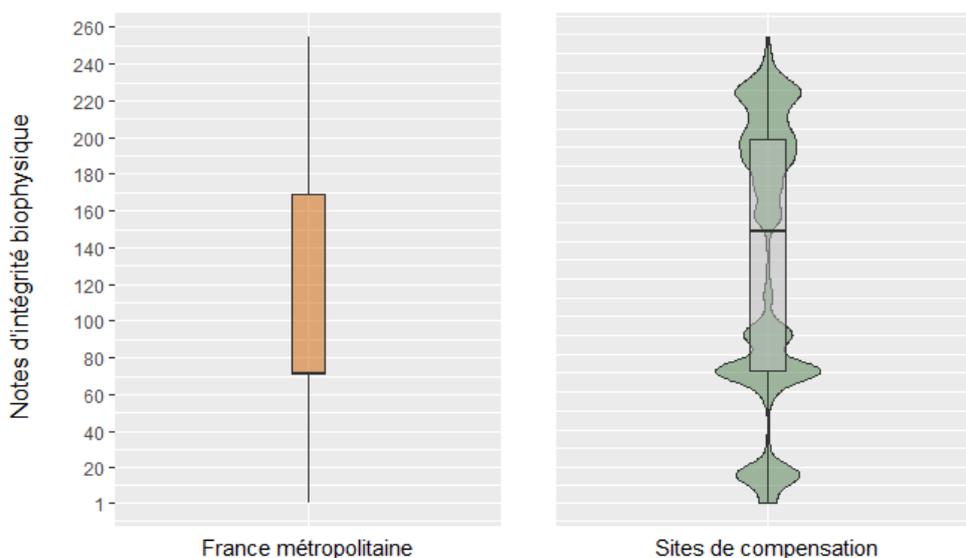
- 22 Sur notre échantillon, couvrant la période allant de 2017 à mars 2021, il y a en moyenne 2,46 sites de compensation par mesure, allant de 1 site à 59 sites par mesure. L'écart type est de 3,9. La surface totale des sites de compensation est de 10 337,18 ha. Elle s'étend de moins d'un mètre carré à 1 016 ha. Le premier quartile est de 0,06 ha, la médiane de 0,41 ha et le troisième quartile de 1,9 ha. Ces résultats montrent que la majorité des sites de compensation de notre échantillon représentent de très petites surfaces. Dans de nombreux cas, ces petits sites sont dédiés à la réalisation de mesures localisées, comme la création de mares ou la pose d'hibernacles pour les reptiles et amphibiens. À l'inverse, les sites avec la plus grande surface sont dédiés à des actions de gestion conservatoire ou à la mise en place d'îlots de sénescence.

Des sites de compensation sur des espaces à plus forte intégrité biophysique qu'à l'échelle nationale

Analyse à l'échelle nationale

- 23 En observant et comparant la distribution des notes d'intégrité biophysique au sein des sites de compensation par rapport à celles sur l'ensemble du territoire métropolitain français, nous constatons que les mesures compensatoires sont réalisées sur des sites présentant une relative meilleure intégrité biophysique (figure 2). En effet, la note médiane d'intégrité biophysique des espaces utilisés pour la compensation est de 145, tandis que celle de la France métropolitaine est de 71 (figure 2). Ainsi, 64 % de la surface des mesures de compensation se situe sur des espaces où la note d'intégrité biophysique est supérieure à la médiane française. Nous notons même que 40 % de la surface des mesures de compensation présente une intégrité biophysique supérieure ou égale au "top 25 %" de la France, c'est-à-dire le troisième quartile à l'échelle nationale, correspondant à une note de 169.
- 24 Les résultats des tests de Wilcoxon-Mann-Whitney réalisés 2 000 fois donnent une p-value inférieure à $2,2e-16$ pour 100 % d'entre eux, nous permettant de rejeter avec une preuve solide l'hypothèse d'égalité entre les médianes. En définitive, nous observons que la note médiane d'intégrité biophysique des sites de compensation est significativement supérieure à celle de la France métropolitaine.

Figure 2 : Notes d'intégrité biophysique à l'échelle de la France métropolitaine (à gauche) et des sites de compensation, ainsi que leur distribution (à droite)



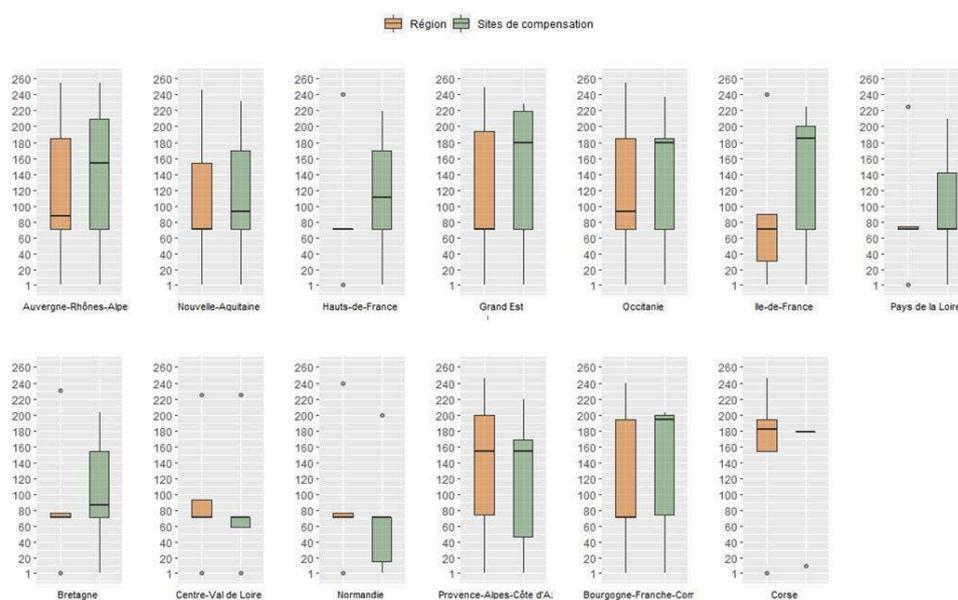
Dans la figure de gauche, la médiane est égale au premier quartile (71). Dans la figure de droite, le premier quartile est de 71 et la médiane est égale à 145.

Données : projet CARTNAT et base GéoMCE)
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Analyse à l'échelle régionale

- 25 Pour 9 des régions testées, nous obtenons des résultats similaires à la France entière, c'est-à-dire que les sites de compensation sont sur des espaces à plus forte intégrité biophysique. Néanmoins, pour 4 régions (Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Normandie et Centre-Val de Loire), les différences montrent que les sites de compensation sont sur des espaces d'intégrité biophysique significativement moindre que celle du territoire régional. Il s'agit toutefois des 4 régions présentant le plus petit nombre de sites de compensation (1 unique site pour la Corse à 44 sites pour la Normandie)¹⁰.

Figure 3 : Notes d'intégrité biophysique région par région



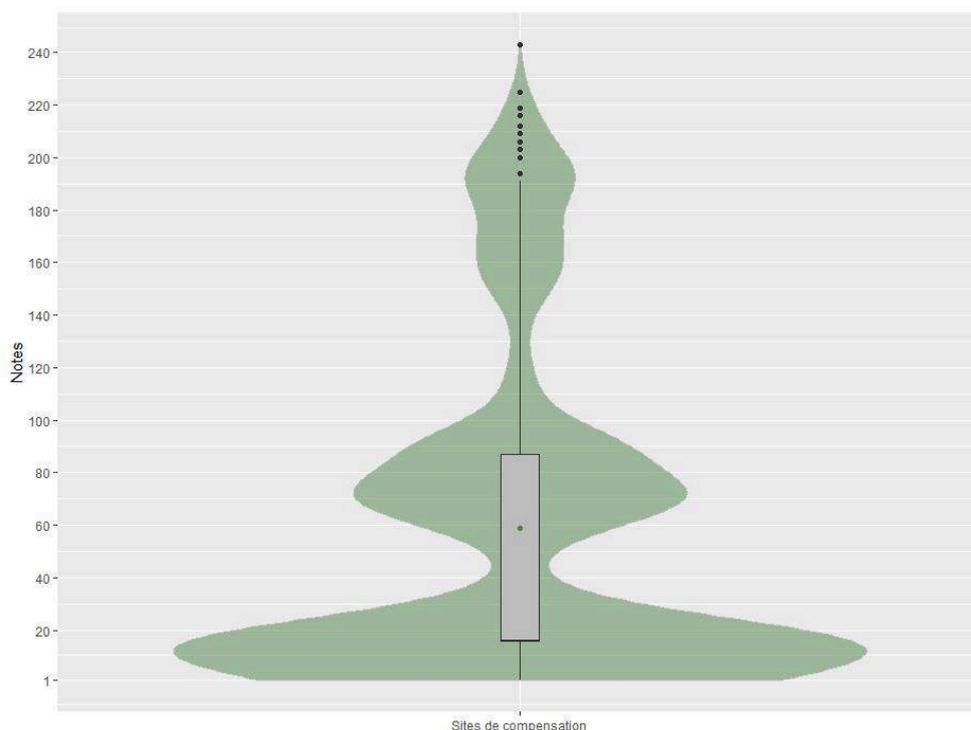
Les diagrammes de gauche (en orange) présentent la répartition des notes au sein de la région, ceux de droite (en vert) celle des notes au sein des mesures de compensation présentes régionalement.

Données : Projet CARTNAT et base GéoMCE
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Au moins une part de la surface des sites de compensation se situe sur des espaces de faible intégrité biophysique

- 26 Nos résultats montrent que 71,5 % des sites de compensation ont une part de leur surface incluant des espaces de faible intégrité biophysique – notes entre 1 et 71 – soit inférieures ou égale à la médiane française, et que 50 % des sites de compensation ont un dixième de leur surface sur un espace d'une note d'intégrité biophysique inférieure ou égale à 16 (figure 4). Cela permet notamment d'expliquer la densité importante de pixels ayant une note proche au sein des sites de compensation observée à la figure 2. À l'inverse, 28,5 % des sites de compensation sont réalisés quasi intégralement (à au moins 90 % de leur surface) sur des sites d'une intégrité biophysique relativement meilleure que la note médiane métropolitaine (figure 4).

Figure 4 : Distribution des premiers déciles des notes d'intégrité biophysique de chacun des sites de compensation



La note moyenne des premiers déciles de l'ensemble des sites est de 59 (point vert sur la figure) et la médiane à 16.

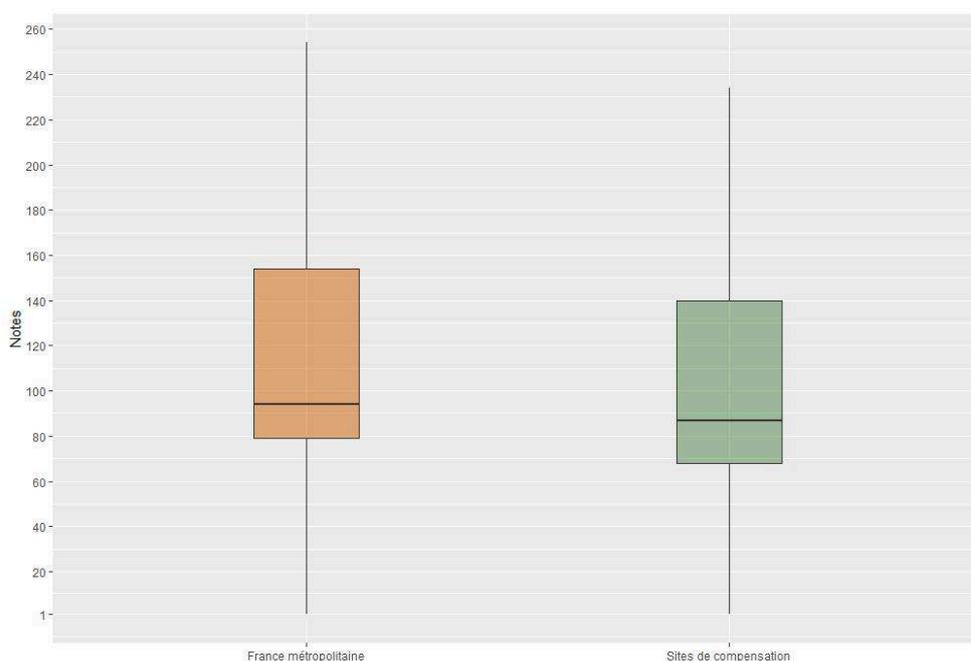
Données : projet CARTNAT et base GéoMCE
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Analyse de la qualité écologique du paysage autour des sites de compensation

Une qualité écologique relativement moindre qu'à l'échelle métropolitaine

- 27 En observant et comparant la distribution des notes de la qualité écologique des paysages autour des sites de compensation par rapport à celles sur l'ensemble du territoire métropolitain français, nous pouvons constater que les mesures compensatoires sont réalisées au sein de paysages présentant une qualité écologique inférieure (médiane de 87) à celle du territoire métropolitain (médiane de 94).
- 28 Les résultats des tests de Wilcoxon-Mann-Whitney réalisés 2 000 fois donnent une p-value inférieure à $2,2e-16$ pour 100 % d'entre eux, nous permettent de rejeter avec une preuve solide l'hypothèse d'égalité entre les médianes. Ainsi, nous observons que la note médiane de qualité écologique des paysages autour des sites de compensation est significativement inférieure à celle de la France métropolitaine (figure 5).

Figure 5 : Notes de qualité écologique à l'échelle de la France métropolitaine et du paysage environnant des sites de compensation



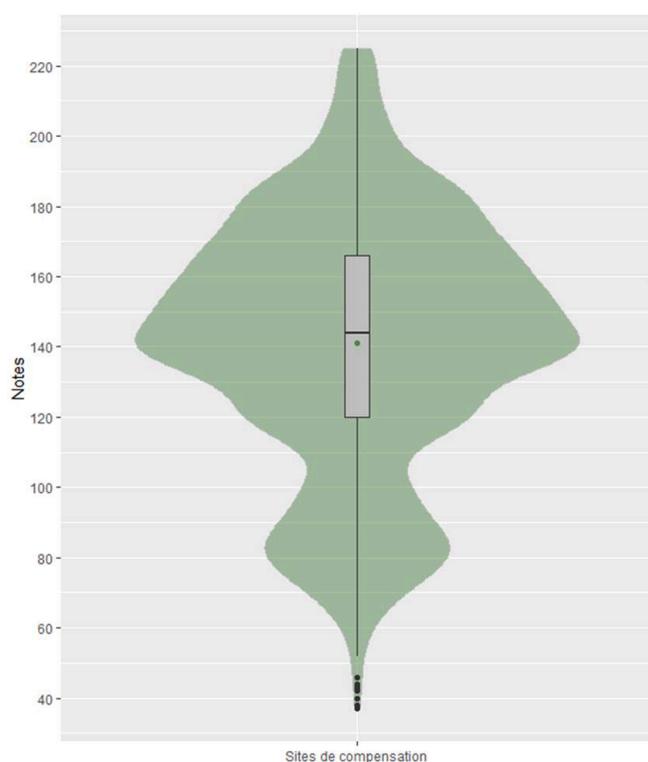
La médiane à l'échelle de la France est de 94, celle des paysages environnant les sites de compensation à 87.

Données : projet CARTNAT et base GéoMCE
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Au moins une part des paysages autour des sites de compensation est de plus haute qualité écologique par rapport au territoire métropolitain

- 29 Nos résultats montrent qu'une grande majorité des sites de compensation ont une part de leur paysage sur des espaces d'une meilleure qualité écologique que la note médiane métropolitaine (94). Dans 50 % des cas, 10 % des paysages autour des sites de compensation sont situés sur des espaces présentant des notes de qualité écologique supérieures à 144 (figure 6). Notons toutefois une tendance inverse, avec 15 % des sites de compensation au sein d'un paysage dont la quasi intégralité se situe sur des espaces de relative faible qualité écologique par rapport à la note médiane métropolitaine.

Figure 6 : Distribution des neuvièmes déciles des notes de qualité écologique des paysages autour de chacun des sites de compensation



La note moyenne des neuvièmes déciles de l'ensemble des sites est de 141 (point vert sur la figure) et la médiane à 144.

Données : projet CARTNAT et base GéoMCE
Padilla, Gelot, Guetté, Carruthers-Jones, 2023

Discussion

- 30 Ces résultats nous permettent de mieux comprendre si les mesures compensatoires mises en place en France depuis l'adoption de la loi biodiversité en 2016 suivent une stratégie visant à maximiser les gains écologiques.
- 31 Alors que la perte et la fragmentation des habitats sont désormais bien identifiées comme des déterminants majeurs de la crise de la biodiversité, les mesures compensatoires doivent être utilisées comme des outils pour tendre vers la neutralité écologique des aménagements. Indépendamment des procédures administratives à satisfaire par l'action de compensation, sa conception doit viser un gain de fonction écologique qui bénéficiera aux espèces, protégées ou non, qui utilisent l'espace concerné, ainsi qu'à l'état de conservation des habitats naturels qui le caractérisent. Pourtant, notre analyse montre que la plus grande part des sites dédiés à la compensation (64 % de la surface des mesures) se situe sur les espaces à meilleure intégrité biophysique en France, voire même (pour 40 % de la surface des mesures) dans le meilleur quartile du territoire. À l'échelle régionale, les résultats sont similaires pour 9 des 13 régions les plus représentées dans notre échantillon issu de la base de données GéoMCE. Ce choix doit être questionné à la fois en tenant compte de l'opportunité et des contraintes de réalisation des mesures compensatoires pour les

opérateurs, mais également au regard de la stratégie de gain écologique qui leur est imposée.

Une stratégie foncière et économique contraignante

- 32 La réalisation d'une mesure compensatoire est le résultat d'un processus multifactoriel qui intègre les objectifs écologiques poursuivis, la faisabilité des actions, mais également les opportunités foncières du territoire et les objectifs économiques du maître d'ouvrage. Dans la majorité des cas, les mesures compensatoires sont prises au titre d'une dérogation à la protection des espèces ou dans le cadre de dossier "loi sur l'eau" ; c'est le cas pour plus de 90 % des mesures de notre échantillon¹¹. Or, le code de l'environnement, qui définit la démarche de compensation des atteintes à la biodiversité dans ses articles L163-1 à L163-5, précise bien que ces mesures sont rendues obligatoires pour compenser *"les atteintes prévues ou prévisibles à la biodiversité occasionnées par la réalisation d'un projet de travaux ou d'ouvrage ou par la réalisation d'activités ou l'exécution d'un plan, d'un schéma, d'un programme ou d'un autre document de planification"*, sans jamais limiter la démarche aux espèces protégées, aux zones humides ou aux milieux aquatiques. Dans la pratique, seule une petite proportion des atteintes à la biodiversité est donc visée par la mise en œuvre des mesures compensatoires, et les objectifs écologiques poursuivis peuvent être mis en compétition avec les exigences propres à chacune des parties prenantes de l'aménagement du territoire. Pour le maître d'ouvrage dont le projet entraîne la mise en œuvre d'une ou plusieurs mesures compensatoires, le choix est réalisé de manière à satisfaire les attentes de l'autorité décisionnaire (le préfet de département ou de région par l'intermédiaire des DREAL), tout en restreignant les coûts induits, quitte à exercer une pression sur les acteurs intermédiaires (bureau d'études, association de protection de l'environnement) qui l'accompagnent dans la réalisation des actions écologiques (Lucas, 2009 ; Berté, 2022). Ces constats peuvent notamment expliquer pourquoi les mesures renseignées dans GéoMCE consistent en grande partie en la réalisation d'actions simples, éprouvées et relativement peu coûteuses (creusement de mare, installation de gîtes, réouverture de milieux enfrichés), dont la plus-value écologique semble toutefois en décalage avec la destruction et la fragmentation d'espaces naturels. Les autres acteurs de la compensation, des services instructeurs de l'État jusqu'aux opérateurs de compensation, composent à la fois en tenant compte de la difficulté à mobiliser une unité foncière, de l'hétérogénéité des compétences au sein des structures engagées et des sensibilités locales, accentuant l'effort de compensation sur des critères variables dans l'espace et le temps (Petitimberty, 2018 ; Guimont, Petitimberty, Villalba, 2018).

La compensation : action de plus-value écologique ou réponse administrative ?

- 33 Ces arbitrages permettent d'expliquer, en partie, pourquoi la stratégie de compensation n'est pas uniquement ciblée sur l'objectif de plus-value écologique. Doit-on dès lors considérer que les maîtres d'ouvrages délaissent les objectifs de gain écologique pour sécuriser leurs projets en apportant une réponse avant tout administrative aux exigences de l'autorité décisionnaire ?

- 34 Le fait que les objectifs de la compensation portent principalement sur le maintien des populations d'espèces protégées et la préservation des zones humides et des cours d'eau renforce l'hypothèse selon laquelle les actions de compensation ciblent prioritairement des composantes précises d'un écosystème susceptible d'être altéré. Ces actions permettent alors d'améliorer, par exemple, certains paramètres de la niche écologique d'une espèce auxquels l'évaluation de l'intégrité biophysique n'est pas sensible (comme la diversité de la végétation au sein d'une même strate, la densité de micro-habitats, etc.), sans nécessairement contribuer de manière significative à l'absence de perte nette de biodiversité. En pratique, bien qu'il soit possible d'obtenir un gain écologique sur des espaces à bonne intégrité biophysique, une part importante des mesures prises cible un paramètre précis du cycle de vie d'une espèce ou de la présence d'une zone humide, sans chercher à générer un gain sur l'ensemble des fonctions et des habitats qui composent le site.
- 35 Ainsi, s'il peut y avoir des gains écologiques ponctuels sur des espaces à bonne intégrité biophysique, ces constats sont susceptibles de remettre en question la stratégie globale de l'action publique environnementale visant l'absence de perte nette de biodiversité. Si l'on observe cet objectif à l'échelle d'un projet, ne doit-on pas chercher à mettre en œuvre, lorsqu'elles sont nécessaires, des actions de compensation qui visent à maximiser les gains de biodiversité sur un grand nombre de fonctions réalisées au sein d'habitats naturels ? N'est-ce pas à cette condition que l'on peut maintenir la capacité de résilience de la biodiversité face à des perturbations, plutôt que le seul maintien d'une espèce ou d'une surface de zone humide ?
- 36 En montrant que les actions de compensation sont majoritairement réalisées dans des espaces à la meilleure intégrité biophysique, nous mettons donc en évidence leur manque d'ambition. Celui-ci peut être interprété comme le symptôme d'un processus centré sur les objectifs administratifs imposés aux maîtres d'ouvrages pour obtenir l'autorisation pour un projet (Vandeveld, 2013). Les données géolocalisées des mesures compensatoires en France métropolitaine attestent en effet d'une hégémonie des procédures de dérogations à la protection des espèces et, dans une moindre mesure, de la protection des zones humides et des milieux aquatiques pour l'application de l'ensemble de la séquence "ERC" (Gelot, Bigard, 2021). Dans le cadre de l'évaluation environnementale de leurs projets, les maîtres d'ouvrage s'engagent en effet auprès de l'autorité décisionnaire à remplir les conditions exigées par la réglementation. Il s'agit, pour déroger à la protection d'une espèce par exemple, de justifier du maintien de l'état de conservation de la population de cette espèce malgré la réalisation du projet. Une telle justification, en amont des opérations d'aménagement, repose en réalité sur des hypothèses d'évolution de la population appuyées par des propositions de mesures spécifiques qui visent souvent à faciliter certaines parties du cycle de vie de l'espèce. Dans les arrêtés autorisant les projets, l'obligation de résultat porte alors sur la réalisation de ces mesures, plutôt que sur la démonstration d'un gain écologique fonctionnel pour les habitats de l'espèce ciblée.

Une approche surfacique de la compensation : la légitimation plutôt que l'efficacité

- 37 Nos analyses montrent également qu'une proportion importante des sites de compensation comporte tout de même, sur une petite partie de leur superficie, des

espaces de moindre intégrité biophysique. Certains espaces sont même totalement à très faible intégrité biophysique, ils sont alors, dans la plupart des cas, très petits. Sur ces petits espaces, les actions de compensation sont nécessairement localisées et consistent généralement à installer des éléments artificiels favorables pour la reproduction de certaines espèces ou la création ou la restauration d'éléments ponctuels du paysage, comme des nichoirs ou des mares. En explorant la description et les catégories de mesures renseignées dans la base de données GéoMCE, on observe que de nombreuses mesures compensatoires visent en effet des actions localisées. Ce constat est par ailleurs corroboré par la taille médiane des sites de compensation, qui est de 0,41 ha sur notre échantillon, alors même que les mesures compensatoires sont souvent constituées de plusieurs sites fragmentés, pour des superficies totales plus importantes.

- 38 Ces éléments nous permettent d'affiner nos hypothèses concernant la stratégie de compensation des maîtres d'ouvrage : celle-ci pourrait-elle viser à réaliser une action de création ou de restauration localisée d'un habitat, ciblée sur une composante précise de biodiversité, puis à compléter cette action par des actions de gestion à faible plus-value écologique, au gré des négociations avec les services instructeurs de l'autorité décisionnaire ?
- 39 Le cas échéant, cette stratégie comporte un risque : celui de transformer la compensation en une action trop localisée, à faible contribution pour la biodiversité mais qui vise prioritairement à répondre à des critères réglementaires précis. Elle est alors éventuellement complétée par des actions aux bénéfices mineurs pour répondre à des impératifs de surface négociés. Les parties prenantes peuvent alors présenter un bilan surfacique de la compensation, souvent comparé à la superficie impactée par le projet, mais sans démontrer que le gain sera équivalent qualitativement et quantitativement à la perte. Cette équivalence doit pourtant être évaluée au cours du processus de dimensionnement de la compensation, visant à préciser les caractéristiques des mesures à entreprendre pour compenser une perte estimée à partir de l'analyse des états initiaux des sites impactés et de compensation. Mais dans la pratique, seule une minorité de maîtres d'ouvrage proposent des mesures de compensation résultant d'une méthode de dimensionnement décrite dans le dossier du projet (Truchon *et al.*, 2020). Ainsi, malgré ces écueils bien documentés, des projets qui ne démontrent pas le respect des objectifs réglementaires de neutralité écologique sont autorisés, faute d'un mouvement jurisprudentiel qui pourrait renforcer la dimension préventive de ces mesures (Lucas, 2018).
- 40 Pourtant, de nombreux travaux évaluant l'efficacité d'actions écologiques pour la biodiversité soulignent que les gains sont d'autant plus importants que les actions visent à rétablir des fonctions écosystémiques variées sur des espaces dégradés, à large échelle (Moreno-Mateos *et al.*, 2012 ; Bullock *et al.*, 2011 ; Benayas *et al.*, 2009). À l'inverse, les observateurs de la mise en œuvre des mesures compensatoires en France documentent depuis des années, sur la base d'exemples choisis, le décalage entre les fondements techniques de la définition des mesures et les réalités écologiques qu'elles visent à compenser (Bigard *et al.*, 2018 ; Devictor, 2018). Notre analyse, réalisée sur un échantillon de grande taille sur l'ensemble du territoire métropolitain, renforce ce constat et en précise l'étendue.

Une stratégie paysagère pour localiser les mesures compensatoires ?

- 41 Au-delà du gain potentiel d'intégrité biophysique sur les sites concernés, la stratégie de compensation devrait viser le développement des mesures sur un espace dégradé au sein d'un paysage écologique favorable, c'est-à-dire qui présente une bonne intégrité biophysique et une bonne contribution à la connectivité écologique.
- 42 Pourtant, l'analyse de nos résultats montre que les mesures compensatoires sont majoritairement réalisées au sein d'un paysage à l'état écologique relatif le moins favorable du territoire, la médiane de l'état écologique des paysages des mesures compensatoire étant significativement inférieure à celle de l'ensemble du territoire national. Toutefois, dans de nombreux cas, une petite proportion de ce paysage présente tout de même un contexte écologique satisfaisant, avec une médiane cette fois nettement supérieure. Ces résultats ambivalents peuvent s'interpréter sous deux angles. D'abord, la relative médiocrité de l'état écologique des paysages environnants peut s'expliquer par le principe de proximité des mesures compensatoires, qui impose au maître d'ouvrage de les réaliser à proximité fonctionnelle des impacts. Dans le cas où les mesures sont réalisées pour un projet d'infrastructure, il est probable que de nombreuses sources de pression existent à proximité de ce projet, et donc autour des mesures compensatoires. Toutefois, ce constat renforce également la démonstration d'une stratégie de compensation inadaptée à l'obtention de gains écologiques, alors même qu'elle souligne qu'il existe des espaces de moindre qualité écologique autour des mesures réalisées. Néanmoins, ce résultat doit être interprété avec précaution. En effet, la base de données GéoMCE n'est, à ce jour, pas renseignée de manière homogène sur l'ensemble du territoire (Gelot, Bigard, 2021). C'est en région Auvergne-Rhône-Alpes que se concentre la plus grande part des mesures saisies (41 % des sites de la base). Par ailleurs, cette région présente, d'après nos modèles, une intégrité biophysique et une qualité écologique relativement meilleure que celle à l'échelle nationale. Dès lors, sur la seule base de ces analyses, il est difficile d'identifier si la présence d'une proportion du paysage de bonne qualité écologique autour des mesures compensatoires est le fruit d'une stratégie pour favoriser les gains au sein des sites ou l'effet d'un contexte écologique favorable ou singulier au sein d'une région sur-représentée dans la base de données GéoMCE. Toutefois, au regard des contraintes de natures économiques, foncières ou techniques dont nous avons déjà discuté, nous pouvons supposer que le contexte paysager n'est en réalité pas pris en compte dans la stratégie de réalisation des mesures compensatoires en France.

Conclusion

Objectif "Zéro Artificialisation Nette" : la promotion d'actions de renaturation sur des espaces à faible intégrité biophysique ?

- 43 En 2018, le gouvernement français a formulé un nouvel objectif pour tendre vers la neutralité écologique : atteindre le "Zéro Artificialisation Nette" (ZAN) des sols, en proposant aux collectivités de s'engager dans une démarche de réduction de la consommation d'espaces naturels et en favorisant les actions de renaturation. Cet objectif a été inscrit dans la loi "Climat et Résilience" de 2021 et s'impose désormais aux

futurs documents de planification de l'aménagement du territoire suivant des objectifs temporels visant d'abord la sobriété foncière. Bien que sa mise en œuvre soit distincte, dans ses dispositions actuelles, de la séquence "ERC", cette loi inscrit dans le code de l'urbanisme une définition de l'artificialisation qui tient compte à la fois des fonctions écologiques des sols et du fait que même une altération partielle de ces fonctions participe au processus d'artificialisation. Dès lors, la conjugaison de ces deux instruments est susceptible de promouvoir à l'avenir des actions de renaturation qui viseront des gains de fonctions écologiques sur des sols présentant une faible intégrité biophysique. Pour satisfaire cet espoir, la traduction de ce nouvel objectif devra éviter les écueils relevés dans la mise en œuvre de la séquence ERC et appeler à la prise en compte, puis à la correction de l'ensemble des activités susceptibles de contribuer à l'une des principales causes de l'effondrement de la biodiversité : l'intensification des usages espaces naturels par les humains.

Une évaluation nécessaire des objectifs d'absence de perte nette de biodiversité

- 44 Dans cet article, nous avons étudié un large échantillon de mesures compensatoires réalisées depuis 2017 en France et montré que celles-ci étaient réalisées sur des sites présentant une intégrité biophysique relativement bonne, voire très bonne, par rapport au territoire national. Nos résultats suggèrent que la stratégie de compensation ne vise donc pas prioritairement à générer un gain écologique important. À l'inverse, ils semblent indiquer que la stratégie adoptée répond à des contraintes probablement liées aux procédures administratives qui justifient ces mesures, majoritairement pour déroger à la protection des espèces ou des zones humides. À cet effet, les mesures compensatoires se composent généralement sur des sites dont une faible superficie présente un potentiel d'amélioration important et qui sont complétés par des superficies plus importantes à faible plus-value écologique, lesquelles font vraisemblablement l'objet de mesures de gestion. Pourtant, le paysage environnant les mesures compensatoires est lui-même souvent en moins bon état écologique relativement au reste du territoire, ce qui suggère que des sites à meilleur potentiel de gains pourraient être choisis à proximité des impacts. Dans la majorité des cas, une faible proportion du paysage présente cependant un état écologique relativement bon, qui peut être favorable à la réussite des actions écologiques, notamment si elles visent à restaurer des écosystèmes. Nos résultats ne nous permettent toutefois pas d'affirmer que ce constat soit le résultat d'un choix stratégique de la part des maîtres d'ouvrage. En toute hypothèse, la localisation des mesures compensatoires résulte de contraintes variées, notamment économiques et foncières qui semblent prévaloir sur l'intérêt écologique des actions, qui doivent permettre de tendre vers l'absence de perte nette de biodiversité.
- 45 Les questions soulevées dans cette étude trouvent écho dans d'autres pays. La France fait partie, avec l'Allemagne, l'Australie, les Pays-Bas ou les États-Unis d'Amérique, des quelques pays qui mettent à disposition du public des données sur les mesures compensatoires réalisées. Ce premier matériau est indispensable pour permettre aux observateurs, qu'ils soient chercheurs, issus de la société civile ou des services de l'État, d'évaluer les objectifs d'absence de perte nette de biodiversité. Toutefois, chacun de ces systèmes de mise à disposition souffre d'un manque d'exhaustivité et d'accessibilité des

données, qui rendent cette évaluation complexe (Kujala *et al.*, 2022). Malgré leurs limites, ils demeurent pourtant un outil indispensable pour commencer, après des années de controverses internationales sur les mesures compensatoires (Maron *et al.*, 2016), à documenter à large échelle les effets de l'action publique pour enrayer l'effondrement de la biodiversité.

BIBLIOGRAPHIE

- Benayas J.M.R., Newton A.C., Diaz A., Bullock J.M., 2009, "Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis", *Science*, vol. 325, 1121-1124.
- Berges L., Avon C., Bezombes L., Clauzel C., Dufлот R., Foltete J.C., Gaucherand S., Girardet X., Spiegelberger T., 2020, "Environmental mitigation hierarchy and biodiversity offsets revisited through habitat connectivity modelling", *Journal of Environmental Management*, vol. 256.
- Berté C., 2022, *Une biodiversité négociée : L'aménagement urbain au défi de la mise en œuvre de la séquence Éviter-Réduire-Compenser*.
- Bigard C., Regnery B., Pioch S., Thompson J.D., 2018, "De la théorie à la pratique de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC) : éviter ou légitimer la perte de biodiversité ?", *Développement durable et territoires*.
- Breckheimer I., Haddad N.M., Morris W.F., Trainor A.M., Fields W.R., Jobe R.T., Hudgens B.R., Moody A., Walters J.R., 2014, "Defining and Evaluating the Umbrella Species Concept for Conserving and Restoring Landscape Connectivity", *Conservation Biology*, vol. 28, 1584-1593.
- Bullock J.M., Aronson J., Newton A.C., Pywell R.F., Rey-Benayas J.M., 2011, "Restoration of ecosystem services and biodiversity : conflicts and opportunities", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 26, 541-549.
- CBD, 2022, "Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework", *Convention on Biological Diversity*.
- Devictor V., 2018, "La compensation écologique : fondements épistémiques et reconfigurations technoscientifiques", *Natures Sciences Sociétés*, vol. 26, 136-149.
- Dickson B.G., Albano C.M., McRae B.H., Anderson J.J., Theobald D.M., Zachmann L.J., Sisk T.D., Dombek M.P., 2017, "Informing Strategic Efforts to Expand and Connect Protected Areas Using a Model of Ecological Flow, with Application to the Western United States", *Conservation Letters*, vol. 10, 564-571.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P.K., 2005, "Global consequences of land use", *Science*, vol. 309, 570-574.
- Gelot S., Bigard C., 2021, "Challenges to developing mitigation hierarchy policy : findings from a nationwide database analysis in France", *Biological Conservation*, vol. 263.
- Guetté A., Carruthers-Jones J., Carver S.J. 2021. "Projet CARTNAT : Cartographie de la Naturalité, Notice Technique", In : UICN.

- Guetté A., Carruthers-Jones J., Godet L., Robin M., 2018, "« Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature", *Cybergeo*, [en ligne]. URL : <https://journals.openedition.org/cybergeo/29140>
- Guimont C., Petitimbert R., Villalba B., 2018, "La crise de biodiversité à l'épreuve de l'action publique néolibérale", *Développement durable et territoires*.
- Hodgson J.A., Moilanen A., Wintle B.A., Thomas C.D., 2011, "Habitat area, quality and connectivity : striking the balance for efficient conservation", *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, 148-152.
- IPBES, 2019, *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*.
- Jacob C., Pioch S., Thorin S., 2016, "The effectiveness of the mitigation hierarchy in environmental impact studies on marine ecosystems : A case study in France", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 60, 83-98.
- Krosby M., Breckheimer I., Pierce D.J., Singleton P.H., Hall S.A., Halupka K.C., Gaines W.L., Long R.A., Mcrae B.H., Cosentino B.L., Schuett-Hames J.P., 2015, "Focal species and landscape "naturalness" corridor models offer complementary approaches for connectivity conservation planning", *Landscape Ecology*, vol. 30, 2121-2132.
- Kujala H., Maron M., Kennedy C.M., Evans M.C., Bull J.W., Wintle B.A., Iftekhhar S.M., Selwood K.E., Beissner K., Osborn D., Gordon A., 2022, "Credible biodiversity offsetting needs public national registers to confirm no net loss", *One Earth*, vol. 5, 650-662.
- Lucas M., 2009, "La compensation environnementale, un mécanisme inefficace à améliorer", *Revue juridique de l'environnement*, vol. 34, 59-68.
- Lucas M., 2018, "Regards sur le contentieux français relatif aux mesures compensatoires : quarante ans d'attentes, de déceptions et d'espoirs portés par la jurisprudence", *Natures Sciences Sociétés*, vol. 26, 193-202.
- Maron M., Hobbs R.J., Moilanen A., Matthews J.W., Christie K., Gardner T.A., Keith D.A., Lindenmayer D.B., McAlpine C.A., 2012, "Faustian bargains ? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies", *Biological Conservation*, vol. 155, 141-148.
- Maron M., Ives C.D., Kujala H., Bull J.W., Maseyk F.J.F., Bekessy S., Gordon A., Watson J.E.M., Lentini P.E., Gibbons P., Possingham H.P., Hobbs R.J., Keith D.A., Wintle B.A., Evans M.C., 2016, "Taming a Wicked Problem : Resolving Controversies in Biodiversity Offsetting", *Bioscience*, vol. 66, 489-498.
- McGarigal K., Marks B.J., 1995, *FRAGSTATS : spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McRae B., Popper K., Jones A., Schindel M., Buttrick S., Hall K., Unnasch B., Platt J., 2016, *Conserving Nature's stage : mapping omnidirectional connectivity for resilient terrestrial landscapes in the pacific northwest*.
- Moreno-Mateos D., Power M.E., Comin F.A., Yockteng R., 2012, "Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems", *Plos Biology*, vol. 10.
- Newbold T., Hudson L.N., Hill S.L.L., Contu S., Gray C.L., Scharlemann J.P.W., Boorger L., Phillips H.R.P., Sheil D., Lysenko I., Purvis A., 2016, "Global patterns of terrestrial assemblage turnover within and among land uses", *Ecography*, vol. 39, 1151-1163.

Newbold T., Hudson L.N., Hill S.L.L., Contu S., Lysenko I., Senior R.A., Borger L., Bennett D.J., Choimes A., Collen B., Day J., De Palma A., Diaz S., Echeverria-Londono S., Edgar M.J., Feldman A., Garon M., Harrison M.L.K., Alhousseini T., Ingram D.J., Itescu Y., Kattge J., Kemp V., Kirkpatrick L., Kleyer M., Correia D.L.P., Martin C.D., Meiri S., Novosolov M., Pan Y., Phillips H.R.P., Purves D.W., Robinson A., Simpson J., Tuck S.L., Weiher E., White H.J., Ewers R.M., Mace G.M., Scharlemann J.P.W., Purvis A., 2015, "Global effects of land use on local terrestrial biodiversity", *Nature*, vol. 520.

Paracchini M.L., Capitani C., 2011., *Implementation of a EU Wide Indicator for the Rural-Agrarian Landscape in Support of COM(2006) 508 "Development of Agri-Environmental Indicators for Monitoring the Integration of Environmental Concerns into the Common Agricultural Policy"*.

Petitimberty R., 2018, "La professionnalisation des consultants de la compensation : traductions instrumentales et enjeux de légitimation", *Natures Sciences Sociétés*, vol. 26, 203-214.

Pope J., Morrison-Saunders A., Bond A., Retief F., 2021, "When is an Offset Not an Offset ? A Framework of Necessary Conditions for Biodiversity Offsets", *Environmental Management*, vol. 67, 424-435.

Qi K., Fan Z.Q., Ng C.N., Wang X.R., Xie Y.J., 2017, "Functional analysis of landscape connectivity at the landscape, component, and patch levels : A case study of Minqing County, Fuzhou City, China", *Applied Geography*, vol. 80, 64-77.

Theobald D.M., 2010, "Estimating natural landscape changes from 1992 to 2030 in the conterminous US", *Landscape Ecology*, vol. 25, 999-1011.

Truchon H., Billy V.D., Padilla B., Bezombes L., Boyer P., 2020, "Dimensionnement de la compensation ex ante des atteintes à la biodiversité - État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur", *Comprendre pour Agir*, OFB.

Vaissière A.C., Bierry A., Quéfier F., 2016, "Mieux compenser les impacts sur les zones humides : modélisation de différentes approches dans la région de Grenoble", *Sciences Eaux & Territoires*, vol. 21, 64-69.

Vandeveld J.C., 2013, "Les choix de tracé des grandes infrastructures de transport : quelle place pour la biodiversité ?", *Développement durable et territoires*.

Weissgerber M., Roturier S., Julliard R., Guillet F., 2019, "Biodiversity offsetting : Certainty of the net loss but uncertainty of the net gain", *Biological Conservation*, vol. 237, 200-208.

NOTES

1. Dans cet article, l'intégrité biophysique est entendue comme une mesure du degré d'anthropisation d'un habitat naturel avec des conséquences sur sa végétation par rapport à un habitat théorique originel ou potentiel tel qu'il apparaîtrait dans les conditions biogéographiques données. Une forte intégrité biophysique indique de "faibles impacts humains" et une faible intégrité biophysique de "forts impacts humains".

2. Contexte intégrant à la fois le fonctionnement des écosystèmes et la connectivité écologique permettant le déplacement d'espèces et le brassage génétique entre populations d'une même espèce, mais également les régimes climatiques, hydrologiques, chimiques ainsi que les processus géomorphologiques.

3. En ligne. URL : <https://www.geoportail.gouv.fr/>

4. En plus de la consultation de ces données sur Géoportail, l'extraction de la base est téléchargeable en ligne. URL : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/mesures-compensatoires-prescrites-des-atteintes-a-la-biodiversite-france-entiere-1/>
 5. CARTNAT est un projet porté par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) ayant développé une méthode de cartographie de la naturalité potentielle. Ces travaux ont abouti à la production de 4 couches spatiales : i) d'intégrité biophysique de l'occupation du sol ; ii) de la spontanéité des processus ; iii) des continuités spatiales ; iv) d'une synthèse des 3 premières couches. La présentation du projet, sa notice technique ainsi que l'accès aux données sont disponibles en ligne. URL : <https://uicn.fr/aires-protégées/wilderness/>
 6. Pour une présentation détaillée des données et méthodes utilisées pour le développement des deux cartes, voir la notice technique du comité français de l'UICN (Guetté, Carruthers-Jones, Carver, 2021).
 7. L'intersection entre les deux couches est réalisée à l'aide des packages *raster*, *sf* et *exactextractr* du logiciel R.
 8. Si la p-value est inférieure à 0,05, nous rejetons l'hypothèse d'égalité entre les médianes. Dans ce cas précis de tests itératifs d'échantillon aléatoires deux à deux, nous rejetons l'hypothèse d'égalité des médianes si au moins 1 900 échantillons ont une p-value inférieure à 0,05.
 9. Afin d'obtenir les données d'intégrité biophysique par région, nous avons découpé le raster à l'aide de la fonction *mask* et d'une couche shapefile des régions téléchargées sur le site data.gouv.fr.
 10. La significativité des différences s'observe pour chaque test. La p-value est inférieure à $2,2e-16$ pour 12 des 13 régions et égale à 0,001 pour Pays de la Loire.
 11. Dans environ 60 % des cas dans le cadre des dérogation "espèces protégées" et dans 30 % pour les dossiers "loi sur l'eau".
-

RÉSUMÉS

Depuis 2016, le droit français poursuit un objectif de non perte nette de biodiversité en imposant aux projets ayant des incidences sur la biodiversité d'éviter, de réduire, puis de compenser ces incidences. Les mesures compensatoires doivent générer des gains écologiques suffisants, ce qui suppose qu'elles soient réalisées sur des sites en mauvais état écologique. Cet article analyse le contexte écologique dans lequel ont été réalisées 1153 mesures compensatoires, entre 2017 et 2021, sur le territoire hexagonal français. En utilisant des données de la "naturalité potentielle de France métropolitaine", nous comparons d'une part les scores d'intégrité biophysique des sites choisis et d'autre part les scores de qualité écologique incluant un indice de connectivité du paysage autour des sites, par rapport aux scores nationaux. Nos résultats montrent que 64 % de la surface des sites de compensation se situe sur des espaces où le score d'intégrité biophysique est supérieur à la médiane française, et que 40 % se situe sur des espaces où il est supérieur au dernier quartile. En revanche, la majorité des sites de compensation se trouve dans des paysages présentant une qualité écologique inférieure à celle du territoire hexagonal. Ces résultats suggèrent que la stratégie de localisation des mesures compensatoires ne vise pas prioritairement à générer un gain écologique important, mais répond à d'autres contraintes économiques et foncières. Cela questionne l'efficacité de la compensation à tendre vers l'absence de perte nette de biodiversité.

Since 2016, French law has pursued the objective of no net loss of biodiversity by requiring projects with impacts on biodiversity to avoid, reduce, and then compensate for these impacts. Offset measures must generate sufficient ecological gains, which presupposes that they are carried out on sites in poor ecological condition. This article analyzes the ecological context in which 1153 offset measures were implemented between 2017 and 2021 in France. Using data on the "potential wilderness of mainland France", we compare the biophysical integrity scores of the selected sites on the one hand and the ecological quality scores, including an index of landscape connectivity around the sites, on the other hand, in relation to national scores. Our results show that 64% of the area of offset sites is located in areas where the biophysical integrity score is above the French median, and 40% is located in spaces where it is above the last quartile. However, the majority of offset sites are found in landscapes with lower ecological quality than the mainland territory. These findings suggest that the strategy for locating compensatory measures does not primarily aim to generate significant ecological gains but rather responds to other economic and land constraints. This raises questions about the effectiveness of offsetting in moving towards no biodiversity net loss.

Desde 2016, la ley francesa ha estado orientada al objetivo de la no pérdida neta de biodiversidad al exigir que los proyectos que tengan incidencia sobre la biodiversidad eviten, reduzcan y posteriormente compensen los impactos. Tales medidas deben propiciar beneficios ecológicos suficientes, lo cual supone que se implementen en sitios que presentan condiciones ecológicas degradadas. Este artículo analiza el contexto ecológico en el que se llevaron a cabo 1.153 medidas compensatorias entre los años 2017 y 2021 en territorio francés. A partir de datos del "potencial natural de la Francia metropolitana", comparamos, por un lado, las puntuaciones de la integridad biofísica de los sitios seleccionados y, por otro lado, las obtenidas por la calidad ecológica, incluido un índice de conectividad del paisaje alrededor de los sitios, ambos respecto a las puntuaciones nacionales. Nuestros resultados expresan que el 64 % de la superficie de los sitios de compensación está localizada en espacios donde la puntuación de la integridad biofísica es superior a la media francesa, y que el 40 % se sitúa en áreas donde es superior al último cuartil. Por otro lado, la mayoría de los espacios de compensación están situados en paisajes que presentan una calidad ecológica inferior a la del territorio francés. Los resultados sugieren que la estrategia de especialización de las medidas compensatorias no apunta principalmente a generar una ganancia ecológica significativa, sino que más bien responde a limitaciones económicas y de suelo, cuestionado así la eficacia de la compensación para avanzar hacia una ausencia de pérdida neta de biodiversidad.

INDEX

Mots-clés : aménagement du territoire, biodiversité, impact anthropique
geographyun 908, 926, 250

Palabras claves : planificación territorial, biodiversidad, impacto antrópico

Keywords : territorial planning, biodiversity, anthropogenic impact

AUTEURS

BRIAN PADILLA

Ecologue au Muséum national d'Histoire naturelle
Patrinat (MNHN, OFB, CNRS, IRD), France
brian.padilla@mnhn.fr

SALOMÉE GELOT

Chargée de mission au Muséum national d'Histoire naturelle
Patrinat (MNHN, OFB, CNRS, IRD), France
salomee.gelot@hotmail.fr

ADRIEN GUETTE

Maître de conférences à l'Université de Tours
Laboratoire CITERES, France
adrien.guette@univ-tours.fr

JONATHAN CARRUTHERS-JONES

Marie Skłodowska-Curie Doctoral Research Fellow
School of Earth & Environment, University Of Leeds, United Kingdom
j.carruthers-jones@leeds.ac.uk